



**NATIONAL NUCLEAR CENTER
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**



STS-2023

X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН:

наследие и перспективы развития научно-технического потенциала

12–14 сентября 2023 г.

X INTERNATIONAL CONFERENCE

SEMIPALATINSK TEST SITE:

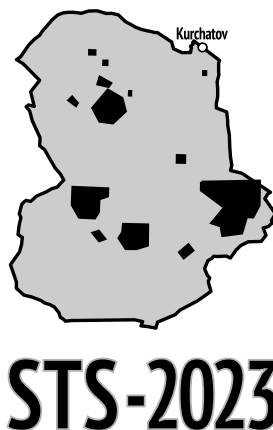
Legacy and Prospects for Scientific-Technical Potential Development

September 12–14, 2023

◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆

г. Курчатов, Республика Казахстан ◆ Kurchatov, Republic of Kazakhstan

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»



X международная конференция

**Семипалатинский испытательный полигон: наследие
и перспективы развития научно-технического потенциала**

12–14 сентября 2023 г., г. Курчатов, Республика Казахстан

ТЕЗИСЫ

X International Conference

**Semipalatinsk Test Site: Legacy and Prospects
for Scientific-Technical Potential Development**

September 12–14, 2023, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

ABSTRACTS

г. Курчатов – 2023

**УДК 502/504
ББК 20.18
С 30**

**Ответственный редактор
д.ф.-м.н. Батырбеков Э.Г.**

**С 30 Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы
развития научно-технического потенциала:**
мат-лы X междунар. конф. (12–14 сент. 2023 г.)=
Semipalatinsk Test Site: X International conference
(September 12–14, 2023). – г. Курчатов: РГП НЯЦ РК, 2023. – 146 с.

ISBN 978-601-08-3440-8

В сборнике представлены тезисы докладов участников конференции по радиоэкологическим исследованиям бывших испытательных полигонов и других радиационно-опасных объектов, оценке и технологиям снижения радиоэкологических рисков радиационно-опасных объектов и территорий, обращению с радиоактивными отходами, физико-химическим методам в радиоэкологии, вопросам дозиметрии, производству и применению радиоактивных изотопов, ядерной медицине, радиационным технологиям, исследовательским ядерным установкам, радиационному материаловедению и физике твердого тела, ядерному топливу, перспективным функциональным материалам современной энергетики, управляемому термоядерному синтезу, водородной энергетике, безопасности атомной энергетики и проблемам нераспространения.

**УДК 502/504
ББК 20.18**

ISBN 978-601-08-3440-8

© РГП «Национальный ядерный центр
Республики Казахстан», 2023

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Министерство энергетики Республики Казахстан
- РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» с филиалами:
 - «Институт радиационной безопасности и экологии»
 - «Институт атомной энергии»
 - «Институт геофизических исследований»
- АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»
- РГП «Институт ядерной физики»
- АО «Парк ядерных технологий»
- Казахстанское физическое общество
- Ассоциация «Ядерное общество Казахстана»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ

<i>Саткалиев А. М. (Казахстан)</i>	<i>Рахими Ф. (Таджикистан)</i>	<i>Hulka J. (Чехия)</i>
<i>Габдуллин М. Т. (Казахстан)</i>	<i>Родин И. Ю. (Россия)</i>	<i>Koguchi M. (Япония)</i>
<i>Гарибов А. А. (Азербайджан)</i>	<i>Санжарова Н. И. (Россия)</i>	<i>Mackey K. (США)</i>
<i>Жантикин Т. М. (Казахстан)</i>	<i>Спасский Н. Н. (Россия)</i>	<i>Meral Ö. (Австрия)</i>
<i>Зайцев П. А. (Россия)</i>	<i>Тухватулин Ш. Т. (Россия)</i>	<i>Merola M. (Франция)</i>
<i>Ибраев Б. М. (Казахстан)</i>	<i>Черепнин Ю. С. (Россия)</i>	<i>Salbu B. (Норвегия)</i>
<i>Ильющенко А. Ф. (Беларусь)</i>	<i>Школьник В. С. (Казахстан)</i>	<i>Stevens J. (США)</i>
<i>Кадыржанов К. К. (Казахстан)</i>	<i>Юлдашев Б. С. (Узбекистан)</i>	<i>Stohr P. (Франция)</i>
<i>Карпенко Е. И. (Россия)</i>	<i>Akehashi K. (Япония)</i>	<i>Taiwo T. (США)</i>
<i>Киевицкая А. И. (Беларусь)</i>	<i>Bolshinsky I. M. (США)</i>	<i>Usui H. (Япония)</i>
<i>Кожамкулов Т. А. (Казахстан)</i>	<i>Florou H. (Греция)</i>	<i>Wieleba W. (Польша)</i>
<i>Копничев Ю. Ф. (Россия)</i>	<i>Hecker S. (США)</i>	<i>Yusan S. (Турция)</i>
<i>Муканов Е. Ж. (Казахстан)</i>	<i>Hou X. (Дания)</i>	

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: **Батырбеков Э. Г.** – генеральный директор РГП НЯЦ РК

Зам. Председателя: **Витюк В. А.** – зам. генерального директора по науке РГП НЯЦ РК

Члены комитета:

Березин С. А. – зам. ген. директора РГП НЯЦ РК, руководитель филиала ИГИ РГП НЯЦ РК

Сахиев С. К. – генеральный директор РГП ИЯФ

Борисенко А. Н. – председатель правления АО «Парк ядерных технологий»

Тажиббаева И. Л. – председатель правления ассоциации «Ядерное общество Казахстана»

Локистанов С. С. – главный инженер РГП НЯЦ РК

Бакланов В. В. – первый зам. директора филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК

Айдарханов А. О. – директор филиала ИРБЭ РГП НЯЦ РК

Михайлова Н. Н. – зам. директора филиала ИГИ НЯЦ РК

Мукушева М. К. – директор отделения РГП НЯЦ РК в г. Астана

Ерыгина Л. А. – ученый секретарь филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК

Ларионова Н. В. – ученый секретарь филиала ИРБЭ РГП НЯЦ РК

Утенкова Н. О. – начальник управления научно-аналитической информации и международного сотрудничества РГП НЯЦ РК

ТЕМАТИКА

1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- Безопасность атомной энергетики
- Радиационное материаловедение и физика твердого тела
- Обращение с ОЯТ и РАО

2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

- Управляемый термоядерный синтез: установки и исследования
- Технологии получения и использования водорода
- Материалы термоядерной и водородной энергетики

3. РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА

- Радиоэкологические исследования и оценка рисков для человека и экосистем
- Мониторинг бывших испытательных полигонов и других радиационно-опасных объектов
- Ремедиация территорий, подвергшихся техногенному радиоактивному загрязнению
- Ядерные и радиационные технологии в промышленности и медицине

4. УКРЕПЛЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

- Ликвидация инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия
- Поддержка и укрепление режима нераспространения ядерного оружия, минимизация использования высокообогащенного урана в гражданском секторе
- Мониторинг ядерных испытаний и их последствий геофизическими методами
- Территория СИП для наращивания потенциала режима контроля за выполнением ДВЗЯИ

CONFERENCE ORGANIZERS

- Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan
- RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan” and Branches:
 - “Institute of Radiation Safety and Ecology”
 - “Institute of Atomic Energy”
 - “Institute of Geophysical Research”
- JSC “NAC “KAZATOMPROM”
- RSE “Institute of Nuclear Physics”
- JSC “Park of Nuclear Technologies”
- Kazakh Physical Society
- Association “Nuclear Society of Kazakhstan”

INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

A. M. Satkaliyev (Kazakhstan)	F. Rakhimi (Tajikistan)	J. Hulka (Czech Republic)
M. T. Gabdullin (Kazakhstan)	I. Yu. Rodin (Russia)	M. Koguchi (Japan)
A. A. Garibov (Azerbaijan)	N. I. Sanzharova (Russia)	K. Mackey (USA)
T. M. Zhintikin (Kazakhstan)	N. N. Spasskiy (Russia)	Ö. Meral (Austria)
P. A. Zaytsev (Russia)	Sh. T. Tukhvatulin (Russia)	M. Merola (France)
B. M. Ibrayev (Kazakhstan)	Yu. S. Cherepnin (Russia)	B. Salbu (Norway)
A. F. Ilyuschenko (Belarus)	V. S. Shkolnik (Kazakhstan)	J. Stevens (USA)
K. K. Kadyrzhanov (Kazakhstan)	B. S. Yuldashev (Uzbekistan)	P. Stohr (France)
Ye. I. Karpenko (Russia)	K. Akehashi (Japan)	T. Taiwo (USA)
A. I. Kiyevitskaya (Belarus)	I. M. Bolshinsky (USA)	H. Usui (Japan)
T. A. Kozhamkulov (Kazakhstan)	H. Florou (Greece)	W. Wieleba (Poland)
Yu. F. Kopnichev (Russia)	S. Hecker (USA)	S. Yusan (Turkey)
Ye. Zh. Mukanov (Kazakhstan)	X. Hou (Denmark)	

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman: **E. G. Batyrbekov** – Director General, RSE NNC RK

Vice-Chairman: **V. A. Vityuk** – Deputy Director General for Science, RSE NNC RK

Committee Members:

S. A. Berezin – Deputy Director General, RSE NNC RK, Senior Manager of IGR, RSE NNC RK	N. N. Mikhailova – Deputy Director, IGR, RSE NNC RK
S. K. Sakhiyev – Director General, RSE INP	M. K. Mukusheva – Director, RSE NNC RK office in Astana
A. N. Borisenko – Chairman of Board JSC “Park of Nuclear Technologies”	L. A. Yerygina – Academic Secretary, IAE, RSE NNC RK
I. L. Tazhibayeva – Chairman of Board, Association “Nuclear Society of Kazakhstan”	N. V. Larionova – Academic Secretary, IRSE, RSE NNC RK
S. S. Lokshtanov – Chief Engineer, RSE NNC RK	N. O. Utenkova – Head of Department of Scientific and Analytical Information and International Cooperation, RSE NNC RK
V. V. Baklanov – First Deputy Director, IAE, RSE NNC RK	
A. O. Aidarkhanov – Director, IRSE, RSE NNC RK	

CONFERENCE THEME

1. CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF NUCLEAR POWER DEVELOPMENT

- Nuclear power safety
- Radiation material science and solid-state physics
- SNF and RW management

2. PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY AND CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION DEVELOPMENT

- Controlled thermonuclear fusion: facilities and research
- Technologies for hydrogen use and production
- Materials for thermonuclear and hydrogen power

3. RADIATION ECOLOGY AND MEDICINE

- Radioecological studies and risk assessment for human and ecosystem
- Monitoring of the former test sites and other radiation hazardous objects
- Remediation of territories, exposed to technogenic radioactive contamination
- Nuclear and radiation technologies in industry and medicine

4. STRENGTHENING THE NUCLEAR NONPROLIFERATION REGIME

- Elimination of nuclear weapon test infrastructure and consequences
- Support and strengthening the nuclear nonproliferation regime, minimizing the use of highly enriched uranium in civil sector
- Monitoring of nuclear tests and its consequences using geophysical methods
- STS territory for CTBT verification regime capacity building

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ / PLENARY SESSION.....	21
THE EAGLE PROJECT TO ENHANCE THE SAFETY OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS DURING THE SEVERE ACCIDENTS K. Kamiyama, K. Matsuba, S. Kato, Y. Imaizumi, N. Mukhamedov, A. Akaev, A. Pakhnits, A. Vurim, V. Baklanov	23
THE INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER David Cleave	24
IAEA SUPPORT FOR RESEARCH REACTOR FUEL CYCLE PROGRAMMES J. Dewes, P. Chakrov.....	24
NORSAR STATION OPERATION AND MONITORING Jon Magnus Christensen.....	25
CAESIUM-137 DOSE RATE CALCULATION IN NATURAL MARINE BIOTA BY USE OF THE ACTIVITY CONCENTRATIONS OF SEAWATER ESTIMATED BY EO DATA IN A GIS ENVIRONMENT Heleny Florou, Olga Sykioti, G. Mavrokefalou	25
IMPROVING RADIOACTIVE CONTAMINATION MANAGEMENT BY COMPLEX ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT T. Kovács, G. Bátor, Z. Baigazinov, M. Hegedűs, A. Csordás, E. Tóth-Bodrogi.....	26
ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В. В. Савчин, И. В. Хведчин, А. И. Леончик, Г. В. Долголенко, Н. М. Курбанов, В. С. Скавыш	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ С. Н. Лукашенко, А. В. Михайлов, С. А. Краснопеев, А. В. Томсон, М. А. Эдомская.....	27
Секция 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ / Section 1. CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF NUCLEAR POWER DEVELOPMENT	29
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ SMALL PUNCH TEST Е. Д. Даулетханов, Е. Е. Сапатаев, Н. А. Оразгалиев.....	31
ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ПУГР АО «ОДЦ УГР» А. А. Измestьев, В. С. Загуменнов, К. Е. Орлов, А. Е. Павлюк	31
DEVELOPMENT OF AN EVALUATION METHOD FOR IN-PLACE COOLING OF A DEGRADED CORE IN SEVERE ACCIDENTS OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS Y. Imaizumi, M. Aoyagi, K. Kamiyama, K. Matsuba, A. Akaev, A. Mikisha, V. Baklanov, A. Vurim	32
ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЭТИЛЕНА-ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА М. Ю. Ташметов, Н. Б. Исматов, С. Р. Аллаяров, А. Б. Абдаминов.....	33

EXPERIMENTAL STUDIES IN THE EAGLE-3 PROJECT FOR CONTROLLED MATERIAL RELOCATION IN SEVERE ACCIDENTS OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS S. Kato, K. Matsuba, K. Kamiyama, N. Mukhamedov, A. Akaev, A. Pakhnits, A. Vurim, V. Baklanov.....	34
СОРБЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА НА АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЯХ М. С. Кунарбекова, К. К. Кудайбергенов, С. Азат	35
ОПЫТ МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ ДИАМЕТРОМ ДО 8 ДЮЙМОВ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т И. И. Лебедев, М. Н. Аникин, Н. В. Смольников, А. Г. Наймушин	35
ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ И НАУКЕ С. С. Маусымбаев, Д. Х. Кенбаев	36
ИССЛЕДОВАНИЕ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО НИТРИДНОГО ТОПЛИВА В ИМПУЛЬС-НЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ В. В. Лемехов, Ю. С. Черепнин, А. В. Моисеев, А. А. Пулинец, А. П. Жирнов, А. Н. Иванюта, И. М. Рождественский, Е. Р. Межина	39
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ А. Д. Вурим, Ю. Ю. Бакланова, Н. М. Мухамедова, А. В. Сысалетин, Р. С. Исламов.....	39
МЕХАНИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ WC D. B. Buitkenov, E. Naimankumaruly, B. K. Rakhadilov.....	40
DEVELOPMENT AND TUNING OF AN OPTICAL RADIATION PARAMETER RECORDING SYSTEM FOR CONDUCTING EXPERIMENTS ON A PULSED NUCLEAR REACTOR K. K. Samarkhanov, M. U. Khasenov, Yu. M. K. Skakov, Yu. N. Gordienko, Yu. V. Ponkratov, A. N. Kotlyar, A. A. Miller, Ye. Yu. Tulubayev, V. S. Bochkov, A. N. Sluyanov, S. V. Tolmachev.....	41
АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т АЛГОРИТМАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ Н. В. Смольников, М. Н. Аникин, И. И. Лебедев, А. Г. Наймушин	42
МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РМ И РЗМ В УРАНОВЫХ РУДАХ ПЕСЧАНИКОВОГО ТИПА Б. Ж. Токсанбаев, К. А. Жапабаев	42
МАЛОМАСШТАБНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОРИУМА С МЕТАЛЛАМИ – ОХЛАДИТЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫ К. О. Толеубеков, М. К. Скаков, В. В. Бакланов, Э. Еділұлы, Г. С. Нурпаисова	43
ВОЗДЕЙСТВИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОЙНЫХ ОРТОФЕРРИТОВ $\text{La}_{0,5}\text{Re}_{0,5}\text{FeO}_3$ ($R=\text{Eu}, \text{Nd}$) А. М. Живулько, С. Б. Ластовский, И. И. Макоед, В. Р. Соболев, Ж. З. Шерматов, К. И. Янушкевич ..	44
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	46
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ВОЗДУХЕ Е. Е. Сапатаев, Е. Д. Даулетханов, Е. Б. Арынгазы.....	46

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРИУМА С КЕРАМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ ИЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ (Al_2O_3) СО СВИНЦОВОЙ ПРОКЛАДКОЙ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫ	
М. К. Бекмулдин, М. К. Скаков, В. В. Бакланов, А. С. Акаев, Е. А. Мартыненко, А. А. Туркач	46
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОГО МЕТАЛЛА	
С. А. Должиков, А. В. Пахниц, Н. Е. Мухамедов.....	47
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИГР	
Р. А. Иркимбеков, О. М. Жанболатов, А. С. Сураев	48
СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОНОВ И ДЕЙТРОНОВ ИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 22 МэВ С КОБАЛЬТОМ	
Т. К. Жолдыбаев, Г. Усабаева, Б. М. Садыков, А. Темирганов	48
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СКРП-КТМ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ УСТАНОВКИ ТОКАМАК КТМ	
А. Г. Коровиков, В. В. Яковлев, А. Т. Избасханова	49
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Р. Е. Келсингазина, В. А. Витюк, Н. Е. Мухамедов, Г. А. Витюк.....	50
ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ UNCHARGED ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	
А. К. Мухамедиев, И. В. Прозорова	51
ОБОСНОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ ИВГ.1М	
И. В. Прозорова, А. К. Мухамедиев, А. А. Прозоров, Ю. А. Попов.....	52
РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С АКТИВАЦИОННЫМИ ИНДИКАТОРАМИ В РАМКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ИГР В РЕЖИМАХ САМОГАСЯЩЕЙСЯ ВСПЫШКИ	
С. Н. Светачев, Р. Р. Сабитова, Ю. А. Попов, И. В. Прозорова	52
РАСЧЕТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ИГР	
А. С. Сураев, О. М. Жанболатов, Р. А. Иркимбеков, В. А. Витюк.....	53
АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ПРОТОТИПА МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР	
Э. Ж. Токтаушев, И. М. Кукушкин, Ю. А. Попов, С. Н. Светачев, Р. Р. Сабитова, Ю. Ю. Бакланова, А. С. Акаев, Е. Т. Коянбаев.....	54

Секция 2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА / Section 2. PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY AND CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION DEVELOPMENT55

СТЕНД ГОРЯЧИХ ВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ ВНУТРИКАМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ В. А. Васильев, Д. А. Киселев, А. Н. Маханьков, С. Н. Мазаев, А. А. Гervаш, П. Ю. Пискарёв, И. В. Мазуль, В. В. Рузанов, М. С. Колесник	57
ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПЛАЗМЫ НА ТОКАМАКЕ КТМ А. Ж. Дүйсен, Б. Ж. Чектыбаев, Е. А. Кашикбаев, С. А. Жүнісбек	57
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВОЛЬФРАМА В РЕЗУЛЬТАТЕ КАРБИДИЗАЦИИ В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ М. К. Скаков, Ф. Қ. Жанболатова, В. В. Бакланов, А. Ж. Миниязов, Е. А. Кожаметов, И. А. Соколов, Т. Р. Туленбергенов, А. В. Градобоев	58
МЕТОДИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТИЕВЫХ КЕРАМИК С НЕЙТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ЭКСТРАКЦИИ Жанна Заурбекова, Евгений Чихрай, Тимур Кульсартов, Саулет Аскербеков, Инеш Кенжина, Асет Шаймерденов	59
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО НАСОСА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ БЛАНКЕТА ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА Б. В. Иванов, М. В. Синяков, Р. М. Меншарапов	59
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТОКАМАКЕ КТМ Е. А. Кашикбаев, Б. Ж. Чектыбаев, С. А. Жүнісбек, А. Ж. Дүйсен, А. А. Жаксыбаева, Ә. Н. Мадиянова, А. Ғ. Смағұлова	60
ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВОК УТС, РАССЧИТАННЫХ НА БОЛЬШИЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ И КОНТАКТ С ЖИДКИМ ЛИТИЕМ М. С. Колесник, П. Ю. Пискарёв, И. В. Мазуль, Р. В. Рулёв, В. В. Рузанов	60
ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМЫ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО КАРБИДНОГО СЛОЯ ВОЛЬФРАМА М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, И. А. Соколов, Т. Р. Туленбергенов, Е. А. Кожаметов, Ғ. Қ. Жанболатова	61
КОМПОНЕНТЫ, ОБРАЩЕННЫЕ К ПЛАЗМЕ В ПРОЕКТЕ ТРТ: МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ П. Ю. Пискарёв, И. В. Мазуль, А. Н. Маханьков, Н. В. Литуновский, М. С. Колесник	62
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ В. В. Рузанов, П. Ю. Пискарёв, А. А. Гervаш, В. А. Васильев, М. Н. Большаков	63
СТЕНД ДЛЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МОЩНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ, ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ, ЦЕФЕЙ-М Р. В. Рулёв, В. Е. Кузнецов, В. В. Левичев, И. В. Мазуль, П. Ю. Пискарёв, В. Г. Серов	63
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЫ И ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА БЕРИЛЛИЙ М. К. Скаков, И. А. Соколов, А. Ж. Миниязов, Т. Р. Туленбергенов	64

ОТРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПИРОЛИЗОМ МЕТАНА В СВЧ РАЗРЯДЕ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ М. К. Скаков, Т. Р. Туленбергенов, И. А. Соколов, А. Ж. Миниязов.....	65
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ Е. А. Кожаметов, Н. М. Мухамедова, А. С. Уркунбай, А. Ж. Миниязов	65
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	67
ИННОВАЦИИ И ДОСТИЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО РАЗМЫКАТЕЛЯ СИСТЕМЫ БЫСТРОГО ВЫВОДА ЭНЕРГИИ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ КАТУШЕК УСТАНОВОК УПРАВЛЯЕ- МОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА Д. И. Алексеев, М. В. Карпишин, Ю. Н. Латманизова, М. В. Манзук, С. М. Микляев, А. Г. Рошаль, А. И. Семенов, А. А. Соленый	67
СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ С МАКЕТОМ МОДУЛЯ ЛИТИЕВОГО ДИВЕРТОРА ОХЛАЖДАЕМОГО ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСЬЮ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ И. Л. Тажибаева, Е. Ю. Тулубаев, В. С. Бочков, Ю. В. Понкратов, Ю. Н. Гордиенко, А. Н. Слуянов, А. С. Нагманов, Е. А. Мартыненко.....	68
РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННО-АКТИВНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-Al-Nb ДЛЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, Е. А. Кожаметов, Н. М. Мухамедова	68
ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ И ТРИТИЯ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЕББЛОВ Li ₂ TiO ₃ ПРИ ФЛУКТУАЦИЯХ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА Тимур Кульсартов, Жанна Заурбекова, Евгений Чихрай, Инеш Кенжина, Саулет Аскербек, Асет Шаймерденов.....	69
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОТЕМПЕ- РАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКЕ А. Ж. Миниязов, Ә. Ж. Қайырбекова, Т. Р. Туленбергенов, Ғ. Қ. Жанболатова, О. А. Степанова	70
ГИБРИДНЫЙ КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ КОММУ- ТАЦИИ ТОКА ДЛЯ УСТАНОВОК УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА Ю. Н. Латманизова, Д. И. Алексеев, М. В. Карпишин, М. В. Манзук, С. М. Микляев, А. Г. Рошаль, А. И. Семенов, А. А. Соленый	70
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОЙ КПС В УСЛО- ВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ ДЕЙТЕРИЕВОЙ ПЛАЗМОЙ Ю. В. Понкратов, К. К. Самарханов, Ю. Н. Гордиенко, Е. Ю. Тулубаев, В. С. Бочков, Э. Сапарбек, И. А. Соколов, Т. Р. Туленбергенов, Е. А. Мартыненко, О. С. Букина, Н. А. Оразгалиев.....	71
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ КОРРО- ЗИОННОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА С НЕРЖАВЕЮ- ЩЕЙ СТАЛЬЮ И ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ Ю. В. Понкратов, Э. Сапарбек, В. С. Бочков, Ю. Н. Гордиенко, Е. Ю. Тулубаев, Н. А. Оразгалиев, Б. Т. Оразымбеков, Е. Б. Арынгазы	72
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ СИСТЕМОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЦР НАГРЕВА ТОКАМАКА КТМ А. В. Гулькин, Б. Ж. Чектыбаев, А. Н. Сатибеков, А. Т. Кусаинов, Қ. Жәніс, Н. В. Сахаров, В. Б. Минаев, Н. Н. Бахарев.....	73

УСТРОЙСТВО ЯДРА, ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ Д. М. Таниев.....	73
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВА- НИЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ Т. Р. Туленбергенов, М. К. Скаков, Б. Ж. Чектыбаев, И. А. Соколов, Ғ. Қ. Жанболатова, Р. Наурызбаев, А. Ж. Миниязов, А. В. Градобоев.....	74
ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВЕ ГАЗО- ДИНАМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА МОЛЕКУЛЯРНОГО ПУЧКА А. А. Туркач, Т. А. Сегеда, М. К. Бекмулдин, Ә. Еділұлы.....	75
КАТАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ СОСТАВА $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{2,78}$ ДЛЯ СИНТЕЗА И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА Ж. З. Шерматов, М. С. Пайзуллаханов, М. Х. Арипова, О. Т. Ражаматов, А. М. Живулько, И. И. Макоед, В. Р. Соболев, К. И. Янушкевич.....	75
Секция 3. РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА / Section 3. RADIATION ECOLOGY AND MEDICINE	77
ИНСТИТУТУ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ 30 ЛЕТ. ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА А. О. Айдарханов.....	79
ХАРАКТЕР ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМ ВОДОЕМОВ ТЕРРИТОРИИ СИП А. К. Айдарханова, Ж. Е. Тлеуканова, Н. В. Ларионова, А. С. Мамырбаева, Р. Г. Ермакова.....	79
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН М. М. Бахтин, П. К. Казымбет, Е. Т. Кашкинбаев, Д. Д. Джанабаев, М. Н. Аумаликова, Ж. Иса	80
ECOLOGICAL AND GENETIC ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF RADIATION INFLUENCE ON CONTAMINATED AREAS (SECOND REPORT) А. В. Bigaliyev, А. N. Kozhahmetova, А. М. Myrzatay, А. Akbaev, Zh. Dosmagambet.....	81
АПРОБАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА ДЕЗАКТИВАЦИИ ТЕХНОЛОГИ- ЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА П. А. Блынский, Е. А. Петрова.....	82
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И. С. Бредихин.....	83
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕШЕХОДНОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И. П. Дорожкин, Ю. В. Бакланова, В. В. Божко, Е. В. Мустафина.....	83
EPR DOSIMETRY STUDY OF HIROSHIMA ATOMIC BOMB VICTIMS Kassym Zhumadilov, Alexander Ivannikov, Valeriy Stepanenko, Asel Bagramova, Shin Toyoda, Satoru Endo and Masaharu Hoshi	85

MEASUREMENT OF HEAVY METALS CONCENTRATION IN THE AIR OF AKMOLA REGION

A. G. Zhumalina, A. A. Bagramova, E. K. Sambayev, A. Sakaguchi, S. Endo, K. Tanaka, T. Kajimoto, N. Kawano, K. Sh. Zhumadilov, M. Hoshi85

EARTHWORMS AND THEIR ORGANS AS INDICATORS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A. Shahrokhi, T. Ganbaatar, E. Tóth-Bodrogi, A. Csordás, M. Hegedűs, T. Kovács86

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

О. Ю. Коровина, В. А. Сомин, В. А. Коровин87

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА АЛМАТЫ

М. В. Краснопёрова, П. В. Харкин, И. Д. Горлачёв, Д. А. Желтов, Л. Д. Матиенко, О. С. Мильц87

ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ФИТОМАССЫ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Г. В. Седукова, Н. В. Крестова.....88

ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СИП

Н. В. Ларионова, А. О. Айдарханов, А. В. Паницкий, А. К. Айдарханова, П. Е. Кривицкий, А. Е. Кундузбаева, А. М. Кабдыракова89

РАЗРАБОТКА СЕРИИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КОКТЕЙЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ

А. В. Михайлов, С. Н. Лукашенко, А. В. Томсон.....89

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Е. В. Мустафина, А. Ю. Осинцев, А. О. Айдарханов.....90

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦАХ ВОЗДУХА ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСК

Н. Ж. Мухамедияров, В. В. Колбин, А. Е. Темиржанова, М. Т. Дюсембаева, А. Л. Дашук, А. А. Круглыхин, Е. З. Шакинов, Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова, А. Ж. Ташекова.....91

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ

М. С. Омаров, К. К. Ахметов, К. М. Омарова.....92

РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНЫХ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. В. Паницкий, А. Б. Базарбаева, С. А. Байгазы, И. А. Александрович93

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОНУКЛИДЫ

М. А. Подойников, И. А. Хлебникова, К. Л. Шульгин93

ПОРТАТИВНЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ РАДИОНУКЛИДОВ

И. В. Покровский.....94

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ НТО КУЛЬТУРОЙ ПЕРЦА И БАКЛАЖАНА

Е. Н. Поливкина, Е. С. Сысоева, А. В. Паницкий, Е. В. Романенко, Л. Ф. Субботина, А. Р. Иванова .95

TOWARDS VISUALIZING RADIOACTIVE SUBSTANCES IN THE GLOBAL RADIATION ENVIRONMENT USING AN INTEGRATED RADIATION IMAGING SYSTEM

Yuki Sato96

БОЛЕЗНИ ПОЧЕК И КОНЦЕНТРАЦИЯ УРАНА В МОЧЕ У НАСЕЛЕНИЯ СЫРДАРЬИНСКОЙ УРАНОВОЙ ПРОВИНЦИИ

Е. А. Сайфулина, Д. Д. Джанабаев, М. Н. Аумаликова, Е. Т. Кашкинбаев, П. К. Казымбет96

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТКАНЕЙ ТОНКОГО КИШЕЧНИКА КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ПЫЛИ УРАНОВОЙ РУДЫ В РАЗНЫХ ДОЗАХ

Д. С. Тажибаева, К. Б. Манекенова, Н. Б. Кабдуалиева, Е. А. Сайфулина, Ж. Б. Айтбаева, К. К. Ниязбекова, Т. Н. Тулеуов, М. Б. Тохаева97

ИССЛЕДОВАНИЕ В БАССЕЙНЕ ТРАНСГРАНИЧНОЙ «КЫРГЫЗСТАН-КАЗАХСТАН» РЕКИ КАРАБАЛТА

М. Севериненко, В. П. Солодухин, Б. М. Дженбаев, С. Г. Ленник, Б. К. Жолболдиев98

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ

Е. К. Соколенко, С. Г. Ленник, Г. М. Кабирова, К. А. Бедельбекова99

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ФАКТОРА НА СТРУКТУРНО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Е. С. Сысоева, Е. Н. Поливкина, А. В. Паницкий99

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИТИЯ В СИСТЕМЕ «ВОДА – ПОЧВА – ВОЗДУХ»

Л. В. Тимонова, Н. В. Ларионова, А. К. Айдарханова100

СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ТЕРРИТОРИИ СИП

Ж. Е. Глеуканова, А. К. Айдарханова, Р. Г. Ермакова, А. С. Мамырбаева, К. Ю. Демкова101

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ИЗОТОПАМИ УРАНА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

Т. В. Тузова102

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА И МОНИТОРИНГ НАБЛЮДЕНИЙ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, А. Л. Дашук, А. А. Круглыхин103

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮТЕЦИЯ-177 БЕЗ НОСИТЕЛЯ

И. А. Ушаков, В. В. Зукау, В. А. Демидов, Е. А. Нестеров103

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОФЛОРУ ТОЛСТОГО КИШЕЧНИКА И ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ЛЕГКИХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Н. Ж. Чайжунусова, Д. М. Шабдарбаева, И. Кайырханова, Г. К. Амантаева, Ж. Ж. Абишев, Б. Русланова, К. Ш. Жумадилов, В. С. Гныря, А. С. Азимханов, В. Ф. Степаненко, N. Fujimoto, M. Hoshi, A. А. Дюсупов104

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ И ТОНКОГО КИШЕЧНИКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ Д. М. Шабдарбаева, Н. Ж. Чайжунусова, Д. Е. Узбеков, Г. К. Амантаева, Ж. Ж. Абишев, Б. Русланова, К. Ш. Жумадилов, В. С. Гныря, А. С. Азимханов, В. Ф. Степаненко, N. Fujimoto, M. Hoshi, A. A. Дюсупов.....	105
ПОГЛОЩЕНИЕ ПЛУТОНИЯ РАСТЕНИЯМИ ПРИ РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ М. А. Эдомская, С. Н. Лукашенко	106
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	108
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБСЛЕДОВАНИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА М. Т. Абишева, В. Н. Монаенко.....	108
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАКТОРА ИРТ-Т ДЛЯ НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ М. Н. Аникин, Н. В. Смольников, А. Е. Овсенёв, И. И. Лебедев, А. Г. Наймушин.....	108
ОСОБЕННОСТИ ВЫПЛОДА СИМУЛИД РЕКИ ИРТЫШ К. К. Ахметов, А. А. Оразбекова.....	109
БАЗА ДАННЫХ, КАК ЭЛЕКТРОННЫЙ АРХИВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ И. А. Бачурина, А. В. Топорова, Н. В. Ларионова.....	110
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ Ю. А. Верхуша, В. Д. Гузов, В. А. Кожемякин, С. В. Лазаренко	110
ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF SAMPLES FROM KALBAJAR DISTRICT OF AZERBAIJAN F. Y. Humbatov, Q. I. Ibrahimov, G. F. Aslanova	111
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ СИП Р. Г. Ермакова, Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева	112
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТИПОВОГО ЦЕНТРА ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ Д. А. Жидков.....	112
ANALYSIS OF THE SAMPLES BY LASER SPECTROSCOPY, ICP-MS, RIMS AND INAA I. N. Izosimov, I. Strashnov, B. D. Saidullaev, A. Vasidov	113
РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН Л. Б. Кенжина, А. Н. Мамырбаева, Д. Б. Бияхметова	114
О ВОПРОСЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПОВ ^{137}Cs И ^{239}Pu В РАДИОНУКЛИДНОЙ ОЦЕНКЕ ЭРОЗИИ ПОЧВ В. В. Колбин, Н. Ж. Мухамедияров, А. Ж. Ташекова, Ф. Ф. Жамалдинов, М. Т. Дюсембаева, Е. З. Шакенов, Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова.....	114

ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-АТ1117М С БЛОКОМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БДКН-06 И НАБОРОМ СФЕР-ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ Д. И. Комар, В. И. Гуринович, В. Д. Гузов, И. А. Лагуцкий, А. А. Екидин, М. Д. Пышкина.....	115
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ МЕДИЦИНСКИХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПОДВЕРГШЕГОСЯ ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ Ф. В. Коновалова, А. В. Липихина, Ю. Ю. Брайт, А. Е. Мансарина, К. Н. Апсаликов	116
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНФОРМНОЙ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОНКООФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ К. С. Красильщиков.....	117
СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» НА ТЕРРИТОРИИ ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ» П. Е. Кривицкий, Н. В. Ларионова, А. О. Айдарханов	117
РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯТЦ А. А. Круглыхин, Д. В. Турченко, А. К. Айдарханова, М. Т. Дюсембаева, Н. Ж. Мухамедияров.....	118
ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ В ЗАДАЧАХ РАЗДЕЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И НЕЙТРОНОВ И. А. Лагуцкий, Д. И. Комар, А. В. Антонов, В. И. Антонов.....	119
ПЕРЕХОД $^{239+240}\text{Pu}$ В МЯСО ДОМАШНЕЙ ПТИЦЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИЕМЕ С ПОЧВОЙ, ВОДОЙ И ТРАВЯНОЙ МУКОЙ А. С. Мамырбаева.....	119
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТЕНИЯ ВЕЙНИК (<i>SALAMAGROSTIS EPIGEJOS</i>), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА К. С. Минкенова, А. Б. Янкаускас, Л. А. Немытова.....	120
АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОЙ АЛЬФА-, БЕТА-АКТИВНОСТИ В ВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА К. Т. Мустафина, Ф. Ф. Жамалдинов, Е. В. Романенко, Е. З. Шакенов, А. И. Меркель, С. Е. Сальменбаев.....	121
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОУГЛЕРОДА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ СИП А. М. Раимканова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева	121
ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ С. Б. Субботин, Н. В. Ларионова, Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова	122
SELECTIVE DETECTION OF $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ UNDER GAMMA-RAY FIELD USING THE LIQUID LIGHT GUIDE CERENKOV COUNTER Yuta Terasaka.....	123

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА БАЛХАШ

Т. Ш. Токтаганов, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева, Ж. Е. Тлеуканова.....123

ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ПРИ МОНИТО- РИНГЕ ОБЪЕКТОВ ЯТЦ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, Н. А. Лещенко, Л. Ф. Субботина124

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В НЯЦ РК

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, А. А. Круглыхин125

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРАНА И ПЛУТОНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Ф. Ф. Файзрахманов125

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ Г. АЛМАТЫ

П. В. Харкин, М. В. Красноперова, И. Д. Горлачев, Д. А. Желтов.....126

ПОДВИЖНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co) В АЛЛЮВИ- АЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЕНИСЕЙ (БЛИЖНЯЯ ЗОНА ВЛИЯНИЯ КРАСНОЯР- СКОГО ГХК)

А. В. Чугуевский, М. С. Мельгунов, М. Ю. Кропачева, И. В. Макарова127

EFFECT OF NATURAL BACKGROUND RADIATION HAZARD ON HABITAT AND ENVIRONMENT

Daya Shanker.....128

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГУМАТСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ СОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ШТОЛЕН ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

Е. З. Шакенов, Н. Ж. Мухамедияров, В. В. Колбин, А. Ж. Ташекова, М. Т. Дюсембаева,
Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова, Л. И. Сенгер128

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВОДНОГО БАССЕЙНА КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УРАНА

В. П. Солодухин, С. Г. Ленник, С. К. Ыдырышева, Г. М. Кабирова, Т. В. Суздальцева129

Секция 4. УКРЕПЛЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ / Section 4. STRENGTHENING THE NUCLEAR NONPROLIFERATION REGIME..... 131

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗБАВЛЕНИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ГРАФИТОВОГО ТОПЛИВА ИГР

Ю. Ю. Бакланова, Э. Г. Батырбеков, В. В. Бакланов, Е. Т. Коянбаев, В. С. Гныря, О. С. Букина133

ИНСТИТУТУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 30 ЛЕТ. ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

С. А. Березин.....134

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНО- ЛОГИИ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА ИГР

Ю. Ю. Бакланова, О. С. Букина, И. М. Кукушкин, Р. К. Барбатенков, М. А. Кукса,
М. Н. Азбергенов, А. Н. Котляр, А. П. Маслов, А. С. Азимханов, Е. Т. Коянбаев134

ТЕПЛОВАЯ АНОМАЛИЯ В РАЙОНЕ СИП И ЕЁ ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ А. Е. Великанов	135
ПЕРЕВОД ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ.1М НА НИЗКООБОГАЩЕННОЕ УРАНОВОЕ (НОУ) ТОПЛИВО В. С. Гныря, А. С. Азимханов, И. В. Прозорова, А. В. Тимонов, А. П. Маслов, И. К. Дербышев, Р. А. Иркимбеков.....	136
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ У. А. Игибаев, А. В. Комлев	137
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ С. А. Березин, Н. Н. Михайлова, П. Ю. Кривцов, В. И. Донцов, И. И. Комаров	137
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ БАЛАПАН, С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ПОСТВЗРЫВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И. О. Марченко, С. Б. Субботин, О. О. Марченко.....	138
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ NSDL ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПОЛЕВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИП А. С. Мукамбаев, В. Э. Асминг	139
ПРИВЕДЕНИЕ В БЕЗОПАСНОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» Э. Г. Батырбеков, С. А. Березин, А. Ю. Осинцев, Е. В. Мустафина.....	139
DEVELOPMENT OF THE NATIONAL NUCLEAR FORENSICS LIBRARY IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AS A SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF NUCLEAR AND OTHER RADIOACTIVE MATERIALS A. Sysaletin, Yu. Baklanova, E. Sapataev, V. Yermakov, R. Islamov, R. Nauryzbaev, S. Ilinykh.....	140
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	141
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА И. Л. Аристова, И. Н. Соколова, А. Е. Великанов, Д. К. Комекбаев	141
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИЙ И РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ НА СИП А. С. Мукамбаев, Н. Н. Михайлова, В. И. Дубровин.....	141
КОМПЛЕКС АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УРАНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ А. Ж. Сериков, В. С. Моренко, П. В. Харкин, М. В. Краснопёрова, Д. А. Желтов, А. Т. Кошжанов, А. Наби.....	142
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.....	143

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ



PLENARY SESSION

THE EAGLE PROJECT TO ENHANCE THE SAFETY OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS DURING THE SEVERE ACCIDENTS

K. Kamiyama¹, K. Matsuba¹, S. Kato¹, Y. Imaizumi¹, N. Mukhamedov²,
A. Akaev², A. Pakhnits², A. Vurim², V. Baklanov²

¹ Japan Atomic Energy Agency, Oarai-machi, Higashi-ibaraki-gun, Ibaraki-ken, Japan

² National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

The safety goal of a Nuclear Power Plant is to mitigate the release of radioactive nuclide into the environment even if the severe accident occurs. From the early stage of development for sodium-cooled fast reactors (SFRs), consequences of the severe accident (SA), which is traditionally called the Core Disruptive Accident (CDA) in the safety of SFRs, have been assessed in the licensing process. This is because the SFR core is not designed in the most reactive configuration under the normal operation condition. Due to this characteristics, sodium boiling in the core central region and compacting motion of degraded fuel have potential to lead to the prompt criticality which was named the recriticality issue. To eliminate this recriticality issue, a concept of controlled material relocation (CMR) was proposed^{1,2}. This CMR concept was later extended up to the stable cooling of the degraded core material³. CMR is an effective safety concept for increasing reliability of achieving in-vessel retention (IVR) by several design measures.

Since effectiveness of design measures for CMR is evaluated through SA analyses, computer codes have been developed and experimental studies addressing dominant phenomena of SA progression have also been performed to obtain both phenomenological knowledge and database for validation of the computer codes. With regard to experimental studies, a series of experimental programs called EAGLE (Experimental Acquisition of Generalized Logic to Eliminate re-criticalities), which is the collaborative experimental study between Japan Atomic Energy Agency (JAEA) and National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC RK) using an out-of-pile and in-pile test facilities of NNC RK, has been implemented for 25 years as one of comprehensive experimental studies addressing accident sequence after core melting of the fuel assembly scale.

The EAGLE project is divided into Phase I (EAGLE-1), Phase II (EAGLE-2) and Phase III (EAGLE-3). The subject for EAGLE-1 and the first half of EAGLE-2 is CMR in the early phase of CDA in which the core melting progresses rapidly driven by positive reactivity insertions. EAGLE-1 and EAGLE-2 have contributed to confirmation of the effectiveness of a design measure for CMR which is to provide a dedicated duct for molten-fuel discharge inside the fuel subassembly. The subject for the latter half of EAGLE-2 and whole EAGLE-3 is CMR in the later phase of CDA in which the gradual core melting by decay heat and relocation and cooling of degraded core materials occurs. EAGLE-2 and EAGLE-3 have provided new and effective knowledge and database both for CMR toward the lower part of the reactor vessel and for the coolability of relocated core materials. EAGLE-3 has also contributed to the evaluation of the coolability of core remaining fuel.

The EAGLE project advanced research on the core safety of SFR significantly and enhances SFR safety in case of CDA.

Acknowledgment

Supports given from NNC RK for the experiment in EAGLE project and technical interpreters, the late Mr. A. Kozlov, the late Ms. M. Miura, Mr. K. Okui, and Mr. K. Bisengaly, are deeply appreciated.

REFERENCES

1. Niwa, H., Progr. in Nucl. Energy, 32(3/4) (1998), pp. 621–629.
2. Endo, H., et al., Progr. in Nucl. Energy, 40(3/4) (2002), pp. 577–586.
3. Suzuki, T. et al., Journal of Nuclear Science and Technology 51 (4), 493–513, 2014.

THE INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER

David Cleave

The International Science and Technology Center

Tel: 7 (7172) 999 395, E-mail: istcinfo@istc.int

About us

The International Science and Technology Center (ISTC) is an intergovernmental organization using science and technology engagement and cooperation to promote international security and foster economic growth through innovation. From its headquarters in Astana, Kazakhstan, the ISTC coordinates the efforts of member party governments, international and regional organizations, private sector industry partners and global scientific institutions in support of the ISTC mission.

The ISTC's primary strategic partnership tools are Cooperative Programs and Research Projects, which seek to advance global peace and prosperity through cooperative Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) risk mitigation and by supporting civilian science and technology partnership that apply technical expertise to peaceful R&D fields to address national needs, global security threats and nonproliferation regime.

Vision

To advance global peace and prosperity through cooperative Chemical, Biological and Nuclear (CBRN) risk mitigation by supporting civilian science and Technology partnerships that address global security threats and advance non-proliferation to redirect expertise to peaceful R&D fields.

Mission

To address the global security threat of the proliferation of WMD-applicable chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) knowledge and materials; To support the integration of scientists with WMD applicable knowledge into global scientific and economic communities through national, regional, and international research collaboration; To develop and sustain a culture of nonproliferation and CBRN security awareness and responsibility through education, mentorship, and training; To promote international best practices and security culture to mitigate CBRN security threats.

*For more information about how you can join or partner with the ISTC, contact: David Cleave, Executive Director
Tel: 7 (7172) 999 395, E-mail: istcinfo@istc.int*

IAEA SUPPORT FOR RESEARCH REACTOR FUEL CYCLE PROGRAMMES

J. Dewes, P. Chakrov

International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria

The research reactor fuel cycle is a critical aspect of sustaining the viability of research reactors. To this end, the IAEA has focused significant effort in several aspects of the fuel cycle. The Agency provides guidance on effective management of spent fuel and other fissile materials such as radioisotope production residuals, including many treatment and conditioning options available, and is developing tools to facilitate decision making for member states in selection of these options as well as options for disposal. In support of non-proliferation, a major focus has been to eliminate the use of highly enriched uranium (HEU) in civilian facilities around the world, both as fuel and as targets for Molybdenum-99 production for medical use. The vast majority of HEU spent fuel has been repatriated to its country of origin, and all major producers of Molybdenum-99 have converted their operation to use of low enriched uranium. The conversion efforts continue, despite the difficulties associated with many of the remaining projects. On the front end of the fuel cycle, the Agency is supporting development of new LEU fuels and is developing guidance to enhance the proliferation resistance of new research reactors to minimize the potential for their use for production of weapons materials. This paper will illustrate the status of IAEA efforts in the research reactor fuel cycle and next steps to be accomplished.

NORSAR STATION OPERATION AND MONITORING

Jon Magnus Christensen

NORSAR

E-mail: jon@norsar.no

NORSAR is the Norwegian National Data Centre (NDC) and operates six stations of the International Monitoring System. These are the primary seismic arrays NOA/PS27, ARCES/PS28, the auxiliary seismic array SPITS/AS72, the auxiliary single seismic station JMIC/AS73, the infrasound array IS37 and the radionuclide station RN49. In addition, NORSAR operates several research stations within different technologies.

This presentation will give an overview of NORSARs monitoring systems and station operation.

CAESIUM-137 DOSE RATE CALCULATION IN NATURAL MARINE BIOTA BY USE OF THE ACTIVITY CONCENTRATIONS OF SEAWATER ESTIMATED BY EO DATA IN A GIS ENVIRONMENT

Heleny Florou¹, Olga Sykioti², G. Mavrokefalou¹

¹ ENRACT,,Institute of Nuclear & Radiological Sciences and Technology, Energy & Safety,
National Center for Scientific Research "DEMOKRITOS"

² Institute of Astronomy, Astrophysics, Space Applications & Remote Sensing – National Observatory of Athens

The dose rates in marine biota depends on their species and environment. There are fish, mammals, molluscs, crustaceans, phytoplankton, zooplankton, algae where for each the dose rate is calculated differently. In particular for marine Fish, there is a difference in the dose rates in Pelagic, Demersal – Pelagic, Demersal and Benthic Fish. The dose rate assessment in the marine organisms is calculated using the distribution coefficients according to the medium (seawater, sediment), the Concentration Factors (CF), the density of ionization, the LET, the RBE and the weighting factors. For the dose rate assessment from in situ measurements, both the medium (seawater-sediment) activity concentration and the organism activity concentration is needed, while using models, known CFs and organism libraries (ERICA-Tool, RESRAD-BIOTA, EDEN) only the medium activity concentration is necessary. However, the use of EO data and radiation protection equations within a Geographic Information Systems (GIS) environment for the dose rate assessment in biota has never been used before (Brown, et al., 2008; ICRP, 2008; UNSCEAR, 2008; IAEA, 2004; US DOE, 2004; ICRP, 2003; Valentin, 2003; Florou, 1992).

For the Aegean Sea, the ¹³⁷Cs activity concentration in seawater for the years after 2010 and till today is between 3–4 Bq/m³ (Mavrokefalou, et al., 2022; Florou, et al., 2010; Evangelizou, et al., 2009). The reported external dose rates of ¹³⁷Cs in marine organisms from previous in situ studies in the Aegean Sea (surface seawater) is from 3.3 10⁻⁵ µGy d⁻¹ in the Gulf of Corinth to 12.1 10⁻⁵ µGy d⁻¹ in Lemnos Island. In the Southern Aegean Sea, the external dose rates from ¹³⁷Cs in the surface seawater are from 4.5 10⁻⁵ µGy d⁻¹ to 5.4 10⁻⁵ µGy d⁻¹, whereas the internal dose rate to pelagic fish has been measured to be about 9 to 76 10⁻⁵ µGy d⁻¹ (Florou, et al., 2015). Moreover, from models in the Cyclades Island complex the dose rate to pelagic fish has been calculated from 1.40 to 2.80 10⁻⁵ µGy d⁻¹ (Marosi, 2014). In other areas of the Mediterranean Sea, like Northern Cyprus for pelagic fish the external dose rate has been calculated to be about 1.21 10⁻⁵ µGy d⁻¹ and the internal dose to pelagic fish has been calculated to be 6.8 10⁻⁵ µGy d⁻¹ (Abbasi, et al., 2021).

The present study deals with the estimation of ¹³⁷Cs activity concentrations in sea water of the Aegean sea by EO data and subsequently the estimation of the radiological dose rates (internal and external) to selected marine Fish using GIS software. The equations used are based in the relations of Par and iPar with the ¹³⁷Cs activity concentrations in sea water, while the conventional radiation protection equations are used for the estimations of the internal and external dose rates in an GIS environment.

Moreover, within the GIS the radiation protection equations were uploaded for the calculation of the external and internal dose rates in the 4 species of pelagic Fish. For the external dose an infinitive space with the organisms as a set of points is considered. For the internal dose, the concentration factors from seawater to the organisms were used (Mavrokefalou, et al., 2022; Florou, et al., 2015; Florou, 1992). The ¹³⁷Cs activity concentrations that are used for the dose rate assessment to pelagic Fish are calculated using the aforementioned equation from the relations of ¹³⁷Cs activity concentration and NASA's Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) daily and instantaneous photosynthetically available radiation raster images (PAR, iPAR) (Mavrokefalou, et al., 2022). The equation was developed for the area of Souda Bay, and emerged from regression analyses

REFERENCES

1. Abbasi, A., Zakaly, H. M., & Badawi, A. (2021). The anthropogenic radiotoxic element of ^{137}Cs accumulate to biota in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 164, p. 112043.
2. Brown, J. E., Alfonso, B., Avila, R., Beresford, N. A., Coppelstone, D., Pröhl, G., & Ulanovsky, A. (2008). The ERICA tool. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(9), pp. 1371-1383. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.01.008
3. Florou, H. (1992). *Dispersion and Behaviour of Long Lived Radionuclides in Marine Ecosystems*. Athens: In Greek. Ph.D. Thesis. National and Kapodistrian University of Athens.
4. Florou, H., Trabidou, G., Evangelidou, N., & Kuburas, G. (2015). Radiation dose assessment of ^{137}Cs in marine Fish of different habitats in the Aegean Sea - Greece. *ENVIRA2015 Int. Conf. Environmental Radioactivity*. Thessaloniki, Greece, 21-25 September 2015.
5. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2004). *Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment* (Vol. Technical Report Series (TRS) No. 422). Vienna: International Atomic Energy Agency.
6. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2003). Relative Biological Effectiveness, Radiation Weighting and Quality Factor. *Annals of the ICRP*, 33(4).
7. Marosi, N. (2014). *Comparative dose rate study of external exposure to ionizing radiation in marine organisms using conventional equations and the RESRAD-BIOTA computational model*. Athens: National Technical University of Athens (NTUA), Thesis.
8. Mavrokefalou, G., Sykioti, O., Kitis, G., & Florou, H. E. (2022). Estimations of ^{137}Cs activity concentrations using marine parameters issued from MODIS and Copernicus Marine Environment Monitoring Services (CMEMS) data in Souda Bay (Crete, Greece) for the period 2011–2019. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(32), pp. 49161-49178.
9. NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Biology Processing Group. (2020). *OceanColorWEB*. Retrieved from NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Biology Processing Group: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>
10. NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. (2020). Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua and Moderate-resolution
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2008). *Sources and Effects of Ionizing Radiation* (Vols. Report to the General Assembly, with scientific annexes. Annex E: Effects of ionising radiation on non-human biota). New York: United Nations.
12. United States Department of Energy (US DOE). (2004). *RESRAD-BIOTA: a tool for implementing a graded approach to biota dose evaluation*. (Vols. RESRAD-user's guide, version 1). Interagency Steering Committee on Radiation Standards (ISCORS) Technical Report.
13. Valentin, J. (2003). A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. *Annals of the ICRP*, 33(3), pp. 201-270.

IMPROVING RADIOACTIVE CONTAMINATION MANAGEMENT BY COMPLEX ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT

T. Kovács¹, G. Bátor², Z. Baigazinov¹, M. Hegedűs¹, A. Csordás¹, E. Tóth-Bodrogi¹

¹ Institute of Radiochemistry and Radioecology, University of Pannonia, H-8200, Hungary

² Social Organisation for Radioecological Cleanliness, H-8200, Hungary

The unintentional and deliberate releases of radionuclides into the environment might cause the appearance of sites with elevated radionuclide concentrations requiring oversight and possibly intervention. Nuclear and industrial accidents, such as Chernobyl and Fukushima and nuclear tests, such as the Bikini Atoll or Semipalatinsk have elevated levels of artificial radionuclides, while drilling mud, red mud, fly and bottom ash, phosphogypsum and other industrial by-products can cause contamination by natural radionuclides. For the management of such sites it is critical to determine the size of the area, the severity of the contamination and the environmental mobility of the various contaminants. The interaction between the various environmental compartments and the resulting contribution to the various environmental pathways provides valuable information for assessing the situation, planning intervention measures, evaluating their efficacy and possibly releasing the sites from regulatory control, if mitigation efforts prove successful.

The Institute of Radiochemistry and Radioecology has extensive experience in investigating the legacy of NORM related industrial activities and radioisotope contaminated areas, identifying the key radioisotopes with the highest mobility, and the use of various indicator species to track radioactive contamination in the soil, water, air, and food. Concentration ratios might depend on the environment, so by determining or improving the accuracy of concentration ratios for various natural and artificial radioisotopes for plants (acacia, tobacco, vegetables etc.) and animals (invertebrates, ungulates, poultry, etc.), the predictive accuracy of radiation exposure models can be improved. Utilizing these results, Monte-Carlo models were developed for the assessment of the effects of accidental contamination on the food chain improving the accuracy of dose predictions for the local populace. These models make it possible to design and compare multiple scenarios, assisting decision makers in selecting intervention measures, evaluating their efficacy, releasing cleared up areas from regulatory control or delineating areas requiring oversight.

ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

В. В. Савчин, И. В. Хведчин, А. И. Леончик, Г. В. Долголенко, Н. М. Курбанов, В. С. Скавыш

*Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь*

Основными промышленными методами уменьшения объемов твердых горючих и негорючих отходов является соответственно сжигание и прессование, а жидких неорганических отходов – выпаривание. Получаемые в результате этих процессов продукты – зола, брикеты, соли не гарантируют надежной локализации токсичных веществ из-за неудовлетворительных физико-химических характеристик.

Выполненный анализ информации о современных исследованиях и промышленных разработках в области плазменных технологий переработки и утилизации различных видов отходов, в том числе содержащих токсичные и радиоактивные вещества, и оборудования для их реализации показывает, что высокотемпературная газификация или сжигание отходов с применением плазменного нагрева является наиболее выгодным технологическим процессом как с экологической, так и с экономической точек зрения.

Предложен надежный и эффективный метод утилизации различных несортированных, токсичных и радиоактивных твердых отходов низкого и среднего уровня активности на базе высокотемпературного (плазменного) вертикального реактора шахтного типа.

В предложенной технологии в качестве источников тепла используются электродуговые генераторы плазмы – плазмотроны. В Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси разработана линейка технологических плазмотронов с мощностью от 30 до 600 кВт. Плазмотроны генерируют плазму с температурой 4000–5000 °С, что позволяет реализовать нагрев рабочей зоны реактора до температур 1500–1600 °С.

Так шахтный процесс переработки реализует режим противотока в процессе нагревания и термической обработки отходов, охлаждение и фильтрацию отходящих газов непосредственно в самом слое загрузки, для чего в состав шихты можно поочередно добавлять органический фильтрующий материал. Этот материал в значительной степени поглощает токсичные и радиоактивные аэрозоли, после чего по ходу процесса подвергается термической переработке, а его зольная часть остекловывается вместе с зольной частью отходов. Дополнительным фактором предотвращения уноса токсичных компонент является охлаждение отходящих газов до температуры гарантированной конденсации летучих радионуклидов и токсинов в слое в верхней части шахты, где их температура может снижаться до 700–850 °С.

В высокотемпературной зоне реактора горючая (органическая) часть отходов сжигается, а их неорганические остатки плавятся совместно со стеклообразующей шихтой. Продукт переработки в виде расплава удаляется из печи в отдельные контейнеры и после охлаждения-отверждения является наиболее инертной формой для захоронения, исключаяющей проникновение радионуклидов и токсинов в окружающую среду. При этом в стекломассе фиксируется свыше 95–97% исходных радионуклидов или токсичных компонентов, содержащихся в отходах.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что степень выщелачивания макрокомпонентов, таких как натрий или калий, в деионизованной воде менее чем $1 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-8}$ г/(см²·сут), что позволяет сделать вывод о безопасности получаемых продуктов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ

С. Н. Лукашенко, А. В. Михайлов, С. А. Краснопеев, А. В. Томсон, М. А. Эдомская

Институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Российская Федерация

Подавляющее количество работ, затрагивающих вопросы трития в окружающей среде, посвящено констатации факта его присутствия и оценке его количеств, причем в наибольшем количестве работ оценивается только тритий в водной среде, в меньшем количестве работ дается оценка трития в воздухе и в совсем малом количестве работ оценивается органически-связанный тритий. Безусловно оценка реальной ситуации очень важна, тем более что внимание к тритию в окружающей среде стало адекватно его значимости лишь в нескольких последних десятилетиях. Отчасти это связано с экспериментальными сложностями определения таких форм

трития как органически-связанный тритий, тритий органических летучих соединений, различные формы трития в почве.

К одним из наиболее важных направлений исследования миграции трития в окружающей среде следует отнести: исследования переноса трития по цепи «воздух–растения–почва» и исследование изотопного фракционирования в биологических системах и в растениях, в частности. Настоящая работа посвящена исследованию перехода трития в растения по механизму «воздух-вода».

Исследования проводились в теплице с затрудненным воздухообменом. Повышенная концентрация трития в теплице достигалась непрерывным ультразвуковым распылением воды с повышенной концентрацией трития. Для регулирования влажности и температуры теплица была оснащена мобильным кондиционером и осушителями. Конденсированная вода из осушителей отбиралась дважды в день, утром и вечером. В конденсированной воде определялась концентрация трития. Растения выращивались в вегетационных сосудах на торфяной почве. Растения поливались только чистой водой, не содержащей трития.

Было выявлено, что концентрация трития в водяных парах воздуха (сконденсированной воде) во время всего эксперимента находилась в диапазоне 330-1420 Бк/кг, при среднем значении – 810 Бк/кг. Концентрации трития в свободной воде растений находились в следующих диапазонах: огурцы – 140–730, томаты – 150–630, свекла – 200–540, редис – 410, картофель – 80–240, кукуруза – 110–310, петрушка – 150–240, перец – 110–560, салат – 180–750, укроп – 170–460, бобы – 540 Бк/л.

Исследовано распределение трития по вегетативным органам ряда растений. Выявлено, что в ряде случаев концентрации в органах существенно различаются, например для томатов, при одинаковой концентрации трития в стеблях и плодах концентрация трития в листьях почти в два раза выше (средние концентрации в томатах: в плодах – 280, в стеблях – 280, в листьях – 530 Бк/л свободной воды). Для корнеплодов (свекла) содержание трития в корнеплодах и надземной части практически одинаково (корнеплод – 430, надземная часть 420 Бк/л свободной воды).

Проведено исследование влияния состава почвы на поглощения трития растениями из воздуха для свеклы, томатов и огурцов. Использовались смеси торфяной и дерново-подзолистой почвы в разных соотношениях. Ни в одном случае и ни для одной культуры различий не выявлено. Проведено исследования влияния влажности почвы на переход трития в свеклу в диапазоне от 32 до 50 % от максимальной влагоемкости почв. Значимой зависимости не выявлено.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда №23-24-00165.

Секция 1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



STS-2023

Section 1

CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF NUCLEAR POWER DEVELOPMENT

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ SMALL PUNCH TEST

Е. Д. Даулетханов, Е. Е. Сапатаев, Н. А. Оразгалиев

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Топливные каналы и тепловыделяющие сборки всех обычных ядерных реакторов, вырабатывающих энергию за счет деления урана тепловыми нейтронами, изготавливаются из сплавов циркония из-за их малого поперечного сечения поглощения тепловых нейтронов. Стабильность размеров и способность прогнозировать изменения размеров компонентов, изготовленных из циркониевых сплавов, важны для проектировщиков и операторов таких реакторов, поскольку деформация влияет на работоспособность или срок службы активной зоны реактора. В последние несколько десятилетие активно развивается методы испытания миниатюрных образцов для определения прочностных характеристик, которые не требуют большого количества облученного материала для определения механических свойств.

Метод Small Punch Test (SPT), использующий образцы в виде миниатюрных дисков (диаметром 8 мм и толщиной 0,5 мм) является эффективной альтернативой традиционным испытаниям на растяжение.

В этой работе исследуются прочностные характеристики циркониевых сплавов Zr (99,99% Zr), Э125 (Zr–2,5% Nb), Э110 (Zr–1% Nb) и Zr706 (Zr–2,5% Nb, Zr–4,5% Hf) с использованием метода испытания SPT. Для испытания по методу SPT были изготовлены миниатюрные образцы в форме диска размерами Ø8×0,5 мм. Испытания миниатюрных образцов методом SPT проводились на базе универсальной испытательной машины Instron 5966 с применением разработанного испытательного устройства [1].

По результатам испытания миниатюрных образцов были определены характерные зоны упругого, упругопластического и пластического деформирования. Проанализировав кривые «нагрузка-перемещение», определены значения нагрузки текучести R_y методом $t/10$ [2], и значения максимальной нагрузки R_m методом максимальной нагрузки сбалансированного со смещением u_m [3]. Между фактическими значениями предела текучести $\sigma_{0,2}$ и прочности σ_B циркониевых сплавов и со значениями R_y/t^2 и R_m/tu_m (метод SPT) установлена корреляционная зависимость с высоким уровнем корреляции ($R^2=0,99$) и ($R^2=0,95$) соответственно.

Исследование выполнено в рамках НТП «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан на 2021-2023 годы» по теме «Определение прочностных свойств конструкционных материалов атомной и термоядерной энергетики применением методики испытания миниатюрных образцов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Dauletkanov Y.D., Sapatayev Y.Y., Orazgaliyev N.A and etc. Development of a test device for testing miniature samples by the SPT method. NNC RK Bulletin. 2022;(2):32–39. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-2-32-39>
2. Rodríguez, J. García, E. Cárdenas and etc. Mechanical properties characterization of heat-affected zone using the small punch test, Welding Research 88 (2009) 188–192.
3. J.C. Chica, P.M. Bravo Diez, M.P and etc. A systematic FEM analysis of the influence of mechanical properties in the reliability of the correlation methods in the small punch test. Int J Mech Sci. 153-154 (2019), pp. 299 – 309.

ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ПУГР АО «ОДЦ УГР»

А. А. Измestьев, В. С. Загуменнов, К. Е. Орлов, А. Е. Павлюк

АО «ОДЦ УГР», г. Северск, Российская Федерация

Введение

АО «ОДЦ УГР» было организовано в 2010 году на базе Реакторного завода СХК в г. Северске Томской области. В собственность общества было передано 5 остановленных уран-графитовых реактора-наработчика плутония (ПУГР). Комплексы ПУГР включают в себя РУ И-1, АДЭ-3, АДЭ-4 и АДЭ-5, электростанции, хранилища РАО, бассейны выдержки ОЯТ, инженерные сети и коммуникации, вспомогательную инфраструктуру. В 2015 г. ЭИ-2 переведен в категорию пункта хранения РАО.

Захоронение на месте

Согласно «Концепции вывода из эксплуатации (ПУГР) по варианту радиационно безопасного захоронения на месте», вывод из эксплуатации ПУГР осуществляется путем надежной изоляции его основных конструкций в месте размещения ПУГР, обеспечивающей радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды на весь период.

В результате НИОКР по разработке состава и технологии подготовки материала создаваемых барьеров безопасности; проекта создания пункта консервации; технологии бесполостного заполнения пустот барьерным материалом в шахте реактора; технологии обращения с извлекаемыми РАО; системы контроля стабильности внутренних барьеров безопасности в пункте консервации в сентябре 2015 г. был создан пункт хранения РУ ПУГР ЭИ-2. На данный момент выполняются работы по совершенствованию системы мониторинга созданного пункта хранения РАО.

Ликвидация

После завершения работ по ВЭ ПУГР, приоритетными направлениями работ по комплексной программе обращения с графитом стали НИОКР, направленные на решения задач и обоснование безопасности работ по варианту «ликвидация».

В 2016–2017 годах была проведена проработка технологических решений и выполнен необходимый объем подготовительных операций. В результате был выбран район для организации проема и разработана последовательность технологических операций для организации доступа к графитовой кладки.

В 2018 году работ был выполнен проем в биологической защите и извлечены блоки графитовой кладки. В 2019–2020 гг. разработан робототехнический комплекс для резки трактов ТК под температурными компенсатором и сбор фрагментов трактов, резки кровли азотного коллектора.

На следующие годы запланированы работы по дальнейшему совершенствованию робототехнического комплекса.

Заключение

АО «ОДЦ УГР» накоплен большой опыт по обращению с облученным графитом, который позволяет реализовать одну из стратегических целей Госкорпорации «Росатом» – безопасного избавления от накопленных РАО. Подходы и практики, находят свое применение при решении задач о ВЭ ПУГР как на собственных площадках, так и на других площадках размещения ПУГР. Технологии по варианту «ликвидация» будут применяться при ВЭ энергетических УГР: РБМК, АМБ и ЭГП.

DEVELOPMENT OF AN EVALUATION METHOD FOR IN-PLACE COOLING OF A DEGRADED CORE IN SEVERE ACCIDENTS OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS

Y. Imaizumi¹, M. Aoyagi¹, K. Kamiyama¹, K. Matsuba¹,
A. Akaev², A. Mikisha², V. Baklanov², A. Vurim²

¹ Japan Atomic Energy Agency, Oarai-machi, Higashi-ibaraki-gun, Ibaraki-ken, Japan

² National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

1. Introduction

Among initiating events leading to severe accidents in sodium-cooled fast reactors (SFRs), unprotected loss of flow (ULOF) where the reactor shutdown system does not work after the loss of coolant flow in the core has been chosen for the representative case [1]. Even after the relocation of core materials into the lower plenum, most part of the core materials can remain in the core. The cooling of the residual degraded core materials in the core is called “in-place cooling”, and the effectiveness of it significantly affects the core material distribution and achievement of in-vessel retention (IVR). Therefore, in this study, coolability of the residual solid fuel was evaluated by a safety analysis code, SIMMER-III [2]. Fundamental experiments were also conducted using the out-of-pile test facility in NNC RK.

2. Analysis of in-place cooling and PIRT

In order to understand the behavior of the in-place cooling of SFRs, analysis of a SFR core which was cooled down by sodium inflow from lower CRGT was conducted by SIMMER-III. As a result of the analysis, the sodium inflow through the CRGT and outflow toward the opening area repeated and continued over minutes due to sodium vaporization

and condensation. Based on the analysis result, element phenomena were identified and classified by the method of phenomena identification and ranking table (PIRT) [3].

3. Experiment and analysis of out-of-pile test

The out-of-pile experiments (IPCO-1, IPCO-2, IPCO-3) were conducted under the framework of EAGLE-3 which is the collaborative study between JAEA and NNC RK. As a result of the experiments, sodium level oscillations occurred by sodium vaporization and condensation. Analysis by SIMMER-III for the experiments were conducted, but the sodium level oscillation was not fully simulated in the analysis of IPCO-1. By investigation of the analysis result, it was revealed that the difference was due to partial occupation of non-condensable gas. In order to prevent the unrealistic occupation, the analysis model for inter-cell gas mixing was newly developed. As a result of the analysis with the new model, the agreement between experiment and analysis was significantly improved.

4. Conclusion

The general behavior of the in-place cooling was understood through analysis SIMMER-III, and element phenomena in the in-place cooling were identified by PIRT. Based on the PIRT result, fundamental experiments were conducted. Analyses by SIMMER-III were also conducted, but the sodium level movement was not fully simulated. Therefore, gas mixing model was newly developed, and it was confirmed that it could improve the agreement between experiment and analysis.

Acknowledgment

Supports for the experiment in EAGLE project given from NNC RK are deeply appreciated.

REFERENCES

1. Suzuki, T. et al., Journal of Nuclear Science and Technology 51 (4), 493-513, 2014.
2. Yamano, H. et al., JNC TN9400 2003-071, 2003.
3. Wilson, G. E., Boyack, B. E., Nuclear Engineering and Design 186, 23-37, 1998.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЭТИЛЕНА-ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

М. Ю. Ташметов¹, Н. Б. Исмаев¹, С. Р. Аллаяров², А. Б. Абдаминов¹

¹ Институт ядерной физики АН РУз, 100214, г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Федеральный исследовательский центр проблем химической физики
и медицинской химии РАН, 142432, г. Черногловка, Российская Федерация

Фторсодержащие сополимеры широко применяются благодаря уникальным механическим свойствам, морозостойкости, устойчивости к высокой температуре и химической стойкостью. В этом аспекте сополимер этилена с тетрафторэтиленом (ЭТФЭ) занимает особое положение среди фторполимеров, обладая лучшей радиационной стойкостью, чем его перфторированные аналоги [1, 2].

Анализ литературы [3, 4] показал, что радиационное излучение и температура по-разному влияют на параметры элементарной ячейки и кристалличность сополимеров ЭТФЭ. В связи с этим, представляет интерес исследование влияния различных доз облучения при постоянной температуре для установления воздействия радиации на структуру и кристалличность сополимеров ЭТФЭ. Целью данной работы было исследование воздействия гамма-квантов на кристаллическую структуру и кристалличность ЭТФЭ. Облучение образцов ЭТФЭ гамма-квантами ⁶⁰Со проводилось на установке «Гамматок-100» при температуре 300 К с мощностью дозы 140 Гр/с поглощенной дозой от 100 кГр до 2000 кГр.

Выполненные расчеты рентгенограммы показали, что исходный образец ЭТФЭ имеет триклинную структуру (пр. гр. *P-1*). Параметры элементарной ячейки имеет следующее значение: $a = 8,84 \text{ \AA}$; $b = 5,34 \text{ \AA}$; $c = 4,90 \text{ \AA}$; $\alpha = 99,11^\circ$; $\beta = 85,84^\circ$; $\gamma = 90,89^\circ$. Следует отметить, что после облучения поглощенной дозой 2000 кГр существенных изменений параметров кристаллической решетки ЭТФЭ не установлено. Это свидетельствует о том, что кристаллическая структура ЭТФЭ является радиационно-стойкой до поглощенной дозы гамма-излучения 2000 кГр. Степень кристалличности ЭТФЭ определяли по рентгенограмме, измеренной в диапазоне углов $2\theta_b = 12^\circ - 55^\circ$, с учетом площади аморфной (A_a) и кристаллической (A_k) составляющей образцов [5, 6].

Численное значение степени кристалличности ЭТФЭ определялось по формуле [6]: $X_k = \frac{A_k}{(A_k + A_a)} \cdot 100\%$.

Расчеты показали, что степень кристалличности исходного образца ЭТФЭ составляет 20,8%. После облучения гамма-квантами до поглощенной дозы 100 кГр степень кристалличности снижается до 18,7%, а

дальнейшее увеличение поглощенной дозы до 2000 кГр приводит к увеличению степени кристалличности на 6.9%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wall L.A. // Fluoropolymers. New York-London-Sydney-Toronto: Wiley – Inter science. A Division of John Wiley & Sons, Inc., 1972. P. 385.
2. Панин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. // Фторопласты. Ленинград: Химия, Ленинградское отделение, 1978, С. 24.
3. Zhang X., Chen F., Su Zh., Xie T. // Materials. 2021. Vol.14. No.257. pp.1–10.
4. Nikolskii V.G., Allayarov S.R., Dixon D.A. // High Energy Chemistry. 2013. Vol.47. No.5. pp. 212–215.
5. Tap T.D., Khiem D.D., Nguyen L.L., Hien N.Q., Luan L.Q., Thang P.B., Sawada Sh., Hasegawa Sh., Maekawa Y. // Radiation Physics and Chemistry. 2018.
6. Aziz Sh.B., Marf A.S., Dannoun E.M.A., Brza M.A., Abdullah R.M. // Polymers. 2020. Vol. 12. P. 2184.

EXPERIMENTAL STUDIES IN THE EAGLE-3 PROJECT FOR CONTROLLED MATERIAL RELOCATION IN SEVERE ACCIDENTS OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS

S. Kato¹, K. Matsuba¹, K. Kamiyama¹, N. Mukhamedov²,
A. Akaev², A. Pakhnits², A. Vurim² and V. Baklanov²

¹ Japan Atomic Energy Agency, Oarai-machi, Higashi-ibaraki-gun, Ibaraki-ken, Japan

² National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

Introduction

To achieve the In-Vessel Retention (IVR) in case of Core Disruptive Accidents (CDAs) is of prime importance in enhancing safety of sodium-cooled fast reactors (SFRs). In order to ensure IVR, we are investigating the feasibility of the controlled material relocation (CMR) which enables to decrease the reactivity of degraded core and encourage cooling of relocated material. EAGLE-1 and -2, which have already conducted as the collaboration studies of Japan Atomic Energy Agency (JAEA) and the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC-RK), focused on the molten-fuel discharge on the early phase of CDAs and demonstrated the molten-material discharge through the intra-subassembly sodium-filled duct without an inner structure [1]. In EAGLE-3, the discharge of molten-core material, which gradually expands in the core region by decay heat during the later phase of CDAs, toward the lower sodium plenum through the control rod guide tubes (CRGTs) has been focused. CRGTs have internal structures, such as a sodium-flow regulator, which could affect fuel discharge. Thus, in order to clarify the effect of the internal structures in the CRGT on the discharge behavior of the molten-core material, a series of experiments has been conducted. The knowledge obtained through the EAGLE-3 experiments are presented here.

Overview of experiments and their accomplishment

The series of experimental studies for molten-core discharge through CRGT consist of in-pile tests (ID series) and out-of-pile tests (FDCO series), and they have been conducted in the experimental facilities of NNC-RK. The overview of the main experiments and their accomplishment are shown below. The FDCO-1 test was conducted in 2015 using 3 mm thick of a cup shape simulant sodium flow regulator (SSFR) in order to confirm that the SSFR is broken and the molten-material discharge. However, the SSFR was not broken and the discharged molten-material was little. This result suggested the heat capacity of SSFR is large and the thickness of the internal structure should be thin to break the internal structure. The FDCO-6 test was conducted in 2017 using 1 mm thick of a cup shape SSFR. In this experiment, the SSFR was broken and most molten-material was discharged. This result suggested that the development of void region surrounding the SSFR promotes the breaking of SSFR. After that, the ID-5 test was conducted in 2018 based on the results of the FDCO-6 test [2]. The ID-5 test was aimed to demonstrate breaking the SSFR and discharge of molten-core material. The ID-5 test provided the knowledge that the elimination of sodium surrounding the SSFR is important. According with the knowledge, the FDCO-8 [3] test and the ID-7 test, which aimed to confirm the discharge behavior of molten-material through the lower pressure loss internal structure, were conducted in 2020 and 2022, respectively. Now, the analyses of these tests are going on. These results are also expected to provide the important knowledge.

Conclusion

The EAGLE projects have provided important experimental knowledge for studies on CMR. In EAGLE-3, in order to investigate the effect of the inner structure in CRGTs on molten-core material discharge, the series of experiments were conducted. This experimental series has provided the important knowledge on the destroying the internal structure in CRGT and on the cooling effect of surrounding sodium on an internal structure in the CRGT. The knowledge will contribute not only validation of the computer code but also the design of the internal structure of CRGTs.

Acknowledgment

These accomplishments are due to the great cooperation of colleagues in NNC-RK.

REFERENCES

1. K., Kamiyama et al., Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 50 (6), p. 629-644, 2013.
2. S., Kato et al., ICAPP2019, 000200, France, 2019.
3. S., Kato et al., NUTHOS-13, N13P090, Taiwan (On-line), 2022.

СОРБЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЙОДА НА АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЯХ

М. С. Кунарбекова, К. К. Кудайбергенов, С. Азат

Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

Проблема утилизации радиоактивных отходов, образуемых в результате работы атомных электростанций (АЭС), ядерной медицины, уже существующих отходов в результате ядерных испытаний является вполне актуальной. В нашей работе были синтезированы активированные угли на основе отходов агропромышленности. Далее они были допированы азотсодержащим веществом, преимущественно мочевиной для внедрения азота и азотных соединений в структуру активированного угля. Допирование проводилось гидротермальным методом (автоклав HYD-250ML, 180 °C, 3 МПа) на предварительно карбонизированные при 500 °C в течение 1 часа в инертной среде Ag образцы. В работе рассматривалось три типа агропромышленной биомассы: рисовая шелуха (RH), гречневая шелуха (BH) и скорлупа грецкого ореха (WN).

Была проведена сорбция раствора йодида калия концентрацией 50 и 100 мг/л, результаты сорбции показаны на диаграмме.

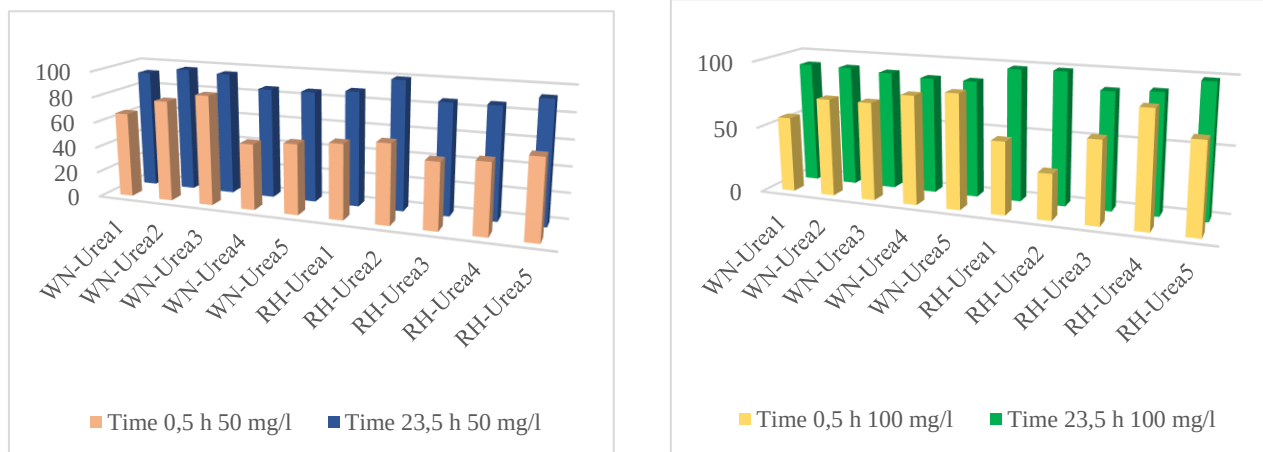


Диаграмма. Результаты сорбции йодида калия концентрацией 50 мг/л и 100 мг/л на активированных углях

Таким образом, экспериментальным путем доказано, что сорбция йодид ионов из водных растворов происходит с эффективностью до 60% в первые 30 мин и до 90% в первые сутки, что дает возможность применения данных сорбентов для сорбции йодсодержащих растворов.

ОПЫТ МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ ДИАМЕТРОМ ДО 8 ДЮЙМОВ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

И. И. Лебедев, М. Н. Аникин, Н. В. Смольников, А. Г. Наймушин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Российская Федерация*

На реакторе ИРТ-Т первые эксперименты по нейтронно-трансмутационному легированию кремния начались еще в 1989 году, и до сегодняшнего дня, ТПУ остается одним из лидеров в развитии этой технологии в странах СНГ. В 2014–2015 годах произошла модернизация установки и продление ее ресурса до 2035 года. Было

принято решение создать новый вертикальный экспериментальный канал в пустующем пространстве бака реактора, так как существующие каналы имеют максимальный диаметр 150 мм. Предварительные расчеты показали возможность создания канала.

Расчетная модель реакторов ИРТ-Т и ИРТ МИФИ была создана в программном средстве MCU-PTR с библиотекой констант MDBPT50. Для проведения расчетов использовалась загрузка №105 от 04 мая 2016 года, учитывалось влияние отравления бериллиевого отражателя на нейтронно-физические характеристики активной зоны, движение стержней во время топливной компании, а также температурные и мощностные эффекты реактивности.

При облучении слитков кремния важно замедлить поток быстрых нейтронов, чтобы избежать дефектов в его структуре. Результаты расчетов показали, что наиболее оптимальными материалами являются тяжелая вода и бериллий, но их использование усложняет конструкцию и удорожает установку. Был выбран реакторный графит марки ГР-280 как основной материал для облучательного объема.

Из-за невозможности использовать метод сканирования при облучении слитка кремния необходимо было разработать фильтр для выравнивания нейтронного поля в аксиальном направлении. Первоначальная конструкция предполагала напылением соединений бора на трубу алюминиевого канала внутри графитовой призмы в виде коаксиального полуцилиндра, разбитого на десять отрезков по высоте.

Из-за ограничений организации производителя оборудования была предложена альтернативная конструкция фильтра из профилированных полосок металлического гафния и алюминиевой оболочки кассеты фильтра. Применение сглаживающего фильтра позволяет облучать слитки кремния длиной до 500 мм в режиме статического облучения без продольного движения. Коэффициент неравномерности по высоте слитка достигает 1,10.

Сглаживание по радиусу достигается вращением со скоростью 2 об/мин., что позволяет добиться радиальной неравномерности менее 1,07.

Созданная установка позволяет достичь равномерное внесение легирующих примесей в объеме слитка, с максимальным отклонением электрофизических характеристик менее 17% между максимальным и минимальным удельным сопротивлением.

Конструкция и основные технические решения позволяют масштабировать технологию на другие реакторы бассейнового типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shchurovskaya M.V., Alferov V.P., Geraskin N.I., Radaev A.I., Naymushin A.G., Chertkov Y.B., Anikin M.N., Lebedev I.I. Control rod calibration simulation using Monte Carlo code for the IRT_type research reactor. // Annals of Nuclear Energy. – 2016. – Vol. 96. – PP. 332–343.
2. I. I. Lebedev, D. E. Zolotikh, A. G. Naymushin, N. V. Smolnikov, M. N. Anikin, V. V. Varlachev Conceptual Design of Experimental Facility for Large-Diameter NTD-Si at the IRT-T Reactor. // Atom Indonesia 2021: 47(1).

ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ И НАУКЕ

С. С. Маусымбаев, Д. Х. Кенбаев

НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: mausum47@mail.ru, edu.kdx@yandex.kz

Аннотация: в статье рассматривается научно-производственная связь университета Шакарима и Национального ядерного центра (г. Курчатов). Приведены конкретные примеры данной связи.

Ключевые слова: атомная энергетика, инженер-физик, ядерный центр, специалист-физик.

Современный мир находится в постоянном развитии, в развитии инноваций. Инновационная деятельность привела мировое сообщество к новой, более высокой ступени развития. Сегодня человечеству трудно представить свою жизнь без инноваций, которые для нас стали уже привычными. Инновации являются основной движущей силой экономического и социального развития и берут свое начало, прежде всего, в образовании, отдельных отраслях науки, а завершаются в сфере производства, вызывая в ней прогрессивные изменения.

Выступая на первом заседании Государственной комиссии по подготовке к празднованию 30-летия Независимости Республики Казахстан в 2021 году Президент Касым-Жомарт Токаев подчеркнул: «Также в этом году исполняется 30 лет со дня закрытия Семипалатинского полигона». Названное событие, датированное 29

августа 1991 года, в ООН объявлено Международным днем действий против ядерных испытаний. Таким образом, наша страна добровольно отказалась от четвертого в мире ядерного потенциала.

Это знаменательное событие связано с образованием Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). 15 мая 1992 года был создан НЯЦ РК, т.е. научно-испытательный комплекс на базе бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Правительство РК поставило ряд задач: ликвидация последствий испытаний ядерного оружия на территории Казахстана; создание научно-технической, технологической и кадровой базы для развития атомной энергетики в Казахстане; конверсия бывшего военно-промышленного комплекса Семипалатинского испытательного полигона и использование его научно-технического потенциала в интересах Республики Казахстан; контроль за испытаниями ядерного оружия на действующих полигонах мира.

Для решения этих сложных задач требуются высококвалифицированные кадры, поэтому в Постановлении Кабинета Министров РК от 21 января 1993 года говорилось: возложить на Ядерный центр подготовку и повышение квалификации кадров в области атомной науки и промышленности. Был заключен ряд договоров с ведущими учебными заведениями Республики и зарубежных стран по подготовке кадров ядерного профиля.

В начале 90-х годов XX века НЯЦ РК начал испытывать кадровый голод. Появились проблемные вопросы подготовки специалистов ядерного профиля. В советские времена ядерный центр в Курчатове обеспечивался специалистами из России и Алматы. В результате образования СНГ число выпускников ядерного профиля, приезжающих в Курчатове значительно сократилось. Но, с другой стороны, в связи с дальнейшим развитием атомной энергетики потребность в них возросла [1].

Аналогичные проблемы появлялись и раньше, в средние века. В те времена сложились своеобразные административно-территориальные образования, специализацией которых явилось производство, накопление и сохранение знаний, а также владеющих ими специалистов. К ним относятся, например, Аль-Азхар в Египте Оксфорд и Кембридж в Англии. К ним можно отнести Отырар в Казахстане, где была одна из крупнейших в мире библиотек, а также многочисленные мечети-медресе. Такими центрами являются и созданные в советское время российские города Обнинск, Пущино, Протвино, Дубна и новосибирский Академгородок и другие, казахстанские научно-производственные центры в Алатау под Алматы, в Курчатове, Ленинске, Степногорске.

Более 25 лет тому назад с целью подготовки кадров по атомной энергетике и проведения современных научных исследований была разработана «Программа сотрудничества НЯЦ РК и ГУ «Семей». У истоков этого замечательного события стояли их первые руководители профессор Ю.С. Черепнин и профессор М.С. Панин. Это был начальный этап современной работы вузов и научных центров по подготовке кадров для атомной энергетики. В дальнейшем их дело при поддержке тогдашнего министра науки профессора В.С. Школьника продолжили профессора Е.Б. Сыдыков, Ш.Т. Тухватуллин, К.К. Кадыржанов, Э.Г. Батырбеков, Ж.Р. Жотабаев, Ж.М. Адилов, Ш.А. Амирбеков, М.К. Скаков и другие. На базе Государственного университета «Семей» в 1996 году была открыта уникальная специальность «Ядерные и энергетические установки».

В бывшем СССР подготовка высококвалифицированных кадров велась по этой специальности только в Томском политехническом институте. Совместно с данным институтом и Ядерным центром был разработан учебный план по вышеуказанной специальности, рассчитанный на 5,5 лет и включающий совершенно новые дисциплины и спецкурсы для будущих инженеров-физиков.

В 1997 году впервые в Казахстане был открыт филиал кафедры общей физики на базе НЯЦ (заведующий кафедрой – профессор С.С. Маусымбаев, руководители филиала-доктора наук М.К. Мукушева и К.М. Донбаев). Основная цель филиала – подготовка студентов по специальностям «Физика» и «Ядерные реакторы и энергетические установки». В настоящее время работает филиал кафедры «Технической физики и теплоэнергетики». К этой работе привлекались и привлекаются профессора и ведущие специалисты НЯЦ, профессора Ю.С. Черепнин, К.К. Кадыржанов, Э.Г. Батырбеков, Ж.Р. Жотабаев, К.М. Донбаев, М.К. Мукушева, М.К. Скаков, ведущие физики России, Японии, США и другие. Они принимают активное участие в учебном процессе и организации учебных лабораторных практикумов. Когда открывали учебные группы с государственным языком обучения, многие из них вели занятия при помощи русско-казахских словарей, т.к. они обучались в российских вузах и русских школах. Ядерный центр постоянно оказывал материально-техническую помощь университету Шакарима.

В дальнейшем подготовка кадров для атомной энергетики расширилась, для совместной подготовки ядерщиков были привлечены другие отечественные и зарубежные вузы: КазНУ им. аль-Фараби (ядерные энергетические установки, физика и плазмы), КазНТУ им. К. И. Сатпаева (ядерные энергетические установки), ЕНУ им. Л. Н. Гумилева (физика, механика), Алматинский университет энергетики и связи (ядерные энергетические установки), Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова (физика, химия, журналистика, переводческое дело, прикладная математика), Томский политехнический университет (ядерные реакторы и энергетические установки, электроника и автоматика энергетических установок, ядерная физика), Новосибирский государственный технический университет (электрофизические установки и ускорители, физика) и т.д. [2].

Филиалы, по сути, являются связующим звеном между университетскими кафедрами с одной стороны, и отделами Ядерного центра- с другой стороны. Кафедры совместно со своими филиалами координируют также совместные научно-технические работы по физике твердого тела, материаловедению, ядерной физики и т.д. Кроме того, преподаватели университета проходят различные формы повышения квалификации

Ежегодно около 200 студентов задействованы в учебных занятиях, проходят производственную и дипломную практику в институтах НЯЦ. Каждый год 7–8 выпускников специальностей «Физика» и «Техническая физика» трудоустраиваются в г. Курчатове и других профильных предприятиях. Среди них Ерболат Коянбаев доктор PhD, заместитель директора по материаловедческим исследованиям института ядерной физики филиала «Институт атомной энергии» Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный ядерный центр» РК, Серик Нуркенов – победитель проекта «100 новых лиц Казахстана», кандидат физико-математических наук, доктор PhD является специалистом по ядерной медицине, Муратбек Байжуманов – и.о. ассоциированного профессора, доктор PhD (ЕНУ имени Л.Гумилёва), научные сотрудники НЯЦ Александр Гулькин – кандидат физико-математических наук, Вячеслав Божко – заведующий лабораторией, Ержан Кашикбаев, Евгения Максимова и другие.

Проводятся совместные научные мероприятия: конференции, научно-методические семинары, публикации научных трудов. Через НЯЦ осуществляется научно-учебная связь с Томским политехническим университетом. Ученые университета Шакарима участвуют в работе научно-технического совета Ядерного центра, а сотрудники Ядерного центра участвуют в заседаниях ученого совета университета. В рамках НИР в вузах был открыт диссертационный совет по специальности 6D072300/8D05302 – «Техническая физика».

За годы независимости нашей республики, НЯЦ при поддержке государства пережила не только самые тяжелые времена, но сохранила и преумножила свой научный и интеллектуальный потенциал. Ядерный центр является лидером в области развития атомной энергетики, имеет максимальный рейтинг цитируемости научных работ, его деятельность высоко оценена ведущими республиканскими и международными организациями.

В 2019 году реализован заключительный этап физического пуска первого в мире специализированного токамака, предназначенного для испытания функциональных и конструкционных материалов будущей термоядерной энергии. В 2020 году НЯЦ РК среди 12 стран занял 1 место за лучший исследовательский проект парка ядерных технологий. Появилась возможность для молодых ученых вузов и Ядерного центра развивать свою научную работу. В последние годы кроме научно-исследовательских работ, Ядерный центр достиг больших успехов в области безопасной атомной энергетики. Результаты обследований показали, что большая часть водных объектов радиационной опасности для населения не представляет.

На высоком уровне реализуется научно-техническая программа «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан». Таким образом, НЯЦ РК за годы независимости стал перспективной базой для развития современной науки и передовых технологий.

Аннотация: Мақалада Шәкәрім атындағы Семей университеті және Курчатов қаласындағы Ұлттық ядролық орталықтың арасындағы ғылыми-өндірістік байланыс қарастырылған. Осы байланысқа сәйкес нақты мысалдар келтірілген.

Түйінді сөздер: атом энергетикасы, инженер-физик, ядролық орталық, физика маманы.

Abstract: The article considers the scientific and industrial connection between the Shakarim University and the National Nuclear Center (Kurchatov). Specific examples of this connection are given.

Keywords: nuclear power engineering, engineer-physicist, nuclear center, specialist physicist.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маусымбаев С.С., Мукушева М.К., Мешетова Ж.С., Нурабаева Г.У. Білім беру және ғылымды интеграциялау жолдары. Қазақстан жоғары мектебі – Высшая школа Казахстана. – Алматы, 2005. № 2. – С. 5–12.
2. Маусымбаев С.С. Болашақ жаратылыстану пәндері мұғалімін кәсіби даярлау: теория және практика (монография). «Халықаралық жазылым Агенттігі» – Алматы, 2007. – Б. 210–222.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАН-ПЛУТОНИЕВОВОГО НИТРИДНОГО ТОПЛИВА В ИМПУЛЬСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

В. В. Лемехов, Ю. С. Черепнин, А. В. Моисеев, А. А. Пулинец,
А. П. Жирнов, А. Н. Иванюта, И. М. Рождественский, Е. Р. Межина

АО «НИКИЭТ», г. Москва, Российская Федерация

В рамках работ по обоснованию безопасности применения смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива возникает необходимость проведения испытаний в условиях быстрого ввода реактивности. В частности, в соответствии с требованиями нормативных документов предельная среднерадиальная энтальпия (ПСЭ) топлива при реактивных авариях должна быть не выше значения, устанавливаемого на основе экспериментальных данных и исключающего разрушение твэлов и ТВС.

Эксперименты проведены на базе импульсного графитового реактора Национального ядерного центра Республики Казахстан. Это гомогенный уран-графитовый реактор теплоемкостного типа с графитовым отражателем. Вспышки и импульсы данного реактора дают возможность вводить положительную реактивность в несколько $\beta_{эфф}$, ограниченные только энерговыделением за пуск реактора в 5200 МДж и максимальной температурой графитовой кладки (~ 1100 °C).

Для достижения поставленной цели выполнены предварительные расчеты, спроектированы и изготовлены облучательные устройства (ОУ), содержащие заполненную свинцом ампулу и предназначенные для создания необходимых условий проведения эксперимента. В ампуле размещался пучок из трёх макетов твэлов со СНУП топливом: один штатный и два инструментированных. Измерение температуры ядерного топлива, оболочек твэлов и свинца осуществлялось с помощью термоэлектрических преобразователей. Для измерения давления в твэлах и в полости ампулы предусмотрены датчики давления.

Во время экспериментов выполнены пуски в режиме работы реактора «вспышка» с разным уровнем мощности установки. В качестве критерия сохранения работоспособности твэла выбрано сохранение целостности и герметичности его оболочки.

В рамках послереакторных исследований (ПРИ) выполнен неразрушающий и разрушающий контроль состояния ОУ и макетов твэлов. Результаты ПРИ показали, что причина разрушения твэлов – плавление оболочки вследствие касания топливных таблеток и оболочки.

Проведение испытания макетов твэлов со СНУП топливом позволили получить экспериментальные данные для верификации и валидации расчетных кодов и моделей поведения твэла и свинцового теплоносителя в условиях быстрого ввода реактивности. Экспериментально подтверждена работоспособность твэлов со СНУП топливом при авариях, связанных с быстрым увеличением реактивности. На основе полученных данных оценена усреднённая по поперечному сечению топливной таблетки (среднерадиальная) энтальпия топлива для использования в проекте РУ, при котором твэлы сохраняют целостность и работоспособность.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А. Д. Вурим, Ю. Ю. Бакланова, Н. М. Мухамедова, А. В. Сысалетин, Р. С. Исламов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

E-mail: bakayeva@nnc.kz

Эффективное управление большими потоками различной информации невозможно организовать без использования компьютерных информационных систем. В научном и техническом применении особую ценность представляют информационно-аналитические системы (далее – ИАС), обеспечивающие глубокую аналитическую обработку результатов выполненных ранее исследований и возможность планирования новых экспериментов.

Более 30 лет в РГП НЯЦ РК проводятся работы в обоснование безопасности атомной энергетики на экспериментальных стендах «АНГАРА» и «ВЧГ-135». За это время накоплен большой объем экспериментальной информации о процессах, протекающих при развитии постулируемых тяжелых аварии на ядерных реакторах. Полученная в ходе экспериментов информация, в большинстве своем, разнородна, однако имеет ряд общих признаков, позволяющих связать в единое целое результаты отдельных экспериментов и их серий.

С использованием методов качественно-количественного анализа, направленного на обобщение результатов отдельных экспериментов, вся полученная информация была обработана с целью приведения её к единому формату, пригодному для использования в ИАС.

Целью создания ИАС является обеспечение доступа как к индивидуальным, так и к обобщенным данным исследований, а также к валидированному математическому аппарату, предназначенному для обработки экспериментальных данных и проведения прогнозных расчетов. При этом основными задачами, на решение которых будут направлены средства ИАС, являются повышение скорости обработки и достоверности анализа экспериментальных данных и, в конечном итоге, удобства планирования будущих экспериментов.

Для разработки ИАС была проведена категоризация данных, полученных при проведении экспериментов.

Основными критериями разделения экспериментов и полученных в них результатов являлись тип исследуемой модели удержания расплава и масштаб модели в отношении массы полученного расплава. Эти функции реализуются в рамках аналитического блока, который предоставляет пользователям набор инструментов для:

- прогнозного расчета температуры материалов испытательных секций в зависимости от заданного изменения мощности энерговыделения в них;
- прогнозного расчета требуемой мощности энерговыделения в материалах в зависимости от заданного изменения их температуры;
- формирования массивов экспериментальной информации в цифровом формате и графическом виде;
- сравнения экспериментов и их данных между собой;
- формирования протоколов экспериментов с возможностью выбора конкретных данных и способов их обработки.

Принципы категоризации, положенные в основу форматирования экспериментальных данных, обеспечили возможность обобщения результатов отдельных экспериментов и проведения расчетов параметров выполненных и планируемых экспериментов с использованием единого математического аппарата, в результате чего повысилась скорость и увеличился объем обрабатываемых данных при планировании экспериментов, что непосредственно является плюсом разработанной ИАС. Также одним из главных преимуществ созданной ИАС является то, что она значительно упрощает подготовку к экспериментам, обработку полученных данных, проведение сравнительного анализа имеющихся данных и полученных результатов и практически исключает необходимость ручной обработки данных.

Благодарность

Настоящая работа выполняется в рамках грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИРН АР09260704 «Информационно-аналитическая система данных, полученных при экспериментальном моделировании процессов тяжелой аварии на ядерном реакторе», 2021–2023 гг.).

МЕХАНИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ WC

D. B. Buitkenov², E. Naimankumaruly¹, B. K. Rakhadilov¹

¹ PlasmaScience LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

² Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

В данном исследовании были изучены механические и структурно-фазовые свойства детонационных покрытий на основе сочетания карбида вольфрама (WC). Благодаря уникальным физическим свойствам карбид вольфрама применяется при изготовлении твердосплавного режущего и бурового инструмента: резцы, свёрла, абразивные диски, стоматологическое оборудование, долото для бурения, хирургические ножницы и др.

Среди наиболее эффективных покрытий используются покрытия, полученные на основе термостойкого карбида вольфрама (WC) [1, 2]. Детонационные покрытия были получены на установке детонационного напыления нового поколения CCDS2000. Предварительно с целью повышения адгезионной прочности покрытия WC, на поверхность стали 12X18H10T после пескоструйной обработки был нанесен тонкий слой NiCr.

Микротвердость образцов измеряли на приборе Металаб-502. Шероховатость поверхности покрытий оценивались с использованием параметра Ra на профилометре модели 130. Исследование фазового состава образцов проводили методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре X'PertPro.

Результаты рентгенологического анализа показали, что покрытие WC является основной фазой, а WO_3 – второй фазой. Фазы покрытия WC, полученные при заполнении ствола 55%, 60% и 65% взрывоопасных газов, не сильно отличались друг от друга во всех трех режимах, за исключением некоторых различий, когда присутствовал в составе WO_3 .

Основываясь на результатах исследования, можно сделать следующие выводы:

Установлено, что фазовый состав и свойства WC-покрытий зависят от технологических параметров детонационного напыления. В результате исследований определен оптимальный технологический режим получения слоя покрытия WC детонационным методом: уровень наполнения ствола взрывчатым газом 65%; соотношение газов ацетилен-пропан/кислород 1,026; число выстрелов 20. Толщина полученного покрытия WC и шероховатость поверхности слоя покрытия 2,38 мкм. Исследованием влияния покрытия WC на структурно-фазовые состояния, полученные методом детонационного напыления, установлено, что слой покрытия состоит из фаз WC и WO_3 . При объеме наполнения детонационного ствола взрывчатыми газами на 55% фаза WO_3 была признана менее эффективной. Проводя сравнение коэффициентов трения покрытий WC, полученных в трех режимах, результат исследования на 65% объема наполнения ствола взрывчатыми газами оказался эффективным при меньшем показателе износа и был равен 1126 ± 84 HV микротвердости. Исследование проведено по грантовой теме №AP09058569.

Ключевые слова: детонационное напыление, WC, WO_3 , твердость, шероховатость, фазовый состав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ulianitsky V., Shtertser A., Zlobin S. Computer-Controlled Detonation Spraying: from process fundamentals toward advanced applications // Journal of Thermal Spray Technology. – 2011. – P. 791 – 801. <https://doi.org/10.1007/s11666-011-9649-6>
2. Du H., Hua W., Liu J., Gong J., Sun C., Wen L. Influence of process variables on the qualities of detonation gun sprayed WC – Co coatings // Materials Science and Engineering. – 2005. – P. 202 – 210. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.08.008>

DEVELOPMENT AND TUNING OF AN OPTICAL RADIATION PARAMETER RECORDING SYSTEM FOR CONDUCTING EXPERIMENTS ON A PULSED NUCLEAR REACTOR

K. K. Samarkhanov^{1,2}, M. U. Khasenov¹, Yu. M. K. Skakov^{2,3}, Yu. N. Gordienko¹,
Yu. V. Ponkratov¹, A. N. Kotlyar¹, A. A. Miller¹, Ye. Yu. Tulubayev¹,
V. S. Bochkov¹, A. N. Sluyanov¹, S. V. Tolmachev¹

¹ “Institute of Atomic Energy” branch of the RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

² Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

³ RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan”, Kurchatov, Kazakhstan

The study of optical (laser and spontaneous) radiation from a nuclear-excited plasma is interesting for developing a method of energy output from a nuclear reactor, as well as for monitoring and controlling the parameters of nuclear reactors. The direct pumping of active media is carried out by the products of nuclear reactions with thermal neutrons of a nuclear reactor, such as: $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$, $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, $^{235}\text{U}(n,f)\text{F}$ or others [1–3].

A description of the experimental (methodical and hardware) base of the National Nuclear Center of RK (Kurchatov) to conduct experiments on studying the threshold characteristics of laser action at the p-s-transition of noble gas atoms upon $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ nuclear reaction products excitation in irradiation conditions of a pulsed nuclear IGR research reactor were given. To conduct in-pile tests at IGR research reactor, special experimental facility was developed and constructed [4]. The experimental facility functionally includes: in-pile experimental device, a gas–vacuum system, information and measurement system consisting of a system for registering and controlling the temperature of the device housing, and a system for registering optical radiation. Optical system of light signal registration was implemented by using following equipment: the QEPro-abs optical spectrometer (Ocean Insight), MDR-204 monochromator, PDM02-9113W-CN PMT module, connected to TBS 2204B oscilloscope (Tektronix), DET100A and DET025A silicon detector for the visible spectra regions and DET08CFC/M–InGaAs-photodiode for an infrared region. A brief description on the development and tuning of an optical radiation parameter recording system for conducting experiments on a pulsed IGR nuclear reactor were given.

This research was funded by the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan within the framework of the scientific and technical program “Development of nuclear energy in the Republic of Kazakhstan for 2021–2023 years” (IRN - BR09158470).

REFERENCES

1. Mel'nikov S.P., Sinyanskii A.A., Sizov A.N., Miley G.H. Lasers with Nuclear Pumping; Springer: New York, NY, USA, 2015; p. 455.
2. Prelas M. Nuclear Pumped Lasers; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016; p. 417.
3. Batyrbekov E. Converting nuclear energy into the energy of coherent optical radiation. *Laser Part. Beams* 2013, 31, 673–687. <https://doi.org/10.1017/S0263034613000098>.
4. Batyrbekov E., Khasenov M., Gordienko Y., Samarkhanov K., Kenzhina I.E., Kotlyar A., Miller A., Tskhe V., Bochkov V. Experimental Facility to Study the Threshold Characteristics of Laser Action at the p-s-Transition of Noble Gas Atom upon Excitation by ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ Nuclear Reaction Products. *Appl. Sci.* 2022, 12, 12889. <https://doi.org/10.3390/app122412889>

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ИРТ-Т АЛГОРИТМАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Н. В. Смольников, М. Н. Аникин, И. И. Лебедев, А. Г. Наймушин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Российская Федерация*

Одной из распространённых проблем атомной отрасли при эксплуатации ядерных установок является поддержание эффективного теплообмена между первым и вторым контурами теплоносителя. Однако, при длительной эксплуатации ядерной установки и входящих в состав технологических систем охлаждения, наблюдается снижение эффективности работы теплообменных аппаратов, что, в первую очередь, обусловлено их загрязнением осадочными компонентами воды и продуктами коррозии. Загрязнение поверхности трубок приводит к уменьшению расхода теплоносителя и увеличению термического сопротивления поверхности, что может привести к значительному снижению КПД и невозможности обеспечивать необходимый теплосъём в процессе нормальной эксплуатации.

Ядерный реактор ИРТ-Т – это реактор бассейнового типа тепловой мощностью 6 МВт с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты обессоленной воды. В качестве теплоносителя второго контура системы охлаждения реактора ИРТ-Т используется техническая вода, что является причиной образования накипных и механических загрязнений трубок теплообменных аппаратов, а также распределительной системы градирни.

В настоящей работе рассматривается подход к установлению зависимостей между длительностью работы реактора, условиями эксплуатации (количество насосов, теплообменников) и степенью загрязнения контура охлаждения методами машинного обучения. В качестве исходных данных для исследования использовались технологические параметры системы охлаждения реактора ИРТ-Т за период эксплуатации 2020–2023 гг., полученные на основе SCADA системы, отвечающей за сбор и хранение регистрируемых параметров. Основным методом исследования является метод реконструкции динамических систем в совокупности с регрессионным анализом, использующийся для наборов данных, представляющих собой временные ряды.

Полученные закономерности позволяют оценить состояние системы охлаждения в долгосрочной перспективе в зависимости от планируемых циклов работы, планово-предупредительных работ

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Гмурман. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк.; 1999. 479 с.
2. Н. Паклин, В. Орешков. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. Учебное пособие. СПб.: Питер; 2013. 704 с.: ил.
3. Akay O.E., Das M. Modeling the total heat transfer coefficient of a nuclear research reactor cooling system by different methods. *Case Stud Therm Eng.* 2021 Jun;25:100914.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РМ И РЗМ В УРАНОВЫХ РУДАХ ПЕСЧАНИКОВОГО ТИПА

Б. Ж. Токсанбаев, К. А. Жапабаев

ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Республика Казахстан

Как известно, АО «НАК «Казатомпром» ведет добычу урана на песчаниковых месторождениях. Песчаниковый тип урановых месторождений характеризуется рядом сопутствующих элементов и минералов (РМ

и РЗМ). В целях аналитического и методического обеспечения новых ресурсосберегающих технологий для предприятий АО «НАК «Казатомпром» представляется актуальным поиск новых решений по аналитическому сопровождению ресурсосберегающих технологий комплексного извлечения и переработки ценных компонентов.

Для анализа и сравнения характеристик метода измерения использовался стандарт урановой руды OREAS 120 производства компании Ore Research & Exploration (Австралия). Источником урановой руды является урановое месторождение Mantra Resources Nyota Prospect (Танзания), которое представляет собой месторождение экзогенного типа, минерализация в пределах от средних до очень крупнозернистых песчаников, пронизанных граувакками и алевритами. Состав макрокомпонентов (матрица) схож с рудой казахстанских месторождений. Стандарт урановой руды OREAS 120 аттестован в Реестре ГСИ РК.

Пробоподготовку и разложение проб выполняли по разработанному ТОО «ИВТ» патенту на полезную модель №4046 РГП НИИС «Способ подготовки урановых руд и ядерных материалов песчаного типа для спектрометрического анализа». В работе представлены сравнительные измерения образцов урановой руды песчаного типа методом ИСП МС предложенным экспресс способом микроволнового разложения с использованием смеси кислот (HNO_3 , HCl и HF) для определения редких и редкоземельных элементов.

Все экспериментальные исследования проводили в аккредитованной лаборатории исследования и анализа материалов ТОО «ИВТ». Для измерений использовали квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой NexIon 350 X Perkin Elmer. Градуировку выполняли по стандартным многоэлементным растворам Perkin Elmer. Градуировочные растворы и растворы проб для анализа готовили непосредственно перед измерениями.

В работе использовали деионизованную воду с удельным сопротивлением $18,2 \text{ МОМ} \cdot \text{см}^2$, очищенную в системе Arrium 611 UF Sartorius; азотную и соляную кислоты (ос.ч.), фтороводородную кислоту (ос.ч.). Взвешивание навесок выполняли на аналитических весах Sartorius MS Cubis. Микроволновое разложение образцов проводили с использованием микроволновой системы – MARS-6 CEM.

Концентрации РМ и РЗМ, определенные после разложения по способу, указанному в патенте, согласуются с аттестованными данными в пределах доверительных интервалов, что говорит о полноте перевода в раствор и правильности последующего ИСП МС определения этих элементов. Относительная погрешность определения 9–10%. Необходимо отметить, что некоторые концентрации из группы РМ в растворах занижены относительно аттестованных значений на 20%, в связи с проявлением матричного эффекта, решением данной проблемы являются известные аналитические приемы, такие как подбор внутреннего стандарта, метод добавок и т.д.

МАЛОМАСШТАБНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОРИУМА С МЕТАЛЛАМИ – ОХЛАДИТЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

К. О. Толеубеков^{1,2}, М. К. Скаков¹, В. В. Бакланов¹, Э. Еділұлы¹, Г. С. Нурпаисова¹

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² НАО «Университет имени Шакарима, города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

В настоящее время весьма актуальным становятся способы охлаждения расплава в ловушке расплава легководяного реактора, исключающие прямую подачу воды на поверхность расплава в период порционного выхода кориума и до завершения гравитационной инверсии слоев расплава.

В связи с этим, в работе [1] предлагается рассмотреть в качестве неводного охладителя легкоплавкие металлы (в дальнейшем металлы – охладители). Проведенное моделирование взаимодействия кориума с кандидатными металлическими материалами – охладителями в ловушке расплава легководяного реактора показало теоретическую возможность реализовать предложенный способ охлаждения кориума на практике [2].

При этом, недостатком компьютерной модели является то, что она рассматривает только теплофизическое взаимодействие между элементами ловушки. В связи с этим, для понимания всех аспектов такого взаимодействия целесообразным было проведение экспериментальных исследований в условиях тяжелой аварии с расплавлением активной зоны на АЭС.

Эксперименты по исследованию взаимодействия кориума с металлами – охладителями выполнялись на стенде «ВЧГ-135». В экспериментах использовались металлы – охладители (цинк, сурьма и марганец) в виде цилиндров с диаметром 6 мм и высотой 8 мм. В качестве имитатора расплава использовался порошок измельченного (до размера частиц менее 2,8 мкм) кориума, взятого из проведенных ранее экспериментов [3].

Контроль температуры осуществлялся согласно схеме эксперимента с помощью трех термоэлектрических преобразователей градуировки BP5/20 и пирометров «Mikron», «Impras». Измерение температур пирометрами осуществляется через смотровое окно в крышке рабочей камеры.

Экспериментальная сборка нагревалась индукционным методом до температуры 2250 °С по показаниям термопары с последующей двухминутной выдержкой для выравнивания температуры, после чего нагрев прекращался и производился сброс металла на жидкий кориум.

ЛИТЕРАТУРА

1. Skakov M., Toleubekov K. and et.al. The method of corium cooling in a core catcher of a light-water nuclear reactor. *Eurasian Physical Technical Journal*, 19(3(41)), 2022, 69–77.
2. Skakov M.K., Baklanov V.V. and et.al. Modeling of the corium and metals – coolers interaction in a core catcher of a light water reactor. *NNC RK Bulletin*, №2 (94), June 2023, p. 49–57.
3. Skakov M.; Baklanov V. and et.al. On the Possibility of Forming a Corium Pool by Induction Heating in a Melt Trap of the Lava-B Facility. *Appl. Sci.* 2023; 13: 2480.

ВОЗДЕЙСТВИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОЙНЫХ ОРТОФЕРРИТОВ $\text{La}_{0.5}\text{Re}_{0.5}\text{FeO}_3$ (R=Eu,Nd)

А. М. Живулько¹, С. Б. Ластовский¹, И. И. Макоед²,
В. Р. Соболев³, Ж. З. Шерматов⁴, К. И. Янушкевич¹

¹ ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь

² Брестский государственный педагогический университет, г. Брест, Республика Беларусь

³ Минский государственный педагогический университет, г. Минск, Республика Беларусь

⁴ Институт материаловедения Академии наук РУ, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Изучено воздействие γ -облучения на магнитные характеристики двойных ортоферритов $\text{La}_{0.5}\text{Re}_{0.5}\text{FeO}_3$. Исследуемые составы подвергались облучению (50 Мрад) в течение 2 месяцев. Влияние γ -облучения на зависимость обратной величины удельной магнитной восприимчивости от температуры на примере составов $\text{La}_{0.5}\text{Eu}_{0.5}\text{FeO}_3$ (а) и $\text{La}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeO}_3$ (б) представлены на рисунке 1.

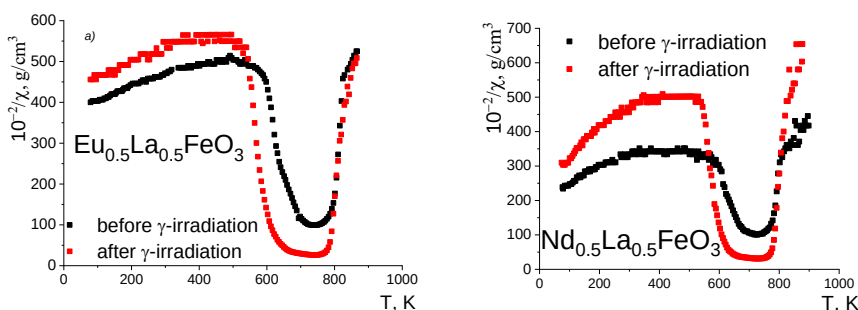


Рисунок 1

Установлено, что γ -облучение приводит к увеличению обратной величины магнитной восприимчивости и уменьшению температур Нееля. Наблюдаемый результат обусловлен длительным влиянием на кристаллическую структуру дозы $\gamma=50$ Мрад, которая определяет особенности изменения магнитных и электрических характеристик вещества вследствие изменения деформации элементарной кристаллической ячейки.

Полная внутренняя энергия кристалла перовскита может быть определена с использованием соотношения:

$$E = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - J_2 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - \Delta \sum_i S_i^2 - h \sum_i S_i,$$

где $\langle i, j \rangle$ – первые и вторые ближайшие соседи, соответственно. J_1 и J_2 – обменные взаимодействия между первыми и вторыми ближайшими соседями катионов железа.

Опираясь на расчеты из первых принципов и моделирование методом Монте-Карло, проанализированы особенности магнитных и калорических, связанные с магнитными свойствами составов $\text{La}_{0.5}\text{Re}_{0.5}\text{FeO}_3$ (Re = Dy, Gd, Nd, Sm, Er, Eu). На примере соединения $\text{La}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}\text{FeO}_3$, представлены результаты расчетов магнитной энтропии в магнитных полях (рисунок 2), а также температурные зависимости удельной намагниченности и удельной магнитной восприимчивости (рисунок 3).

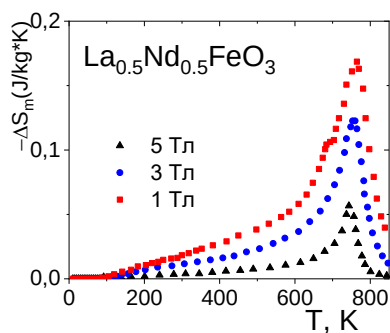


Рисунок 2

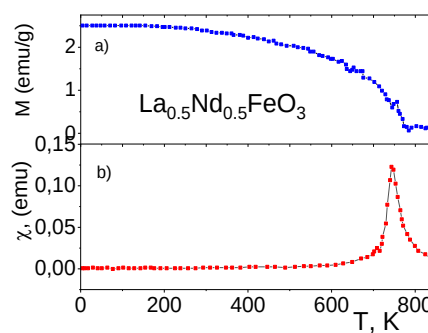


Рисунок 3

При температурах вблизи жидкого азота величина удельной намагниченности согласуется с соответствующим спиновым состоянием при $T \approx 0,0$ K ($S = 52$) (рисунок 3(a)). Максимум на рисунке 3(b), соответствующий магнитной восприимчивости $\text{La}_{0,5}\text{Nd}_{0,5}\text{FeO}_3$, около температуры Нееля ($T_N \sim 760$ K) хорошо согласуется с экспериментальным значением.

Зависимости энтропии от температуры имеют типичную форму у всех составов, которая претерпевает изменение при уменьшении радиуса R-катиона замещения. Характерно перераспределение интенсивностей максимальных значений ΔS_m , M , χ и температуры их фазового перехода вблизи T_N . Все результаты расчётов коррелируют с данными эксперимента.

Авторы выражают благодарность Министерству инновационного развития Республики Узбекистан за финансовую поддержку исследований в рамках грантов AL-4821023123-son, IL-4821091562-son и ФФИ Республики Беларусь, проект T22УЗБ-045.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ
НА ВОЗДУХЕЕ. Е. Сапатаев, Е. Д. Даулетханов, Е. Б. Арынгазы*Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Республика Казахстан*

Цирконий и его различные сплавы широко применяются в ядерной энергетике в связи с его уникальными свойствами, такие как устойчивость к коррозии и высоким температурам, малое сечение поглощения нейтронов и т.п. Из-за таких уникальных свойств цирконий и его сплавы применяются в качестве оболочек твэлов различных ядерных реакторов, в том числе и исследовательского реактора ИВГ.1М, активная зона которого состояла из тепловыделяющих сборок (ТВС) с высокообогащенным урановым (ВОУ) топливом.

В 2010 году в рамках выполнения международных обязательств РК в области нераспространения ядерного оружия в РГП НЯЦ РК были начаты работы по конверсии на низкообогащенное топливо исследовательского реактора ИВГ.1М, которые благополучно завершены в 2023 году. В связи с этим возникает вопрос по утилизации, извлеченных из активной зоны реактора ИВГ.1М, отработавшего ТВС с ВОУ.

Одним из вариантов утилизации является высокотемпературное окисление твэлов в потоке воздуха с последующим их измельчением и иммобилизацией. Данная работа посвящена к исследованию процессов высокотемпературного окисления на воздухе различных сплавов циркония (Zr, Zr1Nb, Zr2.5Nb) при изохронном и изотермическом режимах при температурах 900–1200 °С в камере муфельной печи СНОЛ 8,2/1100. Показано, что скорость окисления цирконий-ниобиевых сплавов заметно выше по сравнению с чистым йодидным цирконием до 1100 °С. При этом окисление цирконий-ниобиевых сплавов с наибольшей скоростью протекает при температурах 950–1000 °С.

Результаты данной работы могут быть применены при последующих исследования по обоснованию метода окисления для утилизации ОТВС реактора ИВГ.1М.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРИУМА С КЕРАМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ ИЗ ОКСИДА
АЛЮМИНИЯ (Al_2O_3) СО СВИНЦОВОЙ ПРОКЛАДКОЙ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОЙ
АВАРИИ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫМ. К. Бекмулдин^{1,2}, М. К. Скаков¹, В. В. Бакланов¹,
А. С. Акаев¹, Е. А. Мартыненко¹, А. А. Туркач¹¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатова, Республика Казахстан² НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

В первоначальном варианте в качестве жертвенного материала (ЖМ) рассматривалась сталь, однако выполненные расчётные и экспериментальные исследования показали, что если в качестве ЖМ использовать только металл, то тепловые нагрузки к боковым поверхностям охлаждения в зоне расположения оксидной ванны расплава вследствие ограниченности ее глубины и высокой объемной плотности энерговыделения могут превысить допустимые значения [1]. В связи с этим, применение металла в качестве ЖМ перспективно только в сочетании с оксидным ЖМ, предназначенным для разбавления оксидной части кориума.

Ранее, в работе [2] для решения вышеперечисленных недостатков авторы в качестве ЖМ предлагали рассмотреть керамический материал из оксида алюминия (Al_2O_3) со свинцовым слоем (кипящий слой).

Эксперименты по исследованию взаимодействия кориума с ЖМ выполнялись на установке «Лава-Б». Перед началом эксперимента в тигель электроплавильной печи (ЭПП) для получения кориума была загружена шихта общей массой 25,5 кг. Для имитации нахождения в кориуме стали, в бетонную ловушку был установлен стальной вкладыш массой 4,5 кг. Во внутренней полости ловушки были установлены диски и цилиндры из Al_2O_3 .

Полученные в результате разреза поверхности дали новую информацию о характере и глубине эрозии боковой стенки ловушки, а также об особенностях макроструктуры образовавшейся композиции кориума. Выяснилось, что в сечении ловушки, проходящем по стыку композитного донного покрытия, глубина эрозии

боковой стенки оказалась максимальной, при этом в структуре корнума, расположенного под уровнем ловушки, имеется массивное скопление металлического расплава.

С полученных четвертей ловушки срезались темплеты в виде плоскопараллельных пластин, отрезаемых по всей высоте ловушки. Вырезка пластины толщиной около 30 мм из четверти ловушки, содержащей свинец, не удалась в отношении сохранения целостности сечения. Вырезанная пластина распалась на большое количество фрагментов. В связи с этим из части ловушки без свинцового слоя был вырезан более массивный образец толщиной около 50 мм. Вырезанная пластина содержит представительную область сечения ловушки с максимальной обнаруженной эрозией боковых стенок и массивным скоплением металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов А. В., Ремизов О. В. Тяжелые аварии на АЭС с ВВЭР: сценарии, процессы деградации активной зоны, способы управления // ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2012. — 136 с.
2. Bekmoldin, M.K. et al. Heat-resistant composite coating with a fluidized bed of the under-reactor melt trap of a light-water nuclear reactor. Eurasian Physical Technical Journal. 2021;18(3):65–70. <https://doi.org/10.31489/2021No3/65-70>

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОГО МЕТАЛЛА

С. А. Должиков, А. В. Пахниц, Н. Е. Мухамедов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

В Казахстане имеется четыре исследовательских ядерных реактора, три из которых находятся в Национальном ядерном центре Республики Казахстан (РГП НЯЦ РК). Тысячи тонн оборудования из нержавеющей стали складированы на площадках временного хранения в местах добычи и переработки урановой руды. Проблема дезактивации перечисленного оборудования является одной из самых острых экологических проблем Казахстана. Радионуклиды концентрируются на стенках технологического оборудования и трубопроводов, формируя активности, превышающие фон в сотни и тысячи раз и сопоставимые с классами низко- и среднеактивных радиоактивных отходов. Переработка радиоактивного металла с последующим возвратом его в полезное использование является оптимальным решением данной проблемы [1].

На базе филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК были проведены исследования в обоснование возможности применения электрошлакового переплава (ЭШП) [2] для очистки радиоактивно-загрязненного металла.

Целью работы являлось обоснование возможности применения метода ЭШП для очистки от радиоактивного загрязнения металлов, применявшихся в составе технологического оборудования исследовательских реакторов РГП НЯЦ РК, от изотопов урана.

С целью разработки соответствующей технологии, были проведены эксперименты для получения статистически и методически обоснованных результатов, при этом были:

- разработана методика измерения содержания радионуклидов (уран-235, цезий-137 и кобальт-60) в переплавляемых электродах;
- разработана методика определения элементного состава образцов стали;
- применен многовекторный подход к проведению экспериментов для изучения влияния на степень очистки радиоактивно-загрязненных металлов от радионуклидов таких факторов, как начальное содержание радионуклидов в переплавляемых электродах, скорость переплава, масса флюса, состав флюса.

После проведения экспериментов по очистке радиоактивно-загрязненного металла методом электрошлакового переплава полученные слитки были отчищены от шлака. Из полученных слитков и шлака были отобраны образцы для проведения гамма-спектрометрических исследований. При этом также был проведен отбор образцов из фильтрующих элементов системы специальной вентиляции.

Анализ результатов выполненных измерений позволил оценить степень очистки нержавеющей стали от изотопов урана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка стали от радиоактивного загрязнения методом электрошлакового переплава / А.Д. Вурим, Ю.В. Алейников, В.С. Жданов, Ю.В. Логачев, А.В. Пахниц, А.Г. Трухачев, Е.О. Ишанов, С.Ю. Носов // Вестник НЯЦ РК. – Курчатов, 2002. – Вып. 1. – С. 34–39.
2. Электрошлаковый переплав (Electro-slag Refining, 1969) [Djv- 1.5M] / У.Э. Дакуорт, Дж. Хойл; перевод с английского А.Б. Парцевского. – Москва: Издательство «Металлургия», – 1973.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИГР

Р. А. Иркимбеков, О. М. Жанболатов, А. С. Сураев

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Реактор ИГР [1] является исследовательским реактором с уникальными нейтронно-физическими данными, что обеспечивает возможность проведения исследований широкого спектра. Каждое экспериментальное исследование в обязательном порядке сопровождается расчетными работами, для обоснования безопасности запланированного исследования.

Одной из хорошо зарекомендовавших себя расчетных методик, основана на последовательном применении программных комплексов MCNP [2] и ANSYS [3]. Расчетная оценка параметров реактора и установленного экспериментального устройства (ЭУ) производится для температуры активной зоны 20 °С. Данная методика позволяет достаточно точно описывать поведение конструктивных элементов ЭУ в пусках в режиме «Вспышка». Изменение характеристик потока нейтронов в результате разогрева активной зоны и движения стержней регулирования не учитывается.

Однако, для энергонапряженных пусков, особенно при максимальной интегральной мощностью, данный метод не позволяет получить удовлетворительный результат. Усовершенствование методики с помощью учета равномерного разогрева активной зоны, закона движения стержней и влияния запаздывающего энерговыделения позволяет значительно уточнить диаграммы мощности элементов экспериментального устройства [4]. Однако при сравнении постэкспериментальных данных с расчетными возникли определенные несостыковки, основной причиной которых являлось упрощенное моделирование.

В настоящей работе представлена методика оценки параметров динамических экспериментов на реакторе ИГР, основанная на проведении серии нейтронно-физических и тепловых расчетов для последовательных состояний активной зоны и объекта испытаний. Для этого, в первую очередь, были обновлены расчетные модели реактора ИГР. Методика отличается от предыдущих, использованием в ее основе метода последовательных приближений. Для получения данных проводится серия нейтронно-физических расчетов и теплофизических расчетов, до получения стабильной конфигурации теплового поля активной зоны реактора. Для обмена данными между моделями создано программное обеспечение на языке VB.net. Методика прошла валидацию на примерах пусков с максимальным энерговыделением, в которых облучались экспериментальные устройства.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы ИРН BR09158470 «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан», источник финансирования – Министерство энергетики Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Erlan Batyrbekov, Vladimir Vityuk, Alexander Vurim, Galina Vityuk. Experimental opportunities and main results of the impulse graphite reactor use for research in safety area // Annals of Nuclear Energy. –2023. – Vol. 182. 109582. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>
2. MCNP-6.1. Monte-Carlo N-Particle Transport Code // Los Alamos National Laboratory; Los Alamos, New Mexico.– 2008.
3. ANSYS Mechanical APDL. Thermal Analysis Guide, Ansys Inc., November, 2013.
4. Жанболатов О.М., Иркимбеков Р.А. Особенности расчета мощности элементов экспериментального устройства для реакторных испытаний на ИГР. Вестник НЯЦ РК. 2020;(2):55–60.

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТОНОВ И ДЕЙТРОНОВ ИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 22 МэВ С КОБАЛЬТОМ

Т. К. Жолдыбаев¹, Г. Усабаева^{1,2}, Б. М. Садыков^{1,3}, А. Темиржанов^{1,3}

¹ РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

² Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова,
г. Алматы, Республика Казахстан

³ Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

Новые прецизионные экспериментальные данные по дважды дифференциальным сечениям реакций с заряженными частицами при средней энергии важны для многих областей фундаментальных и прикладных наук. Например, для производства различных радиоизотопов, требуется все больше и больше экспериментальных данных по образованию конечных изотопов. Также существует проблемы накоплений радиоактивных отходов с

большим периодом полураспада, которые могут быть решены при разработке перспективных гибридных электроядерных установок ADS (Accelerator Driven System), состоящих из высокоэнергетического ускорителя протонов и глубоко подкритического атомного реактора [1].

Экспериментальные данные получены на выведенном пучке протонов изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики. В экспериментах использовались тонкие металлические фольги ^{59}Co толщиной 2,3 мг/см². Для измерения однозарядных частиц использовали в качестве стопового детектор на основе сцинтиллятора CsI(Tl). В качестве пролетных детекторов применялись полупроводниковые кремниевые детекторы толщиной 100 мкм. Энергетическая калибровка проводилась по пикам в исследуемых спектрах, отвечающих известным состояниям конечных ядер.

Расчеты в рамках экситонной модели предравновесного распада [2] выполнены по программе PRECO-2006 [3]. В рамках этой модели принимается, что ядро характеризуется параметрами p_π , h_π , p_ν и h_ν , где p и h обозначают частичные и дырочные, а π и ν – протонные и нейтронные степени свободы, соответственно. Усложнение частично-дырочных конфигураций будет происходить до тех пор, пока вероятность переходов в единицу времени в состояния с меньшим числом экситонов не сравняется с вероятностью переходов в состояния с большим числом экситонов. Из сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных интегральных спектров следует, что основной вклад в жесткую часть интегрального сечения реакций $(p, x p)$ на всех исследуемых ядрах обусловлен предравновесным механизмом, в то время как в низкоэнергетическую часть становится значительным вклад составных процессов. Вклад одноступенчатых механизмов в реакции $(p, x p)$ незначителен.

Данное исследование было профинансировано Министерством энергетики Республики Казахстан (BR09158499).

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов А.С., Киселев Г.В. // ЭЧАЯ. – 2001. – Т. 32, Вып. 1. – С. 143.
2. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. – 1966. – №9. – P.478.
3. Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СКРП-КТМ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ УСТАНОВКИ ТОКАМАК КТМ

А. Г. Коровиков, В. В. Яковлев, А. Т. Избасханова

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Токамак КТМ – научно-исследовательская электрофизическая тороидальная установка, основным назначением которой является получение высокотемпературной водородной плазмы, потоки частиц и энергии от которой будут использоваться для исследования кандидатных материалов первой стенки термоядерных реакторов. Плазма в токамаке КТМ удерживается не стенками камеры, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем.

Для контроля и оценки распределения, регистрации параметров радиационных полей на установке, а также с целью характеристики ионизирующих излучений была решена задача, состоящая из нескольких направлений требующих проведения оценок и анализа полученных данных, позволяющая сделать выводы о радиационных полях и выработать рекомендации по обеспечению радиационной безопасности при проведении экспериментальных работ на токамаке КТМ.

На основании первых результатов радиационного контроля, а также учитывая особенности установки токамак КТМ, были выполнены разработка конструкции, обоснование технических характеристик и монтаж стационарной автоматизированной системы контроля радиационных полей (СКРП-КТМ).

Основной целью СКРП-КТМ является организация непрерывного автоматизированного процесса контроля импульсных излучений токамака КТМ в условиях динамичных, быстроменяющихся процессов, в зависимости от режимов работы установки и расположения исследуемых устройств, а также оперативное представление информации от каждого блока детектирования в любой момент времени.

По результатам анализа статистических данных СКРП-КТМ, полученных в результате исследования радиационных полей в процессе серийных пусков, реализованных на токамаке КТМ в период с 2022 по 2023

годы, было выявлено наличие неравномерности распределения излучения по вертикальной плоскости окружности токамака КТМ.

В результате анализа статистических данных было определено, что независимо от мощности пуска и его продолжительности максимальные значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) достигаются в одной и той же контрольной точке «9 сектор Z-0», соответствующей позиции №1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р. Е. Келсингазина¹, В. А. Витюк², Н. Е. Мухамедов¹, Г. А. Витюк¹

¹ *Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан*

² *РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан*

Конструкционные материалы должны обеспечивать стабильность геометрии активной зоны на весь эксплуатационный период, сохраняя функции системы управления и защиты, а также минимизировать последствия возможной аварийной ситуации предотвращая выход делящегося материала из состава тепловыделяющих элементов. Поэтому температура конструкционных материалов играет важную роль в обеспечении безопасности ядерных технологий, особый интерес представляет температура радиационного разогрева. Таким образом, исследования в этой области остаются актуальными и востребованными, особенно в исследовательских реакторах в связи с необходимостью обеспечения надежности проведения эксперимента и корректного анализа результатов испытаний.

На реакторе ИГР проводится широкий спектр экспериментов, направленных на исследования безопасности реакторных установок при нормальных и аварийных режимах эксплуатации [1]. Вследствие сильного воздействия реакторного облучения потоком нейтронов и гамма-излучения возникает необходимость получения информации о температуре радиационного разогрева конструкционных материалов в подобных условиях. Поэтому на реакторе ИГР были проведены исследования по изучению радиационного разогрева набора материалов наиболее часто используемых сотрудниками РГП НЯЦ РК при проведении внутриреакторных экспериментов. Полученные результаты можно будет экстраполировать на другие материалы для прогнозирования температуры нагрева конструктивных элементов экспериментальных устройств.

Для проведения эксперимента были проведены подготовительные мероприятия, в частности разработка экспериментального устройства (ЭУ). На основе имеющегося опыта [2] конструкция ЭУ была разработана с усовершенствованием дизайна для получения истинных значений температуры разогрева материалов. Введение в состав устройства корпуса с крышкой позволило поместить испытательную секцию с исследуемыми образцами в вакуумную среду для уменьшения потерь тепла. Также, для борьбы с инерционностью приборов регистрации температуры, были выбраны термопары с меньшим диаметром горячего спая и отработана новая методика их крепления в обеспечение более надежного теплового контакта с материалом образца. Таким образом, усовершенствовав постановку эксперимента, удалось повысить точность полученных данных об изменении температуры радиационного разогрева материалов в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Erlan Batyrbekov, Vladimir Vityuk, Alexander Vurim, Galina Vityuk. Experimental opportunities and main results of the impulse graphite reactor use for research in safety area // *Annals of Nuclear Energy*. – 2023. – Vol. 182. 109582. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>
2. Горин Н.В., Кандиев Я.З., Ульянов А.И. и др. Измерение температуры радиационного разогрева конструкционных материалов излучением ИГР // *Атомная энергия*. – 2001. – Т. 90, вып. 1. – С. 17–21.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ UNCHARGED ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

А. К. Мухамедиев, И. В. Прозорова

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

E-mail: mukhamediev@nnc.kz

В процессе использования ядерных реакторных установок (ЯРУ) происходит изменение нуклидного состава топлива, вызванное расщеплением ядер делящегося материала и радиоактивным распадом продуктов деления. Определение текущего радионуклидного состава ядерного топлива является одним из важных факторов при эксплуатации ядерного реактора: управление ЯРУ, обоснование радиационной и ядерной безопасности или, например, исследование прочностных характеристик конструкционных материалов и топливных сборок.

Создание программно-аналитических комплексов по обеспечению теоретических исследований радиоактивных превращений нестабильных ядер и нейтронной активации материалов представляет собой достаточно трудоемкую и сложную задачу: в связи с особенностями протекания процессов, сопровождающих работу ЯРУ, таких как образование продуктов деления [1] и последующий каскадный распад, состав ядерного топлива практически всегда различен.

Разработанный программный код нуклидной кинетики Uncharged адаптирован для определения активности смеси продуктов деления в условиях работы реактора на мощности и оценки интегрального энерговыделения. Последняя версия кода включает возможность вести учет γ -квантов [2] (γ -активность), в тестовом режиме добавлена функция нейтронной активации [3]. Для полноценной работы и максимально корректных результатов использованы библиотеки ядерных данных МАГАТЭ (IAEA) и Японского атомного энергетического агентства (JAEA), при этом программный код содержит информацию о свыше 1600 нуклидах.

Математическая модель кинетики продуктов деления представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами для i -го нуклида N :

$$A_i = -\frac{dN_i}{dt} = \lambda N_i \rightarrow dN_i = \lambda N_i dt$$

в экспоненциальном виде, при котором динамика превращений нуклидов происходит по формулам:

$$N(t) = N - N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{для материнского нуклида } N;$$

$$M(t) = M(t) + N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{для дочернего нуклида } M.$$

В программном коде задействованы все известные пути распада радионуклида, например:

$$N_{Z+1}^A = N_Z^A (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{для бета-распада};$$

$$N_{Z+1}^{A-1} = N_Z^A (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{для бета-распада с запаздывающим нейтроном};$$

$$N_Z^A = N_{m1Z}^A (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{для изомерного перехода и т.д.}$$

Функционал программы Uncharged позволил рассмотреть реактор ИГР как источник γ -излучения и в последующем провести расчеты полей мощности дозы в реакторном зале реактора ИГР. По результатам расчетов были получены удовлетворительные результаты (отклонение от измеренных значений составляет менее 10%). Дополнительно с помощью программного кода проведен расчет плотности потока γ -квантов для эксперимента SAIGA, с экспериментальным устройством, размещенным в центральном экспериментальном канале (ЦЭК) реактора ИГР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международное агентство по атомной энергии: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>.
2. Nuclear Data Center Japan Atomic Energy: <https://www.ndc.jaea.go.jp/NuC/index.html>.
3. MacFarlane, R.E. New Thermal Neutron Scattering Files for ENDF/B-VI Release 2. – Los Alamos, 1994. – LA-12639-MS.

ОБОСНОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ ИВГ.1М

И. В. Прозорова, А. К. Мухамедиев, А. А. Прозоров, Ю. А. Попов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

В 2022 году завершен этап конверсии активной зоны исследовательского реактора ИВГ.1М на низкообогащенное топливо, включающий в себя проведение физического пуска. Этап включал в себя выгрузку высокообогащенного и загрузку низкообогащенного ядерного топлива в активную зону реактора. На данный момент планируется размещение отработанных ВОТК (водоохлаждаемых каналов) во временном хранилище на площадке ИАЭ.

Временное хранение ОЯТ ИВГ.1М в укомплектованных чехлах предполагается осуществлять без дополнительной защиты от окружающей среды на специально проектируемой открытой площадке, расположенной в пределах площадки ДКХОЯТ БН-350.

Целью работы являлось выявление потенциальных опасностей, аварийных ситуаций, аварий и их последствий, которые могут иметь место в процессе эксплуатации временного хранилища. В ходе работ выполнены ряд расчетов в обоснование ядерной и радиационной безопасности размещения ОЯТ на основании предварительной схемы расположения площадки хранения ОЯТ ИВГ.1М с учетом влияния ДКХОЯТ БН-350. При проведении анализа и обоснования условий безопасности временного хранения ОЯТ руководствовались основными критериями и правилами [1–7] при обращении с ядерным топливом, в том числе и при проведении анализа критичности систем, содержащих ядерные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Казахстан. Об использовании атомной энергии: [от 12 января 2016 года № 442-V ЗРК]. – 28 с.
2. Технический регламент. Ядерная и радиационная безопасность: утв. приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года № 58. – 43 с.
3. ПБЯ-06-00-2016. Основные отраслевые правила ядерной безопасности при использовании, переработке, хранении и транспортировании ядерноопасных делящихся материалов: введ. приказом Госкорпорации «Росатом» от 10 ноября 2016 года №1/1093-П.
4. Правила государственного учета ядерных материалов: утв. приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 9 февраля 2016 года № 44 (Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 15 марта 2016 года № 13470).
5. ПБЯ-06-01-2017. Отраслевые правила ядерной безопасности для производства тепловыделяющих элементов: введ. приказом Госкорпорации «Росатом» от 15 июня 2017 года.
6. НП-061-05. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики. Постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 декабря 2005 г. N 23.
7. ПБЯ-06-09-2016. Правила ядерной безопасности при хранении и транспортировании ядерноопасных делящихся материалов: введ. приказом Госкорпорации «Росатом» от 26 декабря 2016 года №1/1322-П.

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С АКТИВАЦИОННЫМИ ИНДИКАТОРАМИ В РАМКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА ИГР В РЕЖИМАХ САМОГАСЯЩЕЙСЯ ВСПЫШКИ

С. Н. Светачев, Р. Р. Сабитова,, Ю. А. Попов, И. В. Прозорова

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

E-mail: svetach@nnc.kz

Физические исследования с активационными индикаторами (АИ) на пусках реактора ИГР выполнены на основании программы «Исследования параметров реактора ИГР в режимах самогасящейся вспышки» по теме НТП «Разработка метода расчетного анализа параметров испытываемых экспериментальных устройств».

Исследования проведены в рамках обновления методики подготовки реакторных испытаний на КИР ИГР. Результаты физических исследований использованы для валидации расчетных моделей реактора с типичными экспериментальными устройствами, также для разработки методики прогнозирования параметров реакторного пуска с экспериментальным устройством в ЦЭК реактора и для разработки методики по определению мощности экспериментального устройства по показаниям штатных приборов СУЗ.

Целью исследований являлась оценка активационного интеграла для реакций $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$, $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ и $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$ в месте установки АИ из никеля, кобальта и нихрома в ЦЭК и в БЭК реактора ИГР.

Задачами исследований являлись:

- подготовка АИ;
- оснащение ЦЭК и БЭК АИ из никеля, кобальта и нихрома;
- извлечение АИ, измерение гамма-спектров, определение активности продуктов активации и расчет активационного интеграла.

Радиационные исследования проведены с использованием сцинтилляционного гамма-детектора и гамма-спектрометра InSpector. Калибровка гамма-спектрометра проведена с использованием калибровочных источников Eu-152, Cs-137, Na-22 из набора ОСГИ-3-2, ОСГИ-РТ. Погрешность полученных данных не превышает 7%,

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Б. Климентов, Г.А. Копчинский Активационные измерения потоков и спектров нейтронов в ядерных реакторах, М.: Издательство стандартов. 1974.
2. Б.А. Брискман и др., Внутрореакторная дозиметрия: Практическое руководство, М.: Энергоатомиздат. 1985.

РАСЧЕТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ИГР

А. С. Сураев¹, О. М. Жанболатов¹, Р. А. Иркимбеков¹, В. А. Витюк²

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

Ядерный исследовательский реактор ИГР находится на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона. ИГР – это импульсный уран-графитовый реактор теплоемкостного типа с графитовым замедлителем и отражателем [1]. Композиция активной зоны представлена тремя материалами: графит пропитанный раствором урана (топливная часть колонн), непропитанный графит (боковой и подвесной отражатель) и гелий – инертный газ, окружающий колонны. В справочной литературе нет точных свойств графита, пропитанного раствором уранилдинитрата. Данное обстоятельство усложняет расчетные исследования температурного поля, так как значения плотности, теплоемкости и теплопроводности реакторного графита, оказывают прямое влияние на результаты моделирования.

Реактор ИГР может работать в двух режимах – контролируемом и неконтролируемом (режим самогасящейся вспышки). Основное различие в этих режимах с точки зрения теплофизики заключается в длительности пуска реактора, которая может варьироваться от нескольких секунд до тысячи. Соответственно картина объемного распределения температурного поля по активной зоне будет различной. Правильное моделирование температуры играет ключевую роль при определении физических характеристик реактора, а также при проведении анализа безопасности реакторных испытаний.

Для расчетного сопровождения таких работ применяются хорошо зарекомендовавший себя комплекс программ ANSYS, в основе которого лежит метод конечных элементов. Суть данного метода заключается в разбиении расчетной области на отдельные конечные элементы достаточно малого размера в пределах которых выполняется решение дифференциальных уравнений. Очевидным минусом такого способа являются строгие требования к качеству конечно-элементной модели и ресурсоемкость вычислительных машин.

В рамках данной работы была выполнена разработка новой полноразмерной тепловой модели активной зоны реактора ИГР для решателя ANSYS Mechanical APDL, показаны способы задания граничных условий и методы оптимизации расчета, которые в совокупности позволяют получить представительные результаты моделирования. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных по температурам в области расположения термпар активной зоны; оценка времени расхолаживания активной зоны; расчет эффективного коэффициента размножения для определенных энергетических состояний реактора, полученных при моделировании температурного поля.

Работа профинансирована Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP09058353 «Разработка инструментария для моделирования динамики нейтронного поля импульсного исследовательского ядерного реактора»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Batyrbekov, E., V. Vityuk, A. Vurim, and G. Vityuk. 2023. "Experimental Opportunities and Main Results of the Impulse Graphite Reactor use for Research in Safety Area" *Annals of Nuclear Energy* 182. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>

АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ПРОТОТИПА МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР

Э. Ж. Токтаушев, И. М. Кукушкин, Ю. А. Попов, С. Н. Светачев,
Р. Р. Сабитова, Ю. Ю. Бакланова, А. С. Акаев, Е. Т. Коянбаев

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Технология изготовления матрицы для иммобилизации облученного графитового топлива импульсного графитового реактора ИГР разработана в филиале «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК.

Топливо высокого обогащения (90% по U^{235}) реактора ИГР предварительно измельчалось до размера частиц ≤ 200 мкм и смешивалось с обедненным диоксидом урана (обогащение 0,27% по U^{235}) для достижения общего обогащения ниже 20 % по U^{235} . Материалами для изготовления матрицы являлись портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н, зола-уноса теплоэлектростанций, с преимущественным размером частиц ≤ 100 мкм. После тщательного смешивания золы-уноса с водой, к суспензии добавлялось разбавленное топливо, происходило тщательное смешивание. В последнюю очередь к смеси добавлялся портландцемент и происходило затворение. После выдержки матрица была разрезана диаметрально, отобраны места вырезки образцов для проведения материаловедческих исследований с целью обоснования однородности смешивания компонентов. Размеры образцов, отобранных из сечения матрицы – $\varnothing 40$ мм, высота ~20 мм.

Равномерность распределения урана в объеме матрицы определялась посредством элементного анализа на рентгенофлуоресцентном спектрометре SUPERMINI 200 и определения изотопного соотношения урана в образцах гамма-спектрометрическим методом с использованием гамма-спектрометра Canberra InSpector-2000 с детектором GL0515.

Для определения качества смешивания анализировалось содержание в образцах соединений CaO – основного компонента портландцемента, Al_2O_3 и SiO_2 – основных составляющих золы-уноса. Данные о содержании этих элементов получены на рентгенофлуоресцентном спектрометре SUPERMINI 200.

Проведен элементный анализ образцов трех матриц. Установлено, что в первой и второй матрицах (1-НОУ и 2-НОУ, отличались соотношением портландцемента, золы-уноса и воды) смешивание произошло неравномерно. В матрице 1-НОУ наблюдалось скопление Al_2O_3 , SiO_2 в нижней части сечения – это свидетельствует о том, что ближе к дну бочки находится зола-уноса. В матрице 2-НОУ была обратная ситуация – содержание CaO в нижней части бочки повышено – что показывает преимущество цемента у дна бочки. В третьем эксперименте распределение портландцемента и золы-уноса было равномерным.

Анализ распределения диоксида урана в матрице 1-НОУ показал отсутствие скоплений на дне бочки. В матрице 2-НОУ наблюдалось неравномерное распределение диоксида урана. В третьей матрице содержание диоксида урана по всем частям бочки равномерное.

Изотопное соотношение урана в образцах третьей матрицы проведено гамма-спектрометрическим методом. Среднее по пяти образцам значение обогащения урана по ^{235}U при расчетах кодом MGAU составило 5,01%, среднее квадратическое отклонение (СКО) составило 0,13%. Среднее по пяти образцам значение обогащения урана по ^{235}U при расчетах кодом FRAM составило 5,09%, среднее квадратическое отклонение (СКО) составило 0,02%.

Рассмотрев полученные результаты, сделан вывод о приемлемости оценки однородности распределения урана в образцах, отобранных на различной высоте и на разном удалении от центра бочки.

Секция 2

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА



STS-2023

Section 2

PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY AND CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION DEVELOPMENT

СТЕНД ГОРЯЧИХ ВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ ВНУТРИКАМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

В. А. Васильев, Д. А. Киселев, А. Н. Маханьков, С. Н. Мазаев, А. А. Герваш,
П. Ю. Пискарёв, И. В. Мазуль, В. В. Рузанов, М. С. Колесник

АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР — токамак, строящийся в Кадараше, Франция. Главная цель ИТЭР — это демонстрация научной и технической Осуществимости длительной поддерживаемой термоядерной реакции с возможностью дальнейшего использования в энергетике.

В основе реактора ИТЭР лежит принцип получения энергии с помощью синтеза изотопов водорода в плазме с температурой выше 100 миллионов градусов Цельсия. Отдельные элементы реактора ИТЭР могут подвергаться тепловым нагрузкам с плотностью поглощённой мощности до 10 МВт/м² во время стационарной работы установки и до 20 МВт/м² в переходных процессах. Внутрикамерные компоненты реактора представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из большого количества сварных соединений разного вида (соединения однородных металлов и биметаллические).

Учитывая что большинство ВКК изнутри охлаждаются водой, важным параметром является их герметичность, которая обеспечивает надёжную границу между вакуумной камерой, давление в которой не превышает $1 \cdot 10^{-6}$ Па, и контуром охлаждения, с рабочим давлением воды 40 бар. Максимальная скорость натекания для таких ВКК не должна превышать $1 \cdot 10^{-10}$ Па·м³/с (воздушного эквивалента).

Для этих изделий вакуумные испытания на герметичность в 100% объеме проводятся на стенде гидравлических и вакуумных испытаний (ГиВИ) методом вакуумной камеры в соответствии с международным стандартом ISO 9712: Изделие помещается в объем вакуумной камеры, каналы охлаждения откачиваются и после этого отпрессовываются гелием на время не менее двойного времени отклика вакуумной системы, но не менее 15 минут. Гелий регистрируется подключенным к объему вакуумной камеры течеискателем. При этом во время испытаний происходит несколько подъемов давления гелия при комнатной температуре и при температуре до 250 ± 20 °С.

Прототип центральной сборки дивертора ИТЭР, изготовленный в АО «НИИЭФА», успешно прошел испытания по данной программе. В данный момент проводится подготовка к вакуумным испытаниям прототипа панели первой стенки. Одной из сложных задач в подготовке этих испытаний является обеспечение надёжного и герметичного разъёмного присоединения патрубков системы подачи гелия под давлением к панели первой стенки при испытаниях. В рамках данной подготовки проводится серия вакуумных испытаний, аналогичных программе для ВКК ИТЭР, с применением запатентованного коннектора с использованием упругих металлических уплотнений.

Так же проводится исследование применения аддитивных технологий в изготовлении отдельных узлов ВКК, в частности, на соответствие требованиям ИТЭР к герметичности.

ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПЛАЗМЫ НА ТОКАМАКЕ КТМ

А. Ж. Дүйсен, Б. Ж. Чектыбаев, Е. А. Кашикбаев, С. А. Жүнісбек

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Республика Казахстан

В работе описывается диагностика радиационных потерь плазмы токамака КТМ, которая основана на использовании пироэлектрического болометра.

С целью улучшения качества проводимых измерений проведена модернизация болометра путем замены пироэлектрического кристалла ниобата лития на кристалл танталата лития и разработана новая электрическая схема усиления, по которой собран пироэлектрический болометр.

Также проведена настройка и калибровка пироэлектрического болометра для определения чувствительности, временного разрешения и постоянной времени компенсации.

Модернизация обзорного болометра позволила в значительной степени повысить чувствительность к излучению плазмы, в результате увеличилось отношение сигнал/шум, а также улучшились эксплуатационные характеристики диагностики.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ВОЛЬФРАМА В РЕЗУЛЬТАТЕ КАРБИДИЗАЦИИ В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ

М. К. Скаков^{1,3}, Г. К. Жанболатова^{2,3}, В. В. Бакланов², А. Ж. Миниязов²,
Е. А. Кожаметов², И. А. Соколов², Т. Р. Туленберген², А. В. Градобоев⁴

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

⁴ Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

Как известно, внутренняя стенка рабочей камеры и дивертор, изготовленные полностью из вольфрама уже были успешно разработаны и испытаны в токамаках ASDEX Upgrade и JET [1]. Однако, использование полностью вольфрамового дивертора в будущих термоядерных реакторах будет невозможно из-за конструктивных ограничений и соображений стоимости. В связи с этим, на сегодняшний день в большинстве термоядерных установках используются либо вольфрамовые покрытия, нанесенные на графит и углеграфитовые материалы, либо графитовые материалы без покрытия, как например, в Казахском материаловедческом токамаке КТМ [2]. Тем не менее, эрозия и перенос распыленных графита и углеграфитовых материалов приведет к одновременному облучению вольфрама изотопами водорода, атомами углерода и осаждению молекул углеводородов, что соответственно приведет к образованию смешанного поверхностного W–C-слоя [3].

В настоящей работе представлены результаты исследования изменений структурно-фазовых состояний вольфрама в результате пучково-плазменной карбидизации. Метод карбидизации поверхности вольфрама с применением пучково-плазменного разряда описан в работе [4] и реализован на плазменно-пучковой установке.

Исследование изменений структурно-фазовых состояний приповерхностных слоев вольфрама проводили методами сканирующей электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Анализ дифрактограмм с поверхности исходного образца и после карбидизации при температурах до 1100 °С выявил в качестве основной кристаллической фазы W с объемно-центрированной кубической решеткой с параметром $a = (3,1614 \pm 0,001) \text{ \AA}$. Однако, после карбидизации образцов при температуре 700–900 °С наблюдается увеличение интенсивности пиков W и смещение их в сторону малых углов с повышением температуры карбидизации, что указывает на формирование более совершенной и однородной структуры. Изменение периода решетки W также может свидетельствовать о начале перестройки структуры в результате диффузии C в W и заполнением атомами C октаэдрических пустот. Дальнейшее повышение температуры приводит к уменьшению интенсивности всех дифракционных пиков, принадлежащих W, и полному исчезновению на дифрактограммах с поверхности образцов после карбидизации при температурах 1200 °С и выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hirai, T., Maier, H., Rubel, et al., Fusion Engineering and Design. 82 (15-24) (2007) 1839–1845.
<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2007.02.024>
2. I.L. Tazhibayeva, E. A. Azizov, V. A. Krylov, Fusion Science and Technology. 47 (2005) 746–750.
3. H.Y. Peng, H.T. Lee, Y. Ohtsuka, Y. Ueda., Journal of Nuclear Materials. 438 (2013)
<https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.01.233>
4. V. Baklanov, G. Zhanbolatova, M. Skakov, A. Miniyazov, I. Sokolov, T. Tulenbergenov, Ye. Kozhakhmetov, O. Bukina, N. Orazgaliev. Materials Research Express. 9 (2022) 016403 <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac4626>

МЕТОДИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИТИЕВЫХ КЕРАМИК С НЕЙТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Жанна Заурбекова^{1,2}, Евгений Чихрай¹, Тимур Кульсартов^{1,2},
Саулет Аскербеков^{1,3}, Инеш Кенжина^{3,4}, Асет Шаймерденов³

¹ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

⁴ Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

Литиевая керамика в виде засыпки из пеллет рассматривается как перспективный материал для наработки трития в будущих термоядерных реакторах. Изучение генерации и выделения трития из литиевой керамики является актуальной задачей, стоящей перед исследователями, поскольку данные эксперименты необходимо проводить в режиме «in situ», то есть непосредственно в условиях нейтронного облучения с одновременной регистрацией выделяющихся из образца газов.

Работа посвящена проблеме, связанной с отработкой методики проведения облучательных экспериментов на реакторе ВВР-К (Алматы, Казахстан) с тритийгенерирующими материалами бланкетов термоядерных реакторов. Разработана принципиальная схема установки и оптимальная конструкция экспериментального облучательного устройства. Проведены нейтронно-физический и теплофизический расчеты облучательной установки, а также вакуумные расчеты установки для различных геометрий вакуумного тракта. В связи с тем, что общая длина облучательного устройства в реакторных экспериментах составляет около 5 м и во время облучения образцы устанавливаются в нижней части устройства, где контроль давления технически не возможен, были проведены вне реакторные методические эксперименты, в ходе которых были определены коэффициенты калибровки, которые связывают потоки газов из области исследуемых образцов в установку с парциальными давлениями, регистрируемыми в области масс-спектрометра. Результаты проведенных нейтронно-физических, теплофизических и вакуумных расчетов показали, что с разработанной конструкцией ампулы облучение можно будет проводить при температурах 773–1473 К и что разработанная установка может зарегистрировать поток газа в системе при уровне наработки трития и гелия в исследуемых образцах выше 10^{-11} моль/с. Полученные результаты необходимы для правильной интерпретации газовой выделенности при проведении реакторных экспериментов.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОДОРОДНОГО НАСОСА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ БЛАНКЕТА ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Б. В. Иванов, М. В. Синяков, Р. М. Меншарапов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация

Воспроизводство трития в бланкете термоядерного реактора в достаточном количестве является одной из важнейших задач тритиевого топливного цикла (ТЦ) [1], [2]. Различают твердые (литийсодержащая керамика) и жидкие (литий и сплавы на его основе, соли лития и др.) материалы для тритийвоспроизводящего бланкета [2]. В зависимости от используемых материалов тритий может быть получен в чистом виде (газообразный тритий) или в смеси с продувочным газом (purge gas) (обычно смесь He + 0,1–1% H₂) [2].

К технологиям извлечения трития в чистом виде из жидкометаллического бланкета можно отнести [2]: методы на основе мембранных аппаратов с керамической или металлической мембраной; методы с использованием высокотемпературных геттеров (горячие ловушки), методы на основе кристаллизации гидрида лития (холодные ловушки), методы на основе реакций лития с расплавленными солями.

К технологиям извлечения трития с помощью продувочного газа относят [2], [3]: методы на основе адсорбции в молекулярные сита (в том числе реакционные, то есть с катализатором для реакций изотопного обмена, и криогенные), методы на основе продувки жидких соединений лития в противоточных контактных аппаратах, мембранные методы, использование гидридообразующих геттеров, электрохимические методы и др.

Одним из способов извлечения трития и других изотопов водорода из продувочного газа является технология электрохимического водородного насоса (ЭВН) [3]. Технология позволяет производить очистку и компримирование водорода одну или несколько стадий в едином устройстве [3].

В докладе представлены сравнительный анализ технологий извлечения трития из blankets ТЯР, достоинства и недостатки ЭВН. Представлены результаты испытания ЭВН с полимерными протонобменными мембранами (ПОМ) в условиях характерных для ТЦ ТЯР на установке «Сивка», в том числе с ПОМ облученной пучком электронов на установке РС-20 (НИЦ «Курчатовский институт») до интегральной дозы 1 кР (рассеянные электроны и рентгеновское излучение) для моделирования влияния трития. Методика испытаний описана в работе [4].

Показано, что ЭВН является перспективной технологией для выделения трития из продувочного газа тритийвоспроизводящего blankets термоядерного реактора. ЭВН имеет ряд преимуществ по сравнению с другими обсуждаемыми технологиями.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» и Российского научного фонда в рамках проекта № 22–29–01367.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. A. Abdou et al., “Deuterium-Tritium Fuel Self-Sufficiency in Fusion Reactors” *Fusion Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 250–285, Mar. 1986, doi: 10.13182/FST86-A24715.
2. T. Tanabe, “*Tritium: Fuel of Fusion Reactors*” Tokyo: Springer Japan, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-56460-7>.
3. Б.В.Иванов и др., “О возможности применения электрохимического водородного насоса в топливном цикле ТЯР” *ВАНТ, Сер.: Термояд. синт.*, т. 45/4, с. 105–119, 2022, <https://doi.org/10.21517/0202-3822-2022-45-4-105-119>
4. B. V. Ivanov, N. A. Ivanova, et al., “Effect of hydrogen pressure on the electrochemical hydrogen pump performance” 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1–5, <https://doi.org/10.1109/REEPE57272.2023.10086860>

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТОКАМАКЕ КТМ

Е. А. Кашикбаев, Б. Ж. Чектыбаев, С. А. Жүнісбек, А. Ж. Дүйсен, А. А. Жаксыбаева,
Ә. Н. Мадиянова, А. Ғ. Смағұлова

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

В настоящее время на токамаке КТМ проводятся работы по выводу установки на проектные параметры, что позволит начать полномасштабные материаловедческие исследования и исследования в области физики плазмы.

В работе представлены результаты, полученные в ходе последних экспериментальных кампаний на токамаке КТМ, а также выполненные работы по подготовке системы физических диагностик к экспериментам.

Плазменные разряды на токамаке КТМ осуществлялись в режиме омического нагрева. В результате проведенных экспериментов были получены разряды с длительностью до 2 секунд с вытянутостью k до 1,4 и током плазмы 500 кА.

Также были проведены первые эксперименты по исследованию формирования плазмы с диверторной конфигурацией.

В ходе исследований были получены новые экспериментальные данные по плазменному разряду на токамаке КТМ и приобретен уникальный экспериментальный опыт. Полученные данные и достигнутые параметры разряда позволят перейти к экспериментам по достижению проектных значений плазменного разряда.

ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВОК УТС, РАССЧИТАННЫХ НА БОЛЬШИЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ И КОНТАКТ С ЖИДКИМ ЛИТИЕМ

М. С. Колесник, П. Ю. Пискарёв, И. В. Мазуль, Р. В. Рулёв, В. В. Рузанов

АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Сегодня для термоядерного сообщества России наиболее благоприятное время для развития и научных свершений. В поддержку исследований открыт и реализуется Федеральный проект «Разработка технологий управляемого термоядерного синтеза и инновационных плазменных технологий». Активное развитие технологий управляемого термоядерного синтеза повлекло за собой необходимость разработки высоконагруженных

обращенных к плазме элементов (ОПЭ) различных модификаций. ОПЭ в составе первой стенки и дивертора, могут подвергаться тепловым нагрузкам с плотностью поглощённой мощности 1–10 МВт/м² во время стационарной работы установки и до 20–25 МВт/м² в переходных процессах. Принимая во внимания эти факторы ОПЭ должны состоять или быть облицованы тугоплавкими материалами, устойчивыми к высоким тепловым потокам (W, Be, C и др.). Помимо использования тугоплавких материалов также необходимо принимать во внимание влияние распыленного (испаренного) материала облицовки на загрязнение плазмы, ведь загрязнение её тяжелыми элементами может привести к затуханию разряда. Для компенсации данного фактора необходимо использовать облицовочные материалы с низким Z: твердотельную облицовку (Be, C), либо возобновляемую облицовку (жидкий Li).

Концепция возобновляемой облицовки из жидкого Li на данный момент рассматривается как одна из наиболее перспективных в России и мировом сообществе. Рассматриваются концепция течения жидкого лития по поверхности ОПЭ, а также концепция «потеющей» стенки, основанной на капиллярном эффекте, и различные концепции композитных материалов с включением лития в их составе. Среди перечисленных вариантов АО «НИИЭФА» в настоящий момент участвует в развитии концепции ОПЭ с текущим слоем жидкого лития, в которой течение предполагается организовывать по активно охлаждаемой поверхности.

Как известно, участие России в международном проекте «ИТЭР» предполагает дальнейшее использование разработанных и полученных технологий в отечественном термоядерном проекте, однако конструкция ОПЭ проекта ИТЭР не позволяет использовать их в условиях контакта с литием, так как в конструкции используется большое количество материалов на основе меди, которая плохо совместима с жидким Li из-за высокой коррозионной активности в нём. Разработка ОПЭ, совместимых с использованием жидкого или парообразного лития является основной задачей данного исследования. На данный момент проведены разработки следующих модификаций ОПЭ:

- ОПЭ с плакировкой сталью по всей поверхности и медной матрицей в центре;
- стальной ОПЭ с вольфрамовой облицовкой;
- бронзовый ОПЭ с вольфрамовой облицовкой и защитным покрытием по необлицованным поверхностям.

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЕВОЙ ПЛАЗМЫ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО КАРБИДНОГО СЛОЯ ВОЛЬФРАМА

М. К. Скаков¹, А. Ж. Миниязов², И. А. Соколов^{2,3}, Т. Р. Туленберген^{2,3},
Е. А. Кожахметов^{2,3}, Ф. Қ. Жанболатова^{2,3}

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: miniyazov@nnc.kz

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия гелиевой плазмы с приповерхностным карбидным слоем вольфрама. Эксперименты по реализации параметров испытания проведены на плазменно-пучковой установке, где реализованы близкие условия взаимодействия плазмы с вольфрамовой облицовкой дивертора ИТЭР [1]. Применена технология плазменного облучения на линейном ускорителе.

Вольфрамовые образцы были установлены в мишенный узел, который размещался в камере взаимодействия. Ранее авторами были проведены работы по моделированию тепловой нагрузки на плазмообращенный вольфрам в условиях штатной эксплуатации ИТЭР [2]. В экспериментах реализовано воздействие гелиевой плазмы с температурами ~905 °С и ~1750 °С. Данные значения получены путем моделирования тепловой нагрузки на вольфрамовый моноблок дивертора ИТЭР в условиях плазменного облучения при тепловой нагрузке 10 МВт/м² и 20 МВт/м² соответственно. Поток ионов гелия на вольфрамовые образцы составил порядка $\geq 10^{22} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Проведены исследования структуры методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа. Получены данные изменения морфологии поверхности в результате эрозии.

Установлено значительное влияние карбидного слоя на процессы взаимодействия плазмы с вольфрамом. Наличие карбидного слоя при взаимодействии гелиевой плазмы с вольфрамом приводит к распылению углерода и диффузии его части вглубь образца. Слой из карбида вольфрама на основе WC, согласно полученным

результатам, имеет более слабое сопротивление гелиевому повреждению, чем чистый вольфрам. Увеличение температуры приводит к более обширному повреждению поверхности с образованием оплавленных и рекристаллизованных выступов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Patent RK na poleznuyu model № 2080. Imitatsionnyy stand s plazmenno-puchkovoi ustanovkoy / Kolodeshnikov A.A., Zuev V.A., Ganovich D.A., Tulenbergenov T.R. I dr. – opubl. 15.03.2017, Byul. № 5.
2. M. Skakov, G.K. Zhanbolatova, A.Zh. Miniyazov, T.R. Tulenbergenov, I.A. Sokolov, Ye. Sapatayev, Ye. Kozhakhmetov, O. Bukina, “Impact of High-Power Heat Load and W Surface Carbide Formation on its Structural-Phase Composition and Properties” Fusion Science and Technology, 77, 1, 57 (2021); <https://doi.org/10.1080/15361055.2020.1843885>.

КОМПОНЕНТЫ, ОБРАЩЕННЫЕ К ПЛАЗМЕ В ПРОЕКТЕ ТРТ: МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

П. Ю. Пискарев, И. В. Мазуль, А. Н. Маханьков,
Н. В. Литиновский, М. С. Колесник

АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В настоящий момент, в Российской Федерации ведётся эскизное проектирование установки Токамак с Реакторными Технологией (ТРТ) [1]. Основными особенностями ТРТ являются:

- использование высокотемпературных сверхпроводников в обмотках катушек полоидального и тороидального поля, что позволит достичь значения магнитного поля в 8 Тл на оси;
- использование технологий «увлечения тока» плазмы, что позволит достичь стационарного импульса длительностью 100 сек.;
- высокая средняя плотность мощности тепловой нагрузки на первую стенку (ПС) не менее $0,2 \text{ МВт/м}^2$ [2] и пиковая нагрузка до 25 МВт/м^2 в диверторе, что обусловлено большой мощностью дополнительного нагрева плазмы 40 МВт и относительной компактностью установки (площадь обращённой к плазме поверхности ПС около 80 м^2);
- использование литиевых устройств внутри вакуумной камеры [3], позволяющих управлять взаимодействием плазма-стенка, снижая объём поступающих в плазму примесей, и тем самым увеличивая длительность разряда.

Наиболее энергонапряженными компонентами конструкции ТРТ являются компоненты, обращённые к плазме (КОП), включающие панели первой стенки и кассеты дивертора. На начальной фазе эксплуатации ТРТ предполагается использование стартового комплекта КОП, основанных на материалах и технологиях ИТЭР, и постепенное введение в конструкцию ТРТ экспериментальных устройств. При этом стартовый комплект КОП изначально проектируется таким образом, чтобы эксплуатироваться в заданных условиях (тепловые нагрузки; взаимодействие с литием) и сценарных нагрузках (срыв тока плазмы и пр.).

В качестве защитной облицовки (обращённого к плазме материала) в первой стенке предварительно выбран бериллий, в диверторе – вольфрам. Плитки защитной облицовки присоединяются на поверхность теплоотводящего слоя из дисперсионно-твердеющего медного сплава БрХЦр методом высокотемпературной пайки. Для плиток из вольфрама, вследствие большой разницы коэффициентов линейного термического расширения с материалом теплоотводящего слоя, используется дополнительная прослойка из чистой бескислородной меди. Для предотвращения взаимодействия меди и медных сплавов с литием, планируется обеспечить их герметичную/квазигерметичную защиту со всех сторон тонкостенной оболочкой из нержавеющей стали, обладающей приемлемой коррозионной стойкостью в литии, а также различными защитными покрытиями. Для охлаждения КОП используется вода под давлением до 40 атм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красильников А.В. и др. Токамак с реакторными технологиями (TRT): концепция, миссии, основные особенности и ожидаемые характеристики – Физика плазмы, Т. 47, № 11, 2021, с. 970–985.
2. И.В. Мазуль и др. Обращённые к плазме компоненты токамака TRT – Физика плазмы, Т. 47, №. 12, 2021, с. 1103–1122.
3. А.В. Вертков и др. Сравнительный анализ концепций литиевой первой стенки для токамака реакторных технологий – Физика плазмы, Т. 47, №. 12, 2021, с. 1130–1145.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ

В. В. Рузанов, П. Ю. Пискарёв, А. А. Герваш, В. А. Васильев, М. Н. Большаков

АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Обращенные к плазме элементы (ОПЭ) современных и перспективных термоядерных реакторов типа токамак испытывают тепловые нагрузки с плотностью мощности до 20 МВт/м² и выше. ОПЭ подвержены воздействию потока заряженных частиц, ускоренных нейтральных атомов и быстрых нейтронов. Для работы в таких условиях конструкция ОПЭ должна представлять собой многослойную функциональную структуру из разнородных металлов, имеющую каналы охлаждения. В общем виде эта структура состоит из тепловоспринимающего, теплопередающего и структурного материала. В ИТЭР, а также в токамаке с реакторными технологиями (РТТ), сплав на основе меди CuCrZr используется в качестве теплоотводящего слоя, а аустенитная нержавеющая сталь 316L – в качестве структурного материала. Требования к герметичности и механической прочности материалов ограничивают выбор технологий получения соединения материалов. В классическом подходе к изготовлению многослойной конструкции используются несколько различных технологий соединения отдельных деталей: лазерная, электронная и аргоно-дуговая сварка, сварка взрывом, диффузионная сварка, пайка. Трудоемкость подготовительных работ и проведения последующего контроля качества соединений приводит к необходимости внедрения новых более эффективных методов изготовления многослойных ОПЭ. Перспективным направлением может являться селективное лазерное плавление (СЛП) в сформированном слое порошка в сочетании с обработкой методом горячего изостатического прессования (ГИП).

Целью данной работы являлось проведение анализа биметаллических (CuCrZr/316L) и стальных (316L и 12X18H10T) образцов, полученных методом СЛП. Образцы были исследованы при следующих состояниях: после СЛП; после СЛП + ГИП; до и после термической обработки на прочность медного сплава для образцов CuCrZr/316L. Применение ГИП позволяет снизить пористость и уменьшить анизотропию механических свойств материала, полученного методом СЛП. Исследование проведено с использованием следующих методов: оптическая и сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская энергодисперсионная спектроскопия, испытания на микротвердость, химический анализ оптико-эмиссионным методом, механические испытания на растяжение, геометрический контроль, вакуумные испытания на герметичность.

Результаты проведенной работы позволяют сделать вывод о том, что метод СЛП при современном уровне технологии позволяет получать качественные изделия из металлопорошковой композиции аустенитных нержавеющих сталей 316L и 12X18H10T. Однако, применение данного метода для изготовления биметаллических деталей, в частности, CuCrZr/316L, затруднительно ввиду наличия нерешенных проблем, связанных с разницей в теплопроводности и коэффициентах температурного расширения, поглощательных способностей лазерного излучения, перекрестным переносом частиц в процессе сплавления и некоторых других.

СТЕНД ДЛЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МОЩНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ, ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ, ЦЕФЕЙ-М

Р. В. Рулёв, В. Е. Кузнецов, В. В. Левичев, И. В. Мазуль, П. Ю. Пискарёв, В. Г. Серов

АО «НИИЭФА им. Д. В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В проектируемых термоядерных установках с магнитным удержанием плазмы и находящихся на стадии строительства, тепловые нагрузки на обращенные к плазме элементы первой стенки и дивертора могут варьироваться от 1 до 20 МВт/м². В качестве материала облицовки элементов, обращенных к плазме, применяются различные материалы, такие, как бериллий, вольфрам, графит, молибден и др. Изучение поведения элементов облицовки под действием интенсивных термоциклических нагрузок аналогичных тем, которые будут испытывать элементы первой стенки и дивертора, является ключевым этапом в выборе конструкторских и технологических решений при разработке внутрикамерных элементов термоядерных установок.

Для решения подобных задач в АО «НИИЭФА» в 1994 году был разработан и введен в эксплуатацию стенд тепловых испытаний «Цефей-М». За время своего существования стенд два раза подвергался глубокой модернизации: первый раз в 2008 году, когда была установлена новая электронно-лучевая система с максимальной мощностью 200 кВт и ускоряющим напряжением в 40 кВ производства фирмы Фон Арденн (Германия), второй раз в 2022 году, когда была установлена новая электронно-лучевая система с максимальной

мощностью 800 кВт и ускоряющим напряжением в 60 кВ производства той же фирмы. Одновременно с заменой электронно-лучевой системы в 2022 году были полностью заменены вакуумная камера и подвижный модуль для монтажа исследуемых макетов.

В качестве основных направлений деятельности стенда можно выделить следующие:

- проверка пригодности конструкторских и технологических решений, выбранных для производства компонентов диверторной кассеты и элементов первой стенки, обращенных к плазме;
- изучение повреждаемости различных материалов под воздействием аномально высоких поверхностных тепловых нагрузок, включая короткоимпульсные;
- изучение процессов интенсификации теплообмена при охлаждении водой или газом структур с односторонним поверхностным нагревом;
- изучение термостойкости и термоциклического ресурса многослойных конструкций, работающих в условиях больших градиентов температур;
- разработка и исследование технологических процессов, требующих высокого вакуума и температур, а также высоких скоростей нагрева и охлаждения;
- проведение имитационных испытаний и отработка вариантов конструкций, работающих в условиях интенсивного теплового воздействия.

В ближайшее время на стенде планируется модернизация различных систем охлаждения, внедрение автоматизированных систем наведения пирометров для повышения качества получаемых данных бесконтактного измерения температуры во время проведения тепловых испытаний, модернизация пультовой стенда для повышения качества и удобства проведения самих испытаний операторами стенда.

Все реализуемые нововведения позволят повысить качество проводимых испытаний, их безопасность, повысят надежность различных систем стенда и расширят его возможности в области проведения тепловых испытаний.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЫ И ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА БЕРИЛЛИЙ

М. К. Скаков¹, И. А. Соколов^{2,3}, А. Ж. Миниязов^{2,3}, Т. Р. Туленбергенов^{2,3}

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: sokolov@nnc.kz

В качестве обращенного к плазме материала первой стенки (FWP) в ИТЭР выбран бериллий. Данный выбор обусловлен его специфическими преимуществами, такими как низкий атомный номер, высокая теплопроводность, низкие характеристики химического распыления. Хотя бериллий имеет и некоторые недостатки: высокая эрозия, низкое сопротивление термической усталости, удержание изотопов водорода и др. Термическая усталость и сопротивление к растрескиванию являются очень важными факторами, поскольку растрескивание может привести к более высокой эрозии и снижению теплопроводности.

Таким образом, необходимо подробно изучить различные механизмы повреждения и поведения бериллия при распылении, эрозии и плавлении в результате термического и плазменного воздействий. Изучение эрозии бериллия при эксплуатации FWP является темой многочисленных исследований. Представленная работа проводилась для того, чтобы дать оценку срока службы материала в условиях эксплуатации ИТЭР. Тепловые нагрузки и плазменное воздействие экспериментально моделировались на плазменно-пучковой установке. В ходе экспериментов варьировались температура, длительность и количество импульсов.

Экспериментальные работы по тепловому и плазменному воздействию проводились с учетом построенной тепловой модели для многослойного компонента FWP при штатных нагрузках в ИТЭР 2 МВт/м² и 4,7 МВт/м². В работе исследовался бериллий казахстанского производства марки ТПП-56. Тепловое воздействие было реализовано электронным пучком, а плазменное облучение осуществлялось с применением водорода.

В итоге проведенных испытаний и после материаловедческого анализа приповерхностного слоя бериллиевых образцов можно сделать вывод о возможном применении материала данной марки в качестве FWP. В штатных условиях эксплуатации обнаружены лишь незначительные следы эрозии и только при 800 °C (4,7 МВт/м²). Повреждений в структуре материала не обнаружено и физические свойства материала не изменились.

ОТРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПИРОЛИЗОМ МЕТАНА В СВЧ РАЗРЯДЕ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М. К. Скаков¹, Т. Р. Туленбергенов^{2,3}, И. А. Соколов^{2,3}, А. Ж. Миниязов^{2,3}

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: tulenbergenov@nnc.kz

Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики. Так каждый метод позволяет повысить энергетическую безопасность или снизить зависимость от отдельных видов сырья. К ним относятся: паровая конверсия метана и природного газа; газификация угля; электролиз воды; пиролиз метана плазмой и т.д. [1].

Пиролиз метана является альтернативным подходом к получению водорода из природного газа без образования CO₂. Недостатком является лишь образование твердого углерода, но его захоронение или хранение не является технически сложной и социально чувствительной проблемой, поскольку он не является климатически агрессивным.

В СВЧ-разрядах энергия электромагнитных волн передается плазме. Под действием электрического поля электроны приобретают кинетическую энергию, которая затем в соударениях с ионами и атомами переходит в энергию теплового движения самих электронов и молекул, а также в энергию возбуждения частиц.

Все углеводородные соединения в большей или меньшей степени неустойчивы при высоких температурах, а при сильном прокаливании разрушаются. Метан при нагревании выше 1000 °С разлагается на углерод и водород [2].

Отработка способа получения водорода из метана осуществлялась на установке для прикладных исследований. Принцип ее работы основан на взаимодействии СВЧ-разряда с газом. В процессе проведения экспериментов контролировались расход газа и мощность магнетрона. Анализ продуктов реакции проводился с применением масс-спектрометрии и оптико-эмиссионной спектроскопии. В качестве рабочего газа была использована смесь из аргона и метана.

В результате проведенных экспериментальных работ масс-спектрометрический анализ показал, что при мощности СВЧ разряда в 1 кВт с отраженной мощностью 0,4 кВт происходит образование водорода. На основании оптического анализа можно утверждать, что в камере происходило разложение метана на радикалы СН, углерод и водород.

Исследования проведены в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки МНВО РК «Разработка технологии производства и хранения водорода для развития альтернативной энергетики в Республике Казахстан» ИРН:BR10965284.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cortazar O., MegiaMacias A., Tarvainen O., Vizcaino-de-Julian A., Koivisto H., Plasma distributions observed in a 2.45 GHz hydrogen discharge // Plasma Sources Sci. Technol.— 2014.— Vol. 23.— P. 12.
2. Жерлицын А.Г. Шиян В.П. и др. Получение углеродного наноматериала и водорода при совмещенном действии на природный газ плазмы СВЧ-разряда и металлического катализатора // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии.— 2011.— Т. 9.— №1.— сс. 167–174.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ

Е. А. Кожаметов, Н. М. Мухамедова, А. С. Уркунбай, А. Ж. Миниязов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

E-mail: urkunbay@nnc.kz

Водородная энергетика является перспективной альтернативой использованию невозобновляемых источников энергии. Наряду с этим возрастает интерес к интерметаллидным соединениям, поскольку хранение

и транспортировка водорода в химически связанном виде являются более безопасными, чем в жидком или газообразном состоянии. Среди множества материалов, сорбирующих водород, сплавы системы Ti-Al-Nb обладают одним из наиболее высоких сорбционных показателей.

На сегодняшний день одним из основных традиционных методов получения таких сплавов является технология плавки/литья, что приводит к сложностям в обеспечении однородности микроструктуры, состава и ограничивает последующее применение этих материалов.

В отличие от традиционных методов, порошковая металлургия позволяет улучшить сегрегацию компонентов и достичь однородной микроструктуры. Применение высокоэнергетического измельчения (ВИ) перед спеканием позволяет получать сплавы с мелкозернистой структурой, при этом сокращая время спекания сплавов. Однако ВИ – довольно сложный процесс, зависящий от ряда параметров, таких как скорость измельчения, материал измельчения и т.д.

При проведении ВИ частицы порошка в шаровой мельнице подвергаются высокоэнергетическому столкновению, что приводит к их холодной сварке и разрушению.

Проявление процессов холодной сварки и разрушения частиц на стадии ВИ, особенно для мягких материалов, является еще одной проблемой, которую предложено решить с использованием агентов управления процессом: стеариновой кислоты и жидкого толуола.

В ходе исследований было установлено, что эволюция морфологий частиц с применением стеариновой кислоты и жидкого толуола имела схожий характер. Эффект агента, как регулятора процесса стеариновой кислоты на эволюцию морфологии порошков был больше, чем у жидкого толуола, поскольку он эффективнее ингибировал процесс холодной сварки порошков. При высокоэнергетическом измельчении с применением толуола в течение 120 мин и 180 мин образуются нежелательные карбидные фазы.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

ИННОВАЦИИ И ДОСТИЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО РАЗМЫКАТЕЛЯ СИСТЕМЫ
БЫСТРОГО ВЫВОДА ЭНЕРГИИ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ КАТУШЕК
УСТАНОВОК УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Д. И. Алексеев¹, М. В. Карпишин¹, Ю. Н. Латманизова¹, М. В. Манзук¹,
С. М. Микляев², А. Г. Рошаль¹, А. И. Семенов¹, А. А. Солёный¹

¹ АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ЧУ «ИТЭР-Центр», г. Москва, Российская Федерация

Значительный скачок в развитии токамаков произошел в результате перехода от резистивных к сверхпроводниковым магнитным системам, что позволило существенно снизить энергозатраты на формирование и поддержание магнитных полей, и, одновременно, существенно увеличить уровень индукции в вакуумной камере. Однако, переход к сверхпроводниковым магнитным системам привел к необходимости создания коммутационных устройств, обеспечивающих быстрый (защитный) вывод энергии при появлении «нормальной фазы» – переходе сверхпроводников в нормально проводящее состояние.

Для обеспечения надежности быстрого вывода энергии в АО «НИИЭФА» разработан защитный размыкатель, предназначенный для работы в системах питания постоянного тока мощного электрофизического оборудования. Например, для реализации режима защитного вывода энергии магнитного поля, запасенной в сверхпроводниковых катушках электромагнитных систем (ЭМС) установок УТС, включая токамак ИТЭР.

Защитный размыкатель рассчитан на эксплуатацию при длительном протекании постоянного тока до 70 кА и напряжении до 20 кВ; время коммутации тока защитным размыкателем в шунтирующий резистор составляет менее 1 мс.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие характеристики защитного размыкателя для системы быстрого вывода энергии токамака ИТЭР, его надежность и работоспособность в аварийных режимах работы. В числе прочего, будут представлены результаты исследований в подтверждение коммутационной способности аппарата, а также по определению его предельных коммутационных параметров по величине энергии, выделяющейся в электрической дуге в процессе ее гашения. Конструкция защитного размыкателя защищена патентом РФ [1] и нашла свое применение в нескольких современных токамаках со сверхпроводниковыми магнитными системами, в частности: ИТЭР, JT-60SA и KSTAR [2–4].

Работа выполнена при поддержке Российского агентства ИТЭР в рамках бюджетного финансирования НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинпроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток ЭМС ИТЭР», в частности, работы 2023 годы выполнены во исполнение Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 (Государственный контракт № Н.4а.241.19.23.1014 от 18.01.2023).

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ на изобретение №2755454
2. M. Manzuk, et al., “The 70 kA pyrobreaker for ITER magnet back-up protection,” – Fusion Eng. Des., vol. 88, pp. 1537–1540, Oct. 2013.
3. E. Gaio, et al., “Full scale prototype of the JT-60SA quench protection circuits”, Fusion Engineering and Design, in: Proceedings of the 27th Symposium on Fusion Technology (SOFT-27), Liege, Belgium, October 24–28, 2012.
4. I. Song, D. Lee, “Upgraded KSTAR Toroidal Field Coil Quench Protection System” – IEEE Transactions on plasma science, vol. 48, issue 6, pp 1666–1669, June 2020

СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ С МАКЕТОМ МОДУЛЯ ЛИТИЕВОГО ДИВЕРТОРА ОХЛАЖДАЕМОГО ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСЬЮ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

И. Л. Тажибаева¹, Е. Ю. Тулубаев¹, В. С. Бочков¹, Ю. В. Понкратов¹,
Ю. Н. Гордиенко¹, А. Н. Служанов¹, А. С. Нагманов¹, Е. А. Мартыненко¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Преимущества литиевых КПС в качестве материалов, обращенных к плазме, было подтверждено множеством экспериментов с литиевыми устройствами в моделирующих условиях и в условиях действующих токамаков. Проведенные исследования в полной мере подтверждают, что литиевые внутрикамерные элементы способны к само регенерации и могут обеспечить в отличие от твердых материалов длительную стационарную работу токамака, но, к сожалению, не могут решить в полной мере проблему отвода больших тепловых потоков.

Как известно для дивертора на основе жидкого лития принципиально важным является также условие ограничения температуры приёмной поверхности на уровне не выше 700 °С, что при условии активного переосаждения испарённого лития позволит контролировать на приемлемом уровне его поток в плазму токамака. Отвод энергии от литиевого дивертора должен осуществляться с помощью специальной системы охлаждения. Проведённый анализ возможности использования традиционных теплоносителей (газообразный гелий, вода, жидкие металлы) для систем охлаждения термоядерных реакторов показал, что конвективный механизм теплоотвода, характерный для однофазных теплоносителей, не позволяет отвести столь мощные тепловые потоки при допустимых параметрах давления и расхода с соблюдением безопасного режима эксплуатации.

Одним из решений вышеуказанной проблемы стало инновационное предложение российских ученых использовать для охлаждения внутрикамерных устройств в установках управляемого термоядерного синтеза (лимитер, дивертор, первая стенка) мелкодисперсную смесь воды и газа с низкими значениями давления. Предварительные исследования эффективности и безопасности системы охлаждения с теплоносителем на основе парогазовой смеси были проведены в РФ в лабораторных условиях на модельных образцах внутрикамерных элементов, изготовленных из меди. После лабораторных исследований данный теплоноситель впервые на практике был использован для охлаждения лимитера, с приёмной поверхностью на основе КПС, заполненной оловом, при проведении плазменных экспериментов на токамаке FTU (Италия). Как показали проведенные исследования использование мелкодисперсного парогазового диспергированного потока, обладающего высокими теплофизическими характеристиками, позволяет снизить давление в трактах охлаждения.

Так как в настоящее время имеется ограниченное количество данных по применению парогазовой смеси для охлаждения внутрикамерных элементов термоядерного реактора, целесообразно перед проведением подобных исследований на казахстанском токамаке КТМ первоначально отработать методику в стендовых условиях.

Соответственно для проведения экспериментальных исследований был создан стенд на основе электродугового газового плазматрона, обеспечивающего тепловые потоки на поверхность макета до 5 МВт/м² и система охлаждения макета МЛД на основе парогазовой смеси низкого давления. Использование газового плазматрона позволит проводить экспериментальные исследования в атмосфере воздуха при нормальных условиях, что существенно упростит и обеспечит гибкость методики. В работе представлена схема стенда, подробно описаны основные системы стенда и их параметры.

Работа выполняется при поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан (ИРН – BR09158585 НТП «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ»).

РАЗРАБОТКА И ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННО-АКТИВНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-Al-Nb ДЛЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

М. К. Скаков¹, А. Ж. Миниязов², Е. А. Кожаметов², Н. М. Мухамедова²

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов. Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов. Казахстан

В настоящее время во всём мире наблюдается повышенный интерес в научном, инструментальном и технологическом аспектах к глобальному переходу на водородную энергетику, где ключевыми моментами становятся технологии производства, хранения, транспортировки и извлечение водорода. Вопросы создания

технологий хранения и транспортировки водорода интенсивно изучаются ведущими специалистами различных стран и уже нашли практическое применение.

В связи с вышеописанным данная работа посвящена исследованию структурно-фазового состояния сорбционно-активных материалов на основе системы Ti-Al-Nb, полученных из элементарных порошков путем комбинирования технологических процессов. Особое внимание уделено изучению особенностей структуро- и фазообразования сплавов на основе системы Ti-Al-Nb в процессе искроплазменного спекания и термоциклирования в среде водорода.

В процессе реализации экспериментально-исследовательских работ были получены следующие результаты:

- определены оптимальные параметры процесса механоактивации порошковых смесей системы Ti-Al-Nb, позволяющие получить систему с большой запасенной энергией, которая в совокупности с большой контактной поверхностью между компонентами порошковой смеси обеспечивает высокую реакционную способность системы при последующем спекании. Процесс обработки включает длительность процесса МА в среде аргона в течение 20 мин и 180 мин с интенсивностью вращения барабана планетарной мельницы 650 об/мин и 350 об/мин, соответственно;
- установлено, что искровое плазменное спекание механоактивированной порошковой композиции системы Ti-Al-Nb в течении 5 мин при 1300 °С приводит к образованию сплошной макроднородной, преимущественно двухфазной (B_2+O) структуры с высоким содержанием орторомбической NbAlTi₂-фазы;
- экспериментально доказана высокая термическая стабильность структурно-фазового состояния и сорбционных свойств (1,91 мас.%) двухфазного ($O+B_2$) сплава системы Ti-Al-Nb при многократных высокотемпературных (500–600 °С) процессах сорбции/десорбции водородом.

Исследования проведены в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки МНВО РК «Разработка технологии производства и хранения водорода для развития альтернативной энергетики в Республике Казахстан» ИРН:BR10965284.

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ И ТРИТИЯ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЕББЛОВ Li_2TiO_3 ПРИ ФЛУКТУАЦИЯХ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА

Тимур Кульсартов^{1,2}, Жанна Заурбекова^{1,2}, Евгений Чихрай²,
Инеш Кенжина^{3,4}, Саулет Аскербеков^{2,3}, Асет Шаймерденов³

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

³ РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

⁴ Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

Функционирование термоядерных реакторов, в основе работы которых лежит реакция синтеза дейтерия и трития ($D + T \rightarrow He + n$) с образованием гелия и нейтрона с энергией 14,1 МэВ, требует обязательной наработки трития в самой установке, так как в природе тритий не распространен. Производство трития в установке является ключевой функцией так называемого бридерного blankets термоядерного реактора, в частности реактора ДЕМО.

Метатитанат лития Li_2TiO_3 имеет отличные показатели выделения трития, а также хорошие теплофизические и термомеханические характеристики. Наиболее важным свойством керамики является ее способность противостоять воздействию длительного высокоэнергетичного излучения при высоких температурах и больших температурных градиентах. Присущие ей термическая стабильность и химическая инертность являются значительными преимуществами с точки зрения безопасности.

Данная статья является продолжением серии работ по анализу выделения трития и гелия из метатитаната лития Li_2TiO_3 с обогащением 96% по изотопу литий-6 во время облучения на реакторе ВВР-К методом вакуумной экстракции. Было установлено, что в процессе облучения наблюдаются пиковые выделения гелия из вскрываемых закрытых пор керамики на протяжении первых 7 дней облучения. Причиной растрескивания образцов являются температурные градиенты по образцу керамики, возникающие в результате внутреннего разогрева пэбблов в условиях их вакуумной откачки и контакта с дном откачиваемой капсулы. Также были определены температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии трития в керамике на момент окончания облучения и параметры диффузии гелия.

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НИЗКО-ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКЕ

А. Ж. Миниязов^{1,2}, Ә. Ж. Қайырбекова^{1,2}, Т. Р. Туленбергенов^{1,2},
Ғ. Қ. Жанболатова¹, О. А. Степанова²

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: kaiyrbekova@nnc.kz

В настоящее время проводится множество исследований, связанных с взаимодействием плазмы с конструкционными материалами первой стенки и дивертора международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР на действующих токамаках и имитационных плазменных установках. В частности, исследования ведутся на плазменно-пучковой установке (ППУ), которая создана в поддержку Казахстанского материаловедческого токамака (КТМ). На ППУ возможно проводить испытания кандидатных материалов и наладки оборудования КТМ. Данный стенд также позволяет проводить тестирование методик измерения параметров плазменно-пучкового разряда (ППР) в условиях воздействия плазменного потока на материалы.

При исследовании взаимодействия плазмы с поверхностью кандидатных материалов ТЯР важную роль играют ее параметры: концентрация (n_e) и температура заряженных частиц (T_e), а также функция распределения различных компонентов плазмы по энергиям. Одним из основных приборов диагностики плазмы является электрический зонд. В простейшем варианте измеряется зависимость тока на зонд от приложенного к нему напряжения, т.е. измеряется вольт-амперная характеристика зонда.

В рамках данной конкурсной работы были проведены экспериментальные работы по определению локальных параметров (n_e, T_e) низкотемпературной плазмы в радиальном направлении на ППУ с помощью подвижного зонда Ленгмюра. Перемещение зонда осуществлялось перпендикулярно первичному электронному пучку. Электрическая развертка зонда осуществлялась с помощью пикоамперметра Keithley 6487.

Обработка вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилась стандартными методами в программном обеспечении для анализа и визуализации научных данных QtiPlot. Результаты экспериментов показали уменьшение плотности плазмы с увеличением расстояния от центра оси ППР.

ГИБРИДНЫЙ КОММУТАЦИОННЫЙ АППАРАТ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ КОММУТАЦИИ ТОКА ДЛЯ УСТАНОВОК УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Ю. Н. Латманизова¹, Д. И. Алексеев¹, М. В. Карпишин¹, М. В. Манзук¹,
С. М. Микляев², А. Г. Рошаль¹, А. И. Семенов¹, А. А. Соленый¹

¹ АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ЧУ «ИТЭР-Центр», г. Москва, Российская Федерация

Сверхпроводниковые катушки электромагнитных систем (ЭМС) современных токамаков, таких как ИТЭР, работают на постоянном токе и характеризуются энергоемкостями на уровне единиц и десятков ГДж. Реализация сценарных режимов работы подобных ЭМС, обеспечивающих поддержание горения плазменного шнура, требует уникального уровня мощностей как для быстрого подъема тока в начальной части импульса, так и для его поддержания на площадке. Как следствие, требования к источникам питания ЭМС становятся практически нереализуемыми при использовании традиционных подходов.

Для реализации сценариев работы ЭМС предусматривается оперативная коммутация тока в цепях её электропитания. В связи с этим, появляется необходимость в быстродействующих коммутационных аппаратах постоянного тока, способных выполнять переключения в цепях при протекании токов величиной в десятки килоампер.

Коммутация постоянных токов такой величины в цепях с большой индуктивностью представляет собой сложную инженерную и научно-техническую задачу, решение которой с использованием стандартных промышленных образцов электротехнического оборудования не представляется возможным.

Для обеспечения режимов коммутации постоянного тока в процессе инициирования плазменного разряда в токамаке ИТЭР в АО «НИИЭФА» разработаны многоступенчатые гибридные коммутационные аппараты (размыкатели), входящие в состав системы оперативной коммутации тока. Основой гибридного размыкателя являются аппараты с электро-пневмодинамическим приводом, которые обеспечивают бездуговую коммутацию тока в цепь энергопоглощающего резистора с использованием двухступенчатого импульсного коммутатора.

В данной работе представлены результаты испытаний системы оперативной коммутации тока, подтверждающие работоспособность оборудования и достижение требуемых технических характеристик в части отключающей способности, скорости срабатывания, электродинамической стойкости и пр.

Работа выполнена при поддержке Российского агентства ИТЭР в рамках бюджетного финансирования НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток ЭМС ИТЭР», в частности, работы 2023 годы выполнены во исполнение Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 (Государственный контракт № Н.4а.241.19.23.1014 от 18.01.2023).

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Roshal et al, "Design and analysis of Switching Network Units for the ITER coil power supply system", Fusion Engineering and Design, Volume 86, issues 6–8, pp. 1450–1453.
2. M. Manzuk et al.: "Type tests of switches for the ITER coil power supply system", Fusion Engineering and Design, volume 124, pp. 35–39. 2017.
3. V. Bedran, D. Alekseev, N. Gubanova, A. Leonteva, A. Roshal, K. Bestuzhev, F. Milani, S. Miklyaev, "Type tests of the ITER switching network unit components and protective make switches", Fusion Engineering and Design 146, May 2019.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОЙ КПС В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ ДЕЙТЕРИЕВОЙ ПЛАЗМОЙ

Ю. В. Понкратов¹, К. К. Самарханов¹, Ю. Н. Гордиенко¹, Е. Ю. Тулубаев^{1,2},
В. С. Бочков¹, Э. Сапарбек^{1,2}, И. А. Соколов^{1,3}, Т. Р. Туленбергенов^{1,3},
Е. А. Мартыненко^{1,4}, О. С. Букина¹, Н. А. Оразгалиев¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

³ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

⁴ Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Для решения задач обеспечения тритиевой безопасности в условиях применения оловянно литиевых систем на основе капиллярно-пористой структур (КПС) в элементах конструкции ТЯР необходимы знания о взаимодействии изотопов водорода с этими, обращенного к плазме материалами [1]. К настоящему времени имеются немногочисленные экспериментальные данные таких исследований в мире, поэтому существует дефицит информации о параметрах взаимодействия оловянно-литиевой КПС с изотопами водорода в условиях высоких тепловых, радиационных и плазменных нагрузок.

В работе представлены результаты испытанию оловянно-литиевой КПС в условиях облучения дейтериевой плазмой с плотностью пучка ионов порядка $3 \cdot 10^{17} \text{ D}^+/\text{м}^3$. Образец оловянно-литиевой КПС заключался в матрице из молибдена, заполненную сплавом $\text{Sn}_{73}\text{-Li}_{27}$. Облучение образца КПС проводилось на плазменно-пучковой установке (ППУ) [2]. В работе приводится описание разработки технологии и процедур изготовления исследуемого образца, разработки методики и проведении экспериментов по облучению оловянно-литиевой КПС дейтериевой плазмой. В результате проведенных экспериментов были получены зависимости температуры исследуемого образца от энергии контактирующей с КПС плазмы, зависимость изменения парциального давления дейтерия в разрядной камере ППУ в зависимости от температуры оловянно-литиевой КПС, оптические спектры и графики зависимости интенсивности излучения от температуры. Также были проведены пост экспериментальные материаловедческие исследования облученного образца оловянно-литиевой КПС и получены результаты микроструктурного, термического и рентгенофазового анализа. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что энергия дейтериевой плазмы, высаживаемая на оловянно-литиевом сплаве «переизлучается» в энергию оптического излучения на испаряющихся нейтральных атомах лития и олова. В свою очередь полное испарение сплава из КПС, при взаимодействии с дейтериевой плазмой, приводит к частичному разрушению металлической матрицы из молибдена.

Работа выполнена при поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан в рамках программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан на 2021–2023 годы» (ИРН– BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Tazhibayeva, Yu. Ponkratov, et. al. Study of liquid tin-lithium alloy interaction with structural materials of fusion reactor at high temperatures, 2022. *Nucl. Mater. Energy*. 30, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2022.101152>
2. M. Skakov, E. Bатырбеков, et. al. Influence of Hydrogen Plasma on the Surface Structure of Beryllium. *Materials*. 2022, 15(18):6340. <https://doi.org/10.3390/ma15186340>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ КОРРОЗИОННОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА С НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛЬЮ И ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ

Ю. В. Понкратов^{1,2}, Э. Сапарбек^{1,2}, В. С. Бочков¹, Ю. Н. Гордиенко¹, Е. Ю. Тулубаев^{1,2},
Н. А. Оразгалиев¹, Б. Т. Оразымбеков¹, Е. Б. Арынгазы¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

К настоящему времени имеется ограниченная информация экспериментальных исследований по коррозионному взаимодействию кандидатного материала обращенного к плазме материала (ОПМ) [1, 2] на основе оловянно-литиевого сплава с кандидатными материалами матрицы капиллярно-пористой структуры (КПС), соответственно, остается открытым вопрос о коррозионной совместимости кандидатных материалов матрицы КПС с жидким оловянно-литиевым сплавом.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению коррозионной совместимости кандидатных материалов матрицы КПС с жидким оловянно-литиевым сплавом в процентном соотношении Sn₇₅-Li₂₅ в температурном интервале от 600 °С до 1000 °С. В качестве кандидатных материалов матрицы КПС были выбраны и испытаны: аустенитная нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т, ванадий марки ВЭЛ-3 и тантал марки ТТ. Эксперименты по взаимодействию жидкого сплава Sn₇₅-Li₂₅ с кандидатными образцами матрицы КПС при высоких температурах проводились на экспериментальной установке ТиГра [3], созданная на базе термогравиметрического анализатора TGA/DSC 3+.

На основании полученных результатов были определены тепловые эффекты процессов, протекающих в результате взаимодействия сплава с кандидатными материалами матрицы КПС. В результате анализа полученных результатов выявлено, что при взаимодействии исследуемых материалов с жидким оловянно-литиевым сплавом Sn₇₅-Li₂₅ при высоких температурах происходят сложные физико-химические процессы, основными которые являются: селективное растворение компонентов жидким сплавом (растворителем); проникновение компонента жидкого сплава (олова) в глубь нержавеющей стали; массоперенос растворенных металлов из твердого металла в жидкий.

Работа выполнена при поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан в рамках программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан на 2021–2023 годы» (ИРН– BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Tazhibayeva, et. al. Study of liquid tin-lithium alloy interaction with structural materials of fusion reactor at high temperatures, 2022. *Nucl. Mater. Energy*. 30, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2022.101152>
2. V. Budaev, et al. 2019. Experiments with tin liquid-metal capillary porous system in the PLM device. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1370, 012042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1370/1/012042>
3. Y. Ponkratov, V. Bochkov, K. Samarkhanov, I. Karambayeva and Askerbekov S., Methodology of Corrosion Testing of Nuclear and Fusion Reactors Materials Using TGA/DSC and MS Complex Techniques, 2019. *Eurasian Chem.-Technol. J.*, 21, 35–40. <https://doi.org/10.18321/ectj787>

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ СИСТЕМОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЦР НАГРЕВА ТОКАМАКА КТМ

А. В. Гулькин¹, Б. Ж. Чектыбаев², А. Н. Сатибеков², А. Т. Кусаинов²,
Қ. Жәніс², Н. В. Сахаров³, В. Б. Минаев³, Н. Н. Бахарев³

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

³ ООО Иоффе Фьюжн Текнолоджи, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе представлены результаты анализа эффективности нагрева плазмы системой ионно-циклотронного (ИЦ) нагрева токамака КТМ.

Моделирование проводилось для концентраций водорода к дейтерию $X[H] = 1\%$, что соответствует режиму нагрева на малой добавке, а также для $X[H] = 20\%$ и $X[H] = 40\%$, соответствующих режиму трансформации мод.

По результатам моделирования, рекомендуется обратить внимание на диапазон парциальных концентраций $X[H]$, начиная от 20% и до 1% , при частоте в 14 МГц и поле в 1 Тл , так как в таком случае резонансный слой будет расположен ближе всего к оси, в которой происходит наилучшее удержание частиц, и, соответственно, эффективнее происходит нагрев плазмы.

Вопрос об эффективности нагрева при значениях концентраций $X[H]$ в диапазоне от 20% до 50% остается нерешённым и требует проведения дополнительного исследования для получения более точных результатов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-11-2021-076 от 27 сентября 2021 г.).

УСТРОЙСТВО ЯДРА, ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Д. М. Таниев

ИП «Таниев Д. М.», г. Павлодар, Республика Казахстан

Геометрические построения элементарных частиц с анализом данных астрофизических объектов дало понятие об образовании кварков, протонов, нейтронов, нейтрино, электронов, фотонов и их античастиц. Также, объясним комфайнмент кварков из геометрического построения этих частиц. Возьмем ядро протия (протон) оно построено из 3 кварков. Данное построение происходит при взрывах сверхновых 1 и 2 типа, также возможно в звездах. Так как, для этого построения нужны 3 нейтрино и позитрон (в случае с антипротоном три антинейтрино и электрон). В моем понимании частица нейтрино происходит из частицы фотон, но геометрические построения у них разные. Если у фотона две разные половины полузаряда (электрона и позитрона), вращаются друг вокруг друга, то в нейтрино положительный полузаряд находится внутри отрицательного полузаряда, этим и объясняется компактность частицы нейтрино и скрытие ее энергии, (что объясняет «проблему космологической постоянной»), данное построение происходит при сильном сжатии, при взрывах сверхновых 1 и 2 типа. 3 частицы нейтрино реагируют своими отрицательными внешними зарядами с позитроном с выделением 1 протона и 1 или 2 фотонов. Данная реакция с выделением 2 фотонов по дефекту масс потребляет $936,7\text{ МэВ}$. Как видим, в протоне остается 3 положительных полузаряда и один отрицательный полузаряд (3 частицы нейтрино с объединенными отрицательными сторонами), что и объясняет конфайнмент протона, таким образом, протон является частицей с недостатком заряда электрона и поэтому не может распадаться при обычных условиях. Распад протона идет на начальной стадии «сингулярности», при сжатии и попадании внутрь протона электрона происходит распад протона на 3 нейтрино. Для подтверждения механизма конфайнмента можно привести распады Тау-лептонов. Распадаются они по причине разных видов нейтрино (нейтрино и антинейтрино) в их построении, что не дает объединиться им в кварковое «трио» (наружные заряды не совпадают и реакция не идет). Если для получения протона поглощается позитрон, то для получения нейтрона 3 протона поглощают электрон, таким образом, построения атомного ядра в термоядерных реакциях идет с поглощением электронов. Так как, у протона снаружи 3 положительных полузаряда, то он может образовать 3 нейтрона вокруг себя. В строении ядра атома отличаются только дейтерий и тритий у них есть «свободные концы» (возможно и ядра тяжелее фтора, до фтора мои построения ядер не видят таких строений). Мои построения ядер атомов и термоядерных реакций дают понять, что дейтерий тритиевая смесь может давать разнотипные термоядерные реакции, которые дают то прибавление, то убавление энергии выхода. Думаю, надо подобрать менее разветвленные типы термоядерных реакций, чтобы иметь устойчивость термоядерной дуги.

Рассмотрим подтверждение образования частиц нейтрино из фотонов. Тау лептон был открыт в 1975 году на электрон-позитронном коллайдере SLAC (Стенфорд, США) М. Перлом и сотрудниками, образование Тау-лептонов произошло в результате столкновения пучков быстрых электронов и позитронов. Рассмотрим возможные происходящие реакции электрон и позитрон дают 2 фотона, данные фотоны в результате упругого столкновения других электронов и позитронов могут превратиться в нейтрино и антинейтрино, что при взаимодействии с электронами и позитронами пучков дает положительный и отрицательный Тау-лептоны.

По моим наработкам можно ввести закон построения ядер элементов: Рост ядер выше водорода может быть только за счет ядер со «свободными концами», либо элементов ядер, имеющих «свободный конец», стабильные ядра имеют тройные сцепки нейтронов.

Литература

1. Wikipedia – свободная энциклопедия. <https://www.wikipedia.org>
2. Выступления и лекции д.ф.-м.н. С. Попова, д.ф.-м.н. Д. Казакова, д.ф.-м.н. В.А.Рубакова, д.ф.-м.н. Э. Ахмедова на канале ПостНаука. <https://postnauka.org>

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Т. Р. Туленбергенов^{1,3}, М. К. Скаков², Б. Ж. Чектыбаев¹, И. А. Соколов^{1,3},
Г. Қ. Жанболатова¹, Р. Наурызбаев¹, А. Ж. Миниязов¹, А. В. Градобоев⁴

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей, Республика Казахстан

⁴ НИ «Томский политехнический университет», г. Томск, Российская Федерация

E-mail: tulenbergenov@nnc.kz

Современные методы диагностики плазмы весьма разнообразны. Однако, на сегодняшний день надежным методом, позволяющим определять основные характеристики плазмы, такие как концентрация плазмы и электронная температура, является диагностика на основе электрического зонда.

В данной работе представлены этапы разработанной нами автоматизированной системы на основе электрического зонда для возможности исследования радиального распределения температуры и концентрации плазмы на плазменно-пучковой установке (ППУ).

Создание автоматизированной системы измерения, регистрации, обработки зондовой вольт-амперной характеристики (ВАХ) и расчета локальных параметров плазмы в режиме реального времени включало в себя следующие этапы:

- разработка подвижного ввода зонда с системой позиционирования;
- разработка системы развертки зонда с использованием пикоамперметра Keithley 6487;
- разработка программного обеспечения для управления системами развертки и позиционирования зонда с интеграцией в информационно-измерительную систему (ИИС) ППУ для управления системами развертки и перемещения зонда;
- разработка и интеграция в ИИС ППУ программного алгоритма для автоматического режима обработки ВАХ и вывода параметров плазмы в режиме реального времени.

Таким образом, разработанная нами автоматизированная система позволяет определять параметры низкотемпературной плазмы в режиме реального времени в радиальном направлении в зависимости от следующих параметров плазменно-пучкового разряда:

- мощность электронного пучка при постоянном давлении рабочего газа;
- давление рабочего газа при постоянной мощности электронного пучка;
- расстояние от центра оси плазменно-пучкового разряда при неизменном давлении и мощности электронного пучка.

Данная работа выполнена в рамках грантового финансирования Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Создание комплексной системы диагностики и контроля плазмы на основе бесконтактных и контактных методов измерения», ИРН: AP13068552.

ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА МОЛЕКУЛЯРНОГО ПУЧКА

А. А. Туркач^{1,2}, Т. А. Сегеда², М. К. Бекмулдин¹, Э. Еділұлы¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Республика Казахстан

² Восточно-Казахстанский технический университет им. Даулета Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

После десятилетней практики для подачи топлива в термоядерные установки был разработан газодинамический источник (ГДИ) сверхзвуковых (скорость звука для потока водорода при нормальных условиях равна 1284 м/с [1]) молекулярных пучков, эффективность которого была проверена на китайском токамаке HL-1M. ГДИ увеличил глубину проникновения и интенсивность топливных частиц (сравним с пеллет-инжекцией [2]), но превосходит по эффективности традиционный газонапуск. Дальнейшим развитием исследований явилось создание многоимпульсного источника сверхзвуковых молекулярных пучков с высоким давлением в камере сопла, в котором использовались преимущества конденсированных кластеров, являющихся по сути микротаблетками. Для увеличения размеров кластеров необходимо непрерывно увеличивать давление газа в камере сопла и уменьшать значение его температуры. Напротив, для увеличения эффективности инжекции, нужно повышать значение температуры газа, чтобы увеличить скорость пучка. Поэтому оптимальные значения температуры и давления определяются по результатам экспериментов. Следует отметить, что интенсивность импульсных источников может на два порядка превышать интенсивность непрерывных источников, при этом требования к системе откачки газодинамического источника намного меньше, так как существенно уменьшен расход газа по сравнению с расходом от непрерывного источника.

Для достижения стабильного рабочего режима токамака КТМ необходимо во время разряда поддерживать постоянным общее число частиц плазмы, то есть проводить подпитку плазмы (компенсировать потери), поскольку во время разряда плазмы в токамаке КТМ происходит утечка заряженных частиц из плазмы в основном в диверторную область. В качестве системы подпитки, а также гашения плазмы, предлагается использовать на установке КТМ газодинамический источник молекулярных газовых пучков.

В рамках проведенных работ по теме исследования, была разработана система изменения плотности плазмы на основе газодинамического источника молекулярного пучка, предназначенная для подпитки и гашения плазмы на токамаке КТМ. Проведены экспериментальные исследования по определению параметров молекулярного потока водорода с давлением перед сверхзвуковым соплом, равным 5 МПа и 6 МПа. В результате проведенных исследований были достигнуты параметры струи газа выше, чем параметры плазмы в токамаке КТМ. Полученные данные показывают возможность применения газодинамического источника молекулярного газового потока для отработки режимов подпитки и гашения плазмы на токамаке КТМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М. Прохорова. Физическая энциклопедия, скорость звука // под. ред. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 4.
2. Lianghua Yao, Jiafu Dong, Yan Zhou, Beibing Feng, Jianyong Cao, Wei Li, Zhen Feng, Jiquan Zhang, Wenyu Hong, Zhengying Cui, Enyao Wang and Yong Liu. High performance experiments on high pressure supersonic molecular beam injection in the HL-1M tokamak. – Nuclear Fusion, Volume 44, Number 3, February 2004, p. 420–426.

КАТАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ СОСТАВА $\text{Sr}_{0.5}\text{Ba}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{2.78}$ ДЛЯ СИНТЕЗА И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Ж. З. Шерматов¹, М. С. Пайзуллаханов¹, М. Х. Арипова², О. Т. Ражаматов¹,
А. М. Живулько³, И. И. Макоед⁴, В. Р. Соболев⁵, К. И. Янушкевич³

¹ Институт материаловедения Академии наук РУ, г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент, Республика Узбекистан

³ ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь

⁴ Брестский государственный педагогический университет, г. Брест, Республика Беларусь

⁵ Минский государственный педагогический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Использование энергии солнечного излучения для получения водорода несомненно актуально. В связи с ростом мирового энергопотребления разработка новых составов катализаторов, технологических подходов и конструкций для топливно-энергетической отрасли является важной задачей химии и физики конденсированного состояния. Хранение газообразного водорода в баллонах при относительно высоких давлениях не является

безопасным. С другой стороны, хранение водорода в жидком состоянии в специальных резервуарах при температурах жидких азота и гелия требует значительных энергетических затрат. Поэтому интенсивно ведутся исследования в направлении разработок хранения водорода в химически-связанном состоянии в металлах. Среди искомых решений хранение водорода путём адсорбции в пористых веществах является одним из ведущих направлений исследований во многих лабораториях. Относительно небольшие по удельному весу и простые по химическому составу абсорбенты водорода на стадии эксперимента включают наноструктурированные мезопористые карбоновые материалы, пористые металлоорганические каркасы. Одной из главных проблем использования большинства абсорбентов молекулярного водорода заключается в том, что энергия взаимодействия твёрдого тела с газом мала, чтобы можно было удерживать необходимое количество газа (не менее 7 мас. %) при температуре окружающей среды. Из-за достаточно высокой плотности металло-силикатного каркаса, сами по себе цеолиты вряд ли могут высокоэффективно обеспечить хранение и транспортировку водорода. Но ряд особенностей кристаллической структуры и лёгкий ионный обмен делают цеолиты перспективными материалами для систематических исследований водородных связей на относительно большом количестве катионов металлов. Подобные модельные представления, несомненно, имеют достаточно большой потенциал для облегчения понимания в поиске наиболее перспективных абсорбентов водорода. Одним из безопасных способов хранения водорода является использование пористой керамики на основе физической сорбции водорода в порах посредством сил Ван-дер-Ваальса. Аспектное число, определяемое отношением массы поглощённого водорода к массе абсорбера, в случае пористой керамики находится в сильной зависимости от состава, степени пористости, а также особенностей зернистости керамического вещества абсорбера.

Анион-дефицитные структуры на основе $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$, синтезированные авторами из расплава с использованием Большой солнечной печи института материаловедения Республики Узбекистан в потоке концентрированного солнечного излучения $100\text{--}200\text{ Вт/см}^2$, кристаллизуются в кубической сингонии типа перовскита с параметром элементарной ячейки $a = 4,04\text{ \AA}$. Эксперимент показал, что этот состав может быть использован в качестве катализатора при получении водорода и синтез газа посредством риформинга при окислении метана. С другой стороны, состав $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$ многофункционален, поскольку перспективен при разработке СВЧ управляемых приборов. Объединение этих двух важных качеств сложного состава $\text{Sr}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-z}$ может иметь практическую значимость и реализацию в технических изделиях.

Авторы выражают благодарность Министерству инновационного развития Республики Узбекистан за финансовую поддержку исследований в рамках грантов AL-4821023123-son, IL-4821091562-son и БРФФИ Республики Беларусь, проект T22УЗБ-045.

Секция 3

РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА



STS-2023

Section 3

RADIATION ECOLOGY AND MEDICINE

ИНСТИТУТУ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ 30 ЛЕТ. ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. О. Айдарханов

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Институт радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ) является одним из ключевых исследовательских центров, созданных после закрытия Семипалатинского испытательного полигона (СИП). СИП, расположенный в Казахстане, был одним из крупнейших ядерных полигонов в Советском Союзе, где проводились ядерные испытания. Однако, осознавая опасность радиационных воздействий на окружающую среду и здоровье людей, Президент Республики Казахстан Нурсултан Назарбаев подписал указ о закрытии СИП в 1991 году. В 1992 году было принято Постановление Кабинета Министров РК о создании Национального ядерного центра РК и Агентства по атомной энергии РК, а в 1993 году ИРБЭ был включен в состав Национального ядерного центра РК.

Основной целью работы Института стало получение актуальных данных о радиационной обстановке на территории СИП и его окрестностях. СИП имеет огромную территорию, а проведенные на нем испытания охватывали широкий спектр радиационных ситуаций и условий. В рамках исследований изучались все компоненты окружающей среды, включая почву, воздух, воду, растительные и животные популяции, а также оценивались дозовые нагрузки на человека. Сегодня можно с уверенностью сказать, что первоочередные задачи, поставленные перед Институтом радиационной безопасности и экологии, успешно выполнены. Инфраструктура, созданная для проведения ядерных испытаний, полностью ликвидирована и приведена в безопасное состояние. Проведено комплексное экологическое обследование всей территории СИП, что позволило выявить все значимые участки радиоактивного загрязнения. Кроме того, установлены концентрации техногенных радионуклидов в основных средах окружающей среды и выявлены основные пути и механизмы миграции радиоактивных веществ.

Получить такой объем данных за 30 лет было бы невозможно без четкой и слаженной работы высококвалифицированного коллектива Института радиационной безопасности и экологии, а также всего Национального ядерного центра РК. Благодаря опыту, приобретенному при проведении работ на СИП, и наработанным компетенциям, Институт стал ведущим предприятием в области радиоэкологии. Одним из ключевых достижений Института является восстановление инфраструктуры и создание уникальной лабораторно-аналитической базы. Она является лучшей в стране и, возможно, на всем постсоветском пространстве. Это позволяет проводить качественные исследования и обеспечивать надежную оценку радиационной безопасности. Институт радиационной безопасности и экологии играет важную роль в обеспечении безопасности населения и окружающей среды от радиационных рисков. Его работа направлена на постоянное мониторинговое исследование радиационной обстановки, разработку и реализацию мер по предотвращению и минимизации радиационных последствий. Благодаря такой деятельности Институт способствует созданию безопасной и здоровой среды для всех жителей Казахстана.

ХАРАКТЕР ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КОМПОНЕНТАХ ЭКОСИСТЕМ ВОДОЕМОВ ТЕРРИТОРИИ СИП

А. К. Айдарханова, Ж. Е. Тлеуканова, Н. В. Ларионова, А. С. Мамырбаева, Р. Г. Ермакова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика
Казахстан*

Важную роль в радиоэкологических исследованиях играет изучение перераспределения радионуклидов по основным компонентам водных экосистем. Целью данной работы является оценка характера перераспределения радионуклидного загрязнения в системе «донные отложения – вода – растения» водоемов бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

Объектами исследования являлись водоемы территории СИП техногенного и природного происхождения. Водоемы техногенного происхождения – это воронки, образованные в результате проведения ядерных

испытаний и заполненные водой. Они расположены на территории испытательных площадок «Опытное поле», «Балапан», «Телькем» и «Сары-Узень». Всего было исследовано 20 водоемов техногенного происхождения. Водоемы природного происхождения – это природные озера, расположенные по всей территории СИП: на территории испытательных площадок и в непосредственной близости к ним, т.е. в зоне их влияния, на следах радиоактивных выпадений и на «фоновых» территориях. В зависимости от места расположения озер их компоненты имеют различные уровни радиоактивного загрязнения: от уровня $n \times 10^2$ Бк/кг в донных отложениях озер, расположенных на территории испытательных площадок, до уровня ниже предела обнаружения для озер, расположенных на «фоновых» территориях. Всего было исследовано порядка 60 озер территории СИП.

На объектах исследования проводился сопряженный отбор пробы воды, донных отложений и растений. Растения водоемов СИП принадлежат к 3 экологическим группам в зависимости от места их произрастания: водные, воздушно-водные и прибрежные. В отобранных пробах проводилось определение содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

Для количественной оценки перераспределения радионуклидного загрязнения в водоемах использовались коэффициенты, рекомендуемые МАГАТЭ: коэффициент распределения (K_p) для системы «донные отложения – вода», коэффициент накопления (K_H) для системы «растения – вода» для водных и воздушно-водных растений, коэффициент накопления (K_{Hs-b}) для системы «растения – донные отложения».

Согласно полученным данным, K_p уменьшается в ряду $^{239+240}\text{Pu} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$ для всех водоемов СИП, но для водоемов техногенного происхождения K_p на 1-2 порядка выше, чем K_p , полученные для озер. Тем не менее полученные значения $K_p \gg 1$, что свидетельствует о том, что большая часть исследуемых радионуклидов в системе «донные отложения – вода» сосредоточена в донных отложениях. За исключением ряда случаев, где K_p для ^{90}Sr равен $n \cdot 10^0$, это значит, что в таком водоеме ^{90}Sr в сопоставимых количествах содержится как в воде, так и в донных отложениях. Для системы «растения – вода» K_H также уменьшается в ряду $^{239+240}\text{Pu} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$ для всех водоемов СИП, и также K_H для техногенных водоемов на 1–2 порядка выше, чем K_H для природных озер.

Накопительная способность растений из донных отложений снижается в ряду $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{239+240}\text{Pu}$. Тот факт, что в ряде случаев для ^{90}Sr и ^{137}Cs получены $K_{Hs-b} > 1$, говорит о том, что растения, благодаря своей накопительной способности, могут содержать техногенные радионуклиды в количествах, превышающих их удельную активность в донных отложениях.

Главным выводом из работы является то, что основным накопителем радионуклидов в водоемах являются донные отложения, которые содержат от 70% и более радионуклидов. Далее следуют вода и растения: в части водоемов содержание радионуклидов в растениях превышает их содержание в воде, в другой части – наоборот. В целом в воде и растениях содержится от долей процента до 20% от суммарной активности радионуклидов в водоеме.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

М. М. Бахтин, П. К. Казымбет, Е. Т. Кашкинбаев, Д. Д. Джанабаев, М. Н. Аумаликова,
Ж. Иса

*Институт радиобиологии и радиационной защиты
НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан*

Проблема радиационной безопасности персонала группы А нефтегазодобывающих предприятий (далее – НГДП), имеющий контакт с источниками ионизирующей радиации остается актуальной во многих странах, в том числе и в Республике Казахстан.

Согласно требованиям Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к радиационно-опасным объектам» в организациях, в которых эффективные дозы производственного облучения работников превышают 2,0 мЗв/год, необходимо проводить постоянный радиационный контроль в соответствии с программой производственного контроля, а также осуществлять мероприятия по снижению облучения. Следует отметить, что в настоящее время Службы радиационной безопасности созданы на 10 объектах и выделены ответственные лица в 4-х из 102 действующих объектов в нефтегазовой отрасли.

В текущем году сотрудниками Института радиобиологии и радиационной защиты НАО «МУА» (далее – Институт) на территории 4-х НГДП Мангистауской области проведены комплексные исследования по оценке радиационной ситуации. По результатам пешеходной гамма-съемки на территории НГДП установлено, что

МАЭД гамма-излучения варьирует от 0,12 мкЗв/ч до 3,05 мкЗв/ч, при допустимой норме 2,5 мкЗв/ч. На рабочих местах операторов НГДП и на поверхности производственных оборудования (буферные емкости, насосы и трубы) МАЭД гамма-излучения варьирует от 0,20 до 10,56 мкЗв/ч.

В образцах почвы, отобранных на нефтяных месторождений удельная активность ^{226}Ra варьирует от 19 Бк/кг до 11338 Бк/кг, ^{232}Th от 8,1 до 52 Бк/кг.

На заседании Круглого стола (09.06.2023 г.) с участием представителей МЗ РК, АО «НК «Казмунайгаз» и Института было отмечено о необходимости создания перечня НГДП страны с повышенными уровнями радиации за счет присутствия природных радионуклидов, осаждающихся на внутренних поверхностях оборудования.

Учитывая особую актуальность вопроса охраны и улучшения здоровья персонала группы А нефтегазовой отрасли специалисты Института разработали программу производственного радиационного мониторинга, оценки радиационной обстановки рабочих мест и дозовой нагрузки работников предприятий с использованием авто-гамма лаборатории с передачей и обработкой данных в электронной базе Института. Комплексные исследования по оценке радиационной обстановки НГДП продолжаются.

ECOLOGICAL AND GENETIC ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF RADIATION INFLUENCE ON CONTAMINATED AREAS (SECOND REPORT)

A. B. Bigaliyev, A. N. Kozhahmetova, A. M. Myrzatay, A. Akbaev, Zh. Dosmagambet

Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

The objects of study are the territory of the districts of the West Kazakhstan region (WKR) of the Republic of Kazakhstan adjacent to the Kapustin Yar test site.

The purpose of the work is a radioecological survey of contaminated areas and the study by physicochemical methods of the content of pollutants in environmental objects, biota (rodents, fish and biosubstrates of domestic animals) to assess the risk of impact of the landfill on biota and humans

This report presents the results of expeditionary and laboratory research on the pollution of environmental objects in the areas adjacent to the landfill. Indicators of gamma-survey of the levels of radiation background of the surveyed territories are given; data on pollution of soil, surface and ground waters, dominant forms of plants, biosubstrates (hair of domestic animals: camel, horse, cow) and human blood samples. The generally accepted research methods were used: standard sampling methods; radiological, atomic adsorption spectrophotometry, cytogenetic (micronucleus (MN)).

A reconnaissance and radioecological examination of environmental objects was carried out using analytical methods, which made it possible to determine the quantitative content of toxic components; content of priority pollutants and radioactive isotopes. It has been established that the values of the volumetric activity of natural and man-made radionuclides in soil samples, drinking water and biosubstrates (pet hair, human peripheral blood samples) from settlements correspond to the value of the control level for this region. Measurements of radiation activity by gamma radiation showed that along the perimeter of the surveyed territory of the test site and in nearby settlements, the radiation level is in the range of 0.06–0.014 $\mu\text{Sv/h}$. A slight excess of the level of radioactivity persists in the area near the fall of missiles in the Bokeyorda region. The investigated regions are characterized by an insignificant level of background radiation, the average limited dose (LD) value for the regions as a whole is 0.14 $\mu\text{Sv/h}$. The absolute maximum – 0.73 $\mu\text{Sv/h}$ – was recorded at the points of missile impact in the Kaztal region. The authors claim that these data show a close relationship between cytogenetic disorders and the formation cells with micronuclei. The data of our study give certain ideas about the state of the genetic materials of somatic cells of the body. With the help of a micronucleus test, it is possible to identify individuals with an increased risk, who have a pronounced instability of the genome. The patients we observed with hereditary degenerative diseases of the nervous system. In particularly, congenital malformation (CM) and chromosomal abnormalities from areas adjacent to the nuclear test site showed pronounced cytogenetic disorders, genome instability. This one indicates the negative impact of chronic radiation on the genome and the health of the population from these areas.

Keywords: radiation, radionuclides, radioactivity, biological substrate, polygon, mutation, cytogenetic, mutagens, ecology.

АПРОБАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА ДЕЗАКТИВАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

П. А. Блынский, Е. А. Петрова

ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, Республика Казахстан

В настоящее время актуализируются Планы/Программы ликвидации рудников уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром». Согласно проектам добычной деятельности предприятий масштабные ликвидационные работы будут проводиться в период 2025–2032 гг. Процесс ликвидации включает в себя демонтаж скважин, трубопроводов, наземного комплекса, рекультивацию почв. В ходе ликвидации прогнозируется большой объем образования твердых низкорadioактивных отходов (ТРО), до 20 000 тонн на один рудник.

Основной вклад в образование ТРО вносят загрязненный грунт, магистральные трубопроводы и внутриблочная обвязка из ПНД, оборудование цехов переработки продуктивных растворов и аффинажа, отработанный сорбент, строительные отходы, образующиеся в ходе демонтажа зданий, где проводились работы с радиоактивными материалами. Часть ТРО может быть дезактивирована, выведена из категории отходов и повторно использована в народном хозяйстве.

Цель исследования – проведение опытно-промышленных испытаний различных технологий по очистке твердых радиоактивных отходов (далее - ТРО), образующихся при ликвидации рудника подземного скважинного выщелачивания урана.

В процессе работы было отобрано большое количество образцов ТРО (обсадные трубы из ПВХ, части трубопроводов ПНД, металл, бетон, и др.).

Дезактивация образцов осуществлялась с помощью гидродинамической машины с использованием различных форсунок в режиме пистолета. Также проводилась обработка паром и горячей водой. Для дезактивации труб использовался гидродинамический режим с поэтапным использованием форсунок различных конфигураций.

Схема установки для дезактивации труб представлена на рисунке.

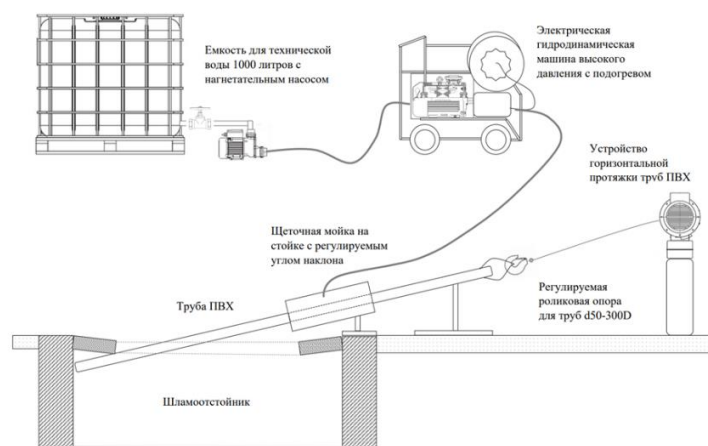


Рисунок. Схема установки для дезактивации труб

Очистка бетона осуществлялась методом вакуумирования и методом скалывания с использованием шлифовальных машин с опытными образцами щеток. Для метода скалывания использовалась шлифовальная машина с алмазной чашкой.

Определение радиоактивного загрязнения образцов проводилось с помощью радиометрической установки МКС-АТ1117М с блоками детектирования БДПС-02, БДПА-02, БДПБ-01, БДКГ-11. Также на металле и полимерных материалах определялось снимаемое радиоактивное загрязнение методом снятия мазков.

Результаты проведенных экспериментальных работ показали возможность очистки свыше 75% всех ТРО, образующихся в ходе операционной деятельности и проведения ликвидационных работ.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ НУКЛИДОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

И. С. Бредихин

*ООО «Гамматек», г. Москва, Российская Федерация
1-й Нагатинский проезд 2 строение 35БН, офис 19, тел. +79057650009*

E-mail: ivan@gammatech.pro

В последние годы наблюдается тенденция на использование методов машинного и глубокого обучения для самых различных задач науки и техники. При этом, в ряде областей эти методы, несмотря на все возложенные на них ожидания, показывают весьма скромный результат. Предположение, что методы глубокого обучения смогут внести существенный вклад в решение задач идентификации в области спектрометрии, основывается на нескольких факторах:

По своей сути методы глубокого обучения пытаются имитировать работу человека и головного мозга (нейроны, нейронные связи, обучение и поиск паттернов). Поэтому эти методы особенно хорошо работают там, где в решаемой задаче помимо понятной расчетно-алгоритмической части (например, при решении ОДУ или уравнений в частных производных), имеется математически плохо формализованный поиск паттернов. Использование классического подхода идентификации, помимо формального алгоритмизованного процесса выделения пиков, применяет шаг сопоставления найденных пиков с имеющимися библиотеками нуклидов. При этом, для получения финального списка гамма-нуклидов, входящих в состав анализируемой смеси, используется достаточно большое количество эвристик [1]. Соответственно, у методов глубокого обучения есть потенциал для того, чтобы успешно научить машину этим эвристикам. Это в итоге продвигает нас к большей автоматизации процесса разбора гамма-спектров.

В области гамма-спектроскопии имеется потенциальная возможность с помощью машинного обучения построить человеко-ориентированные классификаторы и методы декомпозиции спектров. Даже если в этой области не будет достигнута 100% автоматизация, где машина полностью заменит человека, построение таких классификаторов уже будет существенным упрощением задачи. Функция машины – выполнить достаточное количество предварительной работы по выделению характеристик, по которым либо она сама, либо человек сможет сделать разбор и анализ спектра. Особенно это актуально для разбора сложносоставных спектров (с 4-мя и более нуклидами).

В данной работе мы представим результаты первого этапа разработки программно-аппаратного мобильного решения для проведения поиска и идентификации радионуклидных загрязнений с возможностью определения их активности. Одной из ключевых особенностей разрабатываемого ПАК является именно инновационный алгоритм обработки спектров, который использует методы машинного обучения. Мы показываем текущие результаты применения глубокого обучения на свёрточных архитектурах (CNN) и на архитектурах 1D U-Net. Мы анализируем, насколько эти архитектуры помогли продвинуться вперед в решении задач разбора спектров, а также делаем вывод, как можно улучшить текущий подход и архитектуры в соответствии с задачей построения интерпретируемых человеком классификаторов, как описано выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kamuda, M., Zhao, J., & Huff, K. (2020). A comparison of machine learning methods for automated gamma-ray spectroscopy. In Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (Vol. 954, p. 161385). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.10.063>

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕШЕХОДНОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

И. П. Дорожкин, Ю. В. Бакланова, В. В. Божко, Е. В. Мустафина

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка (ПГСС) является идентификатором радиоактивного загрязнения при проведении экспрессного радиоэкологического обследования территорий. При использовании данного метода обследования образуется множество гамма-спектров, для обработки которых используется

специализированное программное обеспечение (ПО). Сегодня в мире насчитывается огромное количество ПО по анализу спектрометрических данных, как на отечественном рынке, так и на зарубежном. Основными лидерами на рынке подобного спектрометрического ПО являются ORTEC, Canberra и ЛСРМ. При этом ни одно ПО в настоящее время не способно проводить автономный анализ большого количества спектрометрических данных, вместе с тем модули ПО, используемые для обработки гамма-спектров, являются платными. Поиск информации не выявил предшествующих научных исследований в области создания пакетного анализа и обработки спектрометрических данных.

Таким образом, возникла необходимость разработки отечественного ПО, которое будет использоваться для проведения ПГСС и для обработки больших массивов гамма-спектрометрических данных. Принципиальное отличие данной разработки от имеющихся аналогов в мире – возможность работать не с одним определенным гамма-спектром, а с огромным массивом, что повышает скорость обработки данных и получения результатов о характере поверхностного загрязнения почвенного покрова гамма-излучающими радионуклидами. Основной целью разработки ПО являются ускорение и упрощение гамма-спектрометрической съемки путем частичной автоматизации процесса получения и обработки данных, и исключением возможных ошибок с помощью систем контроля оператора, проводящего гамма-съемку.

Разработка ПО для проведения пешеходной гамма-спектрометрической съемки состоит из создания проекта задач по автоматизации конкретного объекта, а именно: автоматизации информационных процессов полевой спектрометрии путем реализации информационной системы, включающей в себя два основных проекта – проект ПО непосредственно для проведения ПГСС и проект программно-технического комплекса для пакетного анализа больших массивов гамма-спектрометрических данных.

ПО для ведения ПГСС в режиме реального времени производит считывание данных с детекторов и GPS-приемника, используя протокол NMEA 0183. Параллельно процессу получения координат происходит управление детектором гамма-спектрометра. Все результаты, которые получает ПО, с определенной периодичностью, заданной пользователем, записываются в текстовые файлы. Весь процесс происходит в автоматическом режиме с привязкой по времени. Также присутствует ручной режим работы.

ПО для анализа больших массивов гамма-спектрометрических данных – программный комплекс, который справляется с большим количеством получаемых спектрометрических данных, используя автоматический процесс анализа и обработки информации, визуализируя и создавая отчетность по полученным результатам работы ПО.

Перечень входящих данных, с которым работает система анализа, представляет собой как поток информации с детектора гамма-спектрометра, так и файлы гамма-спектров нескольких форматов. В частности: свой формат данных в табличном виде в формате CSV, бинарный файл CNF, разработанный фирмой Canberra для использования в программном комплексе Genie-2000, и файл формата CHN от компании ORTEC, разработанный для использования в программах Maestro, GammaVision и ScintiVision.

Исходящие данные ПО представляют собой табличные отчеты в формате XLS, которые можно использовать для последующего картирования с помощью программы ArcGIS и визуализации процесса обработки данных для коррекции правильности анализа гамма-спектров.

В настоящее время полностью реализован проект программного комплекса, включающий ПО для проведения ПГСС и ПО для обработки больших массивов гамма-спектрометрических данных. Это полнофункциональная информационная система, которая обеспечивает автоматизацию и повышение качества информационных процессов при проведении гамма-спектрометрической съемки на любой обследуемой территории.

EPR DOSIMETRY STUDY OF HIROSHIMA ATOMIC BOMB VICTIMS

Kassym Zhumadilov¹, Alexander Ivannikov², Valeriy Stepanenko²,
Asel Bagramova¹, Shin Toyoda³, Satoru Endo⁴ and Masaharu Hoshi⁴

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, Munaitpasova 13, Astana, Kazakhstan

² A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical
Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation,
Koroleva Str., 4, Obninsk, Kaluga Region 2490036, Russia

³ Department of Applied Physics Faculty of Science
Okayama University of Science, 700-0005, Japan

⁴ Hiroshima University, Hiroshima, Japan

Highlights

The method of electron paramagnetic resonance (EPR) dosimetry has been applied to human tooth enamel to obtain individual absorbed doses of victims of Hiroshima atomic bombing.

Keywords: EPR dosimetry, tooth enamel samples, Hiroshima, victims

Background and Objectives

EPR dosimetry is one of the tools for retrospective individual dose reconstruction. This method can help to estimate the individual absorbed doses more than 50 years after the exposure event. EPR measures the number of radicals created by ionizing radiation exposure in tooth enamel.

Materials and Methods

Only 3 teeth samples were collected from this region. According to our information there is no any dental x-ray was applied to patients. A tooth samples were cut to its buccal and lingual parts. Enamel was mechanically separated from dentine using hard alloy dental drills and diamond saws.

Results and Discussion

It was found that the excess doses obtained after subtraction of natural background radiation for one person is background, second is 133 mGy and third is 243 mGy. Positions of teeth were 1, 2 and 4, therefore only lingual part was used for analysis. But for this case we cannot exclude with 100 % probability the influence of sunlight's to these samples. Another problem is the lack of samples, because not so many victims of black rain area are alive.

Conclusion

Possibly, high dose of 243 mGy in tooth enamel of radiation is due to exposure from atomic bomb.

REFERENCES

1. Zhumadilov K.S. et al. 2005. Tooth enamel EPR dosimetry: selecting optimal spectra registration parameters and effects of sample mass on sensitivity. J. Radiat. Res. 46, 435-442.
2. IAEA, 2002. IAEA-TECDOC-1331, Vienna.

MEASUREMENT OF HEAVY METALS CONCENTRATION IN THE AIR OF AKMOLA REGION

A. G. Zhumalina¹, A. A. Bagramova¹, E. K. Sambayev¹, A. Sakaguchi², S. Endo³,
K. Tanaka³, T. Kajimoto³, N. Kawano³, K. Sh. Zhumadilov¹, M. Hoshi³

¹ Eurasia National University named after Gumilyov L.N., Astana, Kazakhstan

² Tsukuba University, Tsukuba, Japan

³ Hiroshima University, Hiroshima, Japan

Many heavy metals, such as iron, copper, zinc, molybdenum, are involved in biological processes and in certain quantities are necessary for the functioning of all living organisms. However, heavy metals and their compounds under certain conditions have a harmful effect on the human body. Accumulating in tissues, heavy metals can cause a number of serious diseases.

The purpose of this work was to identify the impact of human activity on the atmosphere of the Akmola region. Together with scientists from Hiroshima University and Tsukuba University, the composition of aerosols in the air over

the city of Stepnogorsk was monitored using an automated aerosol sampling station and a multi-stage cascade of impactors.

This experiment was carried out using a high-volume air sampler which measures the size distribution and breathable mass fraction of ambient air particles inside and outside the premises. Aerosol sampling in the atmosphere of the city of Stepnogorsk is carried out by means of an automated sampling station, which includes a cascade of impactors with multi-stage particle fractionation. An air sampler was installed on the roof of a medical facility at an altitude of about 8 meters from the ground.

Substrates – thin flat sheets with 10 drilled holes, install holes on each nozzle. The particles passing through the nozzle openings in the sampling stages influence the assembly of the substrates and thus they are deposited or collected. The collection of the substrate also acts as a vacuum seal between the sampler plates. The collection of the substrate provides the most convenient method for collecting the particle, in contrast to the use of heavy plates for collecting the substrate and significantly reduces the cost of selection by the method of mutual loading, eliminating the need to purchase an additional set of plates. The collection of the substrate also allows for easier storage and subsequent chemical analysis.

The data obtained during the study of the samples showed the content in the atmosphere of the city of isotopes of aluminum, iron, cadmium, manganese. On average, aerosols were taken from more than 200 thousand cubic meters. It was found that the main isotope masses precipitate in the range from 1.4 μm to 0.49 μm .

Measurement data are taken for the period from 1.09.2020 to 28.05.2021 years. For a filter of size $> 10.2 \mu\text{m}$, Al radioactivity level was 53.3 ng/m^3 , Fe radioactivity was 12.7 ng/m^3 . For a size of 4.2–10.2 μm , the Al radioactivity level was 33.9 ng/m^3 , the Fe radioactivity was 39.1 ng/m^3 . Also, a non-high cadmium radioactivity of 4.2 ng/m^3 was detected. For size 2.1–4.2 μm , the aluminum level ranged from 56.2 ng/m^3 to 61 ng/m^3 depending on precipitation. For a 1.4–2.1 μm filter, the level of manganese radioactivity was 26.7 ng/m^3 in summer and 42.4 ng/m^3 closer to winter. For a filter of the same size, the degree of radioactivity of iron and aluminum was almost similar at the level of 60–65 ng/m^3 . The concentration of heavy metals is higher in the filter $< 1.4 \mu\text{m}$, which means the main activity of aluminum, iron, cadmium in small aerosol fractions.

EARTHWORMS AND THEIR ORGANS AS INDICATORS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A. Shahrokhi, T. Ganbaatar, E. Tóth-Bodrogi, A. Csordás, M. Hegedűs, T. Kovács

Institute of Radiochemistry and Radioecology, University of Pannonia, Veszprem, Hungary

Earthworms are terrestrial invertebrates playing an important part in the soil formation process. Due to their feeding habits they get into contact with various pollutants, including radionuclides, thus they can provide useful information on the presence and extent of heavy metal and radionuclide contamination. Earthworms are relatively tolerant, however their growth, reproduction, behavior and organ function could serve as sensitive indicators of increased concentrations of natural and artificial radionuclides and heavy metals.

In this study earthworms were raised in a controlled environment, separated into randomized groups and moved into containers with artificially contaminated soil. Different levels of contamination were used to study the responses and sensitivity of the earthworms and their organs to the presence of heavy metals and radionuclides. Lead was selected first, because lead isotopes are the most mobile among the natural radioisotopes under multiple environmental conditions, and its significance as a heavy metal pollutant. Pb-203 tracer was used in conjunction with multiple imaging techniques to follow the extent and distribution of lead contamination in the organs of the earthworms.

Pb concentration in the various organs showed a relatively good correlation with the contamination level in the treatment regimes. Assessing the Pb uptake and depuration and the correlation between concentrations in soil and earthworm organs, as well as the behavioral and development changes provides crucial information for the use of earthworms as bioindicators, which could be developed into laboratory and in situ protocols for monitoring radionuclide and heavy metal contamination.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

О. Ю. Коровина, В. А. Сомин, В. А. Коровин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация

Территория юго-западной части Алтайского края с 50-х и до конца 80-х годов прошлого столетия подвергалась различного рода техногенным воздействиям, в результате чего сформировалась существующая неблагоприятная экологическая ситуация.

В настоящее время в почве искусственная радиоактивность от ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне практически не осталась, т.к. произошел распад и перемещение радионуклидов в результате массопереноса. В этой связи научный и практический интерес представляют водные объекты, в которых процессы перемещения загрязняющих веществ, в том числе радионуклидов, происходят, в основном в результате оседания попавших в воду частиц и их концентрирования в донных отложениях.

Кроме радионуклидов, опасность для здоровья людей могут представлять тяжелые металлы, которые на изучаемой территории поступают в окружающую среду от промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов.

Результаты проведенных исследований показали, что содержание искусственных и естественных радионуклидов в донных отложениях водоемов юго-западной части Алтайского края не превышает нормативного уровня. Остатки следов ядерных испытаний Семипалатинского испытательного полигона в исследуемых водных объектах в настоящее время не обнаружены.

Установлено, что в настоящее время в воде некоторых водных объектов юго-западной части Алтайского края содержание тяжелых металлов превышает нормативный уровень, установленный для объектов рыбохозяйственного значения, по меди и цинку. Содержание в воде кадмия, свинца и никеля не превышает нормативного уровня. При этом донные отложения изучаемых водных объектов не содержат тяжелые металлы в концентрациях, которые бы превышали нормативный уровень, установленный законодательством Российской Федерации для почв.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА АЛМАТЫ

М. В. Краснопёрова, П. В. Харкин, И. Д. Горлачёв,
Д. А. Желтов, Л. Д. Матиенко, О. С. Мильц

РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

С целью изучения содержаний тяжелых элементов и радионуклидов объектах окружающей среды г. Алматы в январе – марте 2023 года были отобраны пробы поверхностных вод, почвы и воздуха в 16 точках мегаполиса.

Построена карта города Алматы с указанием основных поверхностных водотоков, крупных транспортных магистралей и основных промышленных объектов. На карту нанесены места отбора проб поверхностных вод, питьевой воды, почвы и воздуха. При выборе мест пробоотбора учитывались особенности рельефа местности и места расположения потенциальных эмитентов загрязнителей объектов окружающей среды.

Методы инструментальных гамма-, альфа- и бета-спектрометрии использовались для анализа содержаний искусственных и естественных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr в объектах окружающей среды. Определение содержаний химических элементов в пробах объектов окружающей среды проводилось с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Полученные значения удельных активностей естественных и искусственных радионуклидов в пробах окружающей среды находятся на уровне фоновых значений и для большинства проб ниже уровня минимальной детектируемой активности для используемого оборудования. Все полученные значения значительно ниже уровней вмешательства, установленных требованиями Санитарных правил [1].

В целом, качество контролируемых поверхностных вод соответствует гигиеническим нормам согласно нормативам, распространяющихся на воду подземных и поверхностных водоисточников, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения населения, для рекреационного и культурно-бытового водопользования [2].

В данный момент проводится анализ данных и выявление факторов, оказывающих влияние на качество поверхностных вод города Алматы.

Представленные исследования финансируются Комитетом науки и Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP14869418).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. приказом и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 15 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-275/2020.
2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03.

ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ФИТОМАССЫ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Г. В. Седукова, Н. В. Кристова

*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,
246050 г. Гомель, ул. Федюнинского, 4, Республика Беларусь*

В настоящее время в Республике Беларусь значительные площади сельскохозяйственных земель по-прежнему загрязнены радионуклидами чернобыльского происхождения. Рациональное использование данных территорий направлено не только на снижение радиационного воздействия на население и экологические системы, но и осуществление эффективной хозяйственной деятельности. Исключение из севооборотов ряда кормовых культур, накапливающих радионуклиды в количестве, превышающем нормативные требования, снизило потенциал кормопроизводства на территории радиоактивного загрязнения. Для стабилизации кормовой базы рассматривается внедрение новых кормовых культур. В Институте радиобиологии НАН Беларуси (ранее Институт радиологии) проводятся исследования по изучению уровней накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в зеленой массе широкого ассортимента кормовых культур. Начиная с 2008 г. в перечень изучаемых культур включены засухоустойчивые сорговые культуры, в том числе и суданская трава. Основными задачами исследования являлось изучение радиологического качества полученной продукции, определение значений параметров перехода радионуклидов в растения и влияние на них системы удобрений, агрохимических показателей, определение пригодных по плотности загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr для производства нормативно чистых кормов.

В результате проведенных исследований установлено, что при возделывании на опытном поле с плотностью загрязнения ^{137}Cs 54,2 кБк/м² (1,5 Ки/км²) удельная активность радионуклида в зелёной массе не превышала 7 Бк/кг, что на порядок ниже допустимого уровня (норматив 165 Бк/кг). На дерново-подзолистой супесчаной почве, имеющей наибольшее распространение на территории радиоактивного загрязнения Беларуси, коэффициенты перехода (Кп) ^{137}Cs находились на уровне $6,4 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг:кБк/м². В настоящее время на всей территории радиоактивного загрязнения, где разрешено сельхозпроизводство, нет ограничений по плотности загрязнения почвы ^{137}Cs для возделывания суданской травы.

Удельная активность ^{90}Sr в зеленой массе, полученной при плотности загрязнения рассматриваемым радионуклидом 11,4 кБк/м² (0,3 Ки/км²), находилась в среднем на уровне 67 Бк/кг, что соответствует республиканским нормативным требованиям по содержанию данного радионуклида в зеленых кормах, для получения молока-сырья на переработку (норматив 185 Бк/кг) и превышает допустимый уровень для получения молока цельного (37 Бк/кг). Значение Кп ^{90}Sr составили 5,93 Бк/кг:кБк/м². Установлено, что имеются ограничения по плотности загрязнения почвы ^{90}Sr . Для получения зеленого корма, пригодного для получения молока цельного, выращивание возможно на участках с плотностью загрязнения пахотного горизонта дерново-подзолистых супесчаных почв ^{90}Sr не выше 6,2 кБк/м² (0,17 Ки/км²).

Внесение минеральных удобрений $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{100}$ снижает значения Кп ^{90}Sr до 13 %, расширяя территорию радиоактивного загрязнения для производства нормативно чистых кормов, пригодных для получения цельного молока до 8,5 кБк/м² (0,23 Ки/км²) и, соответственно, до 43 кБк/м² (1,15 Ки/км²) для производства молока-сырья на переработку.

ОСНОВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СИП

Н. В. Ларионова¹, А. О. Айдарханов¹, А. В. Паницкий¹, А. К. Айдарханова¹,
П. Е. Кривицкий¹, А. Е. Кундузбаева¹, А. М. Кабдыракова²

¹ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатова, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатова, Республика Казахстан

С целью определения радиоэкологического состояния земель бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП), а также для эффективного использования незагрязненной его части, с 2008 по 2021 год Национальным ядерным центром Республики Казахстан (НЯЦ РК) выполнены самые масштабные в истории Казахстана работы по обследованию СИП – комплексное экологическое обследование его территории. Результаты работ получили признание экспертов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), которые высоко оценили степень их достоверности, уместности выводов и рекомендаций, и дали соответствующее заключение. В результате определены сверхнормативно-загрязненные земли, которые подлежат ограничению и условно чистые территории – пригодные к передаче в хозяйственный оборот.

Основной упор в рамках комплексного обследования был сделан на изучение радиоактивного загрязнения почвенного покрова, как основного объекта содержания образовавшихся в результате ядерных испытаний радионуклидов и источника их вторичного поступления в окружающую среду. Значительный массив данных был получен для определения уровней радионуклидного загрязнения почвы, отдельные исследования посвящены более детальным характеристикам, таким как миграция по почвенному профилю, распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям, формы нахождения радионуклидов в почвах и их соотношения.

Изучение водных объектов, расположенных на территории бывшего СИП, включало исследование общих эколого-геохимических особенностей. Отдельные работы были проведены по изучению радионуклидного загрязнения водных объектов, расположенных как на территории СИП, так и в близлежащих зонах. На основе полученных данных разработаны методические рекомендации по контролю за содержанием естественных и искусственных радионуклидов в воде. Экоотоксикологические исследования представлены многочисленными данными, характеризующими накопление радионуклидов растениями в зависимости от вида растений, типа почвы и характера радиоактивного загрязнения, а также оценку фаунистического разнообразия и накопление радионуклидов в животных на территории СИП. Для оценки дозовых нагрузок на население при проживании и ведении хозяйственной деятельности в зоне потенциального риска с 2010 по 2018 гг. сотрудниками НЯЦ РК был поставлен ряд экспериментов, нацеленных на получение растениеводческой и животноводческой продукции на одном из самых загрязненных участков СИП – площадке «Опытное поле».

Разработка научно-прикладного обоснования устойчивого управления земельными ресурсами и водными объектами территории бывшего СИП, расположенными на участках, планируемых к передаче в народно-хозяйственный оборот, является логичным продолжением комплексного экологического обследования и будет включать рекомендации по минимизации негативного радиационного влияния на население природных объектов на территории бывшего полигона и оценка их эффективности, а также эффективности мероприятий по минимизации возможных рисков загрязнения производимых продуктов животноводства на территории бывшего полигона или в прилегающей зоне. Итогом станет Web-приложение по устойчивому управлению земельными ресурсами и водными объектами территории СИП.

РАЗРАБОТКА СЕРИИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КОКТЕЙЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ

А. В. Михайлов^{1,2}, С. Н. Лукашенко¹, А. В. Томсон¹

¹ ФГБНУ ВИАРАЭ, г. Обнинск, Российская Федерация

² ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Российская Федерация

Жидкостинцилляционная спектрометрия – один из основных методов анализа проб, содержащих тритий. Это обусловлено ее способностью регистрировать низкоэнергетическое β -излучение с высокой эффективностью.

До определенного времени основным производителем жидкостинцилляционных коктейлей (далее – ЖСК), необходимых для ее реализации на рынке России и стран СНГ, была фирма PerkinElmer, которая производила линейку ЖСК, в которую входят такие марки, как «Ultima Gold», «Optiphase», «Flo-Scint» [1].

На данный момент импорт подобных продуктов невозможен. В Советском Союзе производился ряд ЖСК для определения трития серии «ЖС», таких как «ЖС-6», «ЖС-8», «ЖС-20», «ЖС-1» и т.д. [2]. В настоящий момент эти коктейли не производятся.

Цель исследования – оценить возможность применения рецептур коктейлей серии ЖС и разработать сцинтилляционные коктейли для определения трития на основе реактивов, выпускаемых Российской промышленностью.

В результате анализа коктейлей «ЖС-6» и «ЖС-1» выявлено, что смешиваемость данных ЖСК с водной пробой крайне низка, а также отсутствует линейная зависимость сигнала от объема добавляемой пробы, что говорит о неприемлемости использования этих коктейлей при анализе водных растворов.

В результате проведенных экспериментов разработаны 2 рецептуры ЖСК, удовлетворяющих требованиям аналитической практики. Первый коктейль с условным названием «ЛИРА 1» - на основе ксилола, бутилгликоля, неолола, нафталина, РРО и РОРОР, другой – на основе диоксана, метилнафталина, неолола и РРО с условным названием «МИРА 1».

Для оценки качества разработанных рецептур с помощью установки «Tricarb» были определены спектральные характеристики аналитических образцов на основе коктейлей «ЛИРА 1», «МИРА 1», «Optiphase». Коктейль «ЛИРА 1» обеспечивает спектральные характеристики на уровне коммерческого ЖСК «Optiphase», однако аналитические образцы на основе этого коктейля имеют ограниченный срок хранения из-за возможного улетучивания некоторых компонентов и температурную зависимость при температуре менее 20°. Аналитические образцы на основе ЖСК «МИРА 1» этих недостатков не имеют.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского Научного Фонда №23-24-00165.

ЛИТЕРАТУРА

1. Products & Services // PerkinElmer URL: <https://www.perkinelmer.com/> (дата обращения: 14.03.2023).
2. Справочник химика. Под ред. Б. П. Никольского, Л: Химия, 1971 г.

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Е. В. Мустафина¹, А. Ю. Осинцев², А. О. Айдарханов¹

¹ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»,
г. Курчатов, Республика Казахстан

Проводимые на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) испытания, в первую очередь привели к загрязнению территорий испытательных площадок. Однако радиоактивные выпадения, образовавшие так называемые «следы», привели к масштабному загрязнению окружающей среды не только территорий испытательных площадок, но и за их пределами. Наибольшее влияние (по масштабам радиоактивного загрязнения) оказали испытания, которые проводились на площадке «Опытное поле» (116 ядерных воздушных и наземных испытаний).

Обследование территории, прилегающей к испытательной площадке «Опытное поле», проводилось двумя методами. Первый метод – отбор проб почвы по сети 1×1 км. Пробы отбирались на территории 10 км от границы площадки «Опытное поле» за исключением территории естественных водоемов (по причине невозможности отбора репрезентативных образцов) и территорий соседних испытательных площадок «4» и «4а» (так как на данных площадках проводились другие типы испытаний, а именно испытания боевых радиоактивных веществ, и как следствие радиоактивное загрязнение носит другой характер). Всего было отобрано 876 проб почвы. Отобранные пробы анализировались гамма-спектрометрическим методом. Второй метод – пешеходная гамма-спектрометрическая съемка. Съемка проводилась на территории удаленной от границы площадки «Опытное поле» на 1–5 км по профилям с расстоянием между профилями 20 метров.

По результатам лабораторных измерений отобранных проб удельная активность основных техногенных гамма-излучающих радионуклидов в почве составила по ¹³⁷Cs до 1600 Бк/кг, по ²⁴¹Am до 1200 Бк/кг (что превышает уровень РАО для данного радионуклида). При этом статистический анализ данных показал невысокую корреляционную зависимость между ²⁴¹Am и ¹³⁷Cs, что является характерным признаком природы происхождения загрязнения на изучаемой территории, которая связана не только с ядерным делением исходного

материала зарядов в процессе проведения ядерного испытания, но и с загрязнением, обусловленным проведением модельных неядерных экспериментов, при которых диспергируются делящиеся вещества экспериментальных устройств без продуктов деления. Результаты пешеходной гамма-спектрометрической съемки подтвердили выводы, сделанные по лабораторным исследованиям проб почвы. В результате пешеходной гамма-спектрометрической съемки была обнаружена техническая площадка, на которой проводились гидродинамические испытания, при которых природа радиоактивного загрязнения обусловлена только исходным материалом экспериментального устройства.

Исследования радиационного загрязнения гамма-излучающими радионуклидами территории, прилегающей к испытательной площадке «Опытное поле», позволили получить исходные данные для построения карт пространственного распределения исследуемых радионуклидов. Были определены все основные параметры радиационного загрязнения, образовавшегося вследствие проведения ядерных испытаний на площадке «Опытное поле», а именно – места локализации радиоактивного загрязнения, оси следов радиоактивных выпадений, а также характер пространственного распределения радиоактивного загрязнения.

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦАХ ВОЗДУХА ГОРОДА УСТЬ-КАМЕНОГОРСК

Н. Ж. Мухамедияров, В. В. Колбин, А. Е. Темиржанова, М. Т. Дюсембаева, А. Л. Дашук, А. А. Круглыхин, Е. З. Шакенов, Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова, А. Ж. Ташекова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

В г. Усть-Каменогорск сосредоточены предприятия самой различной техногенной направленности: производства цветных металлов, редкоземельных элементов, ядерного топлива, машиностроения, электрохимической промышленности, теплоэнергетики и коммунального хозяйства. Усиление техногенного воздействия на природную среду породило целый ряд экологических проблем, самая острая из которых связана с загрязнением атмосферного воздуха.

По данным сети мониторинговых наблюдений г. Усть-Каменогорск относится к городам с высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна. Так, за 2022 г. по расчету интегрального показателя, индекс загрязнения атмосферы равен 7 (высокий уровень), что представляет большую опасность для состояния здоровья населения данного региона.

Летом в 2022 г. было проведено исследование по определению уровней содержания химических элементов в воздушной среде на прилегающей территории г. Усть-Каменогорск. Для отбора проб воздушных аэрозолей использовался фильтрующий элемент с размерами частиц TSP и PM-2,5. Всего было 13 исследовательских точек.

Отбор проб твердых частиц аэрозолей TSP производился переносным пробоотборником Staplex CF-993B на стекловолоконные фильтры производства Radeco. Отбор проб твердых частиц аэрозолей PM-2,5 производился пробоотборником воздуха MVS6 на кварцевые фильтры grade Q-MA. Отбор проб твердых частиц аэрозолей воздуха (TSP, PM-2,5) производился в течение 6 часов без перерыва. Объем каждой пробы воздуха составлял не менее 100 м³. Образцы почвы отбирались с тех же участков отбора проб воздуха.

В период исследования по величине среднесуточной пылевой нагрузки, было зарегистрировано превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) по частицам размера PM-2,5 от 1,3 до 1,7 ПДК, а по запыленности взвешенных частиц размеров TSP превышений ПДК не было зарегистрировано.

Согласно полученным результатам, в воздушной среде содержание всех исследуемых химических элементов в составе воздушных аэрозолей TSP и PM-2,5 не превысило значений допустимых уровней, установленных государственными нормативами, за исключением Ba и Pb. Так, в среднем превышение Ba составило 10 ПДК для TSP, а максимально 16,5 ПДК, по Pb в среднем превышение 1,3 ПДК для PM-2,5, а максимально 4,3 ПДК.

В почве г. Усть-Каменогорска были выявлены высокие значения содержания некоторых химических элементов относительно их ПДК и кларка почвы. Так, отмечены высокие концентрации Pb, превышающие его ПДК до 7 раз. В почве большинства изученных участков выявлено высокое содержание Cu и Zn относительно их кларка почвы с превышением в 2 и 5 раз, соответственно.

Для определения степени обогащения химических элементов в аэрозольных частицах относительно земной коры обычно используют коэффициенты обогащения (K_о). Считается, что химические элементы, K_о которых меньше 10, связаны только с литосферой, а при превышении K_о этой величины – с техногенным загрязнением.

Согласно полученным данным, большая часть рассматриваемых элементов во всех аэрозольных частицах имеет $K_O > 10$. В частицах PM-2,5 $K_O > 10$ для таких элементов, как Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Ba, Gd, Pb, Th, U; в TSP – для Be, Cr, Co, Cu, Zn, Sr, Cd, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Pb, Th, U. Выявленные группы элементов и их количественные характеристики, свидетельствуют об их антропогенном происхождении.

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ

М. С. Омаров, К. К. Ахметов, К. М. Омарова

НАО «Торайгыров Университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

Рост населения Земли диктует непрерывное производство качественных и безопасных продуктов питания; ежегодно от желудочно-кишечных заболеваний погибают около 2 млн. человек; каждый десятый житель на планете недоедает, поэтому проблема снабжения продовольствием становится еще острее. Всемирные потери пищевых продуктов в год достигают 30%, из-за глобализации рынка возросли риски микробиологического и фитосанитарного видов заражения, реализация продукции через крупные торговые сети требует новых технологий увеличения сроков хранения [1]: увеличение хранимостпособности качественной продукции через производство продукты питания, сохраняющие все свои качества в процессе обработки и длительного хранения – более оптимальное решение, чем увеличение производства. В этом случае «...Радиационная обработка отвечает всем критериям для критической точки, продиктованным принципами НАССР, поскольку позволяет осуществлять строгий контроль за условиями обработки, как это предписывается стандартами Codex Alimentarius. Могут быть также предприняты соответствующие корректирующие действия, если это необходимо» [2]. Результаты исследований в течение более 30 лет в области обработки продуктов ионизирующим излучением доказывают, что уничтожаются насекомые и паразиты, инактивируются бактерии, споры и плесень; замедляются прорастание корнеплодов и процессы созревания во фруктах; снижаются потери собранного урожая; получаемые продукты безопасны для потребителя; потребности же в энергозатратах минимальны.

В Казахстане (АО «Парк ядерных технологий») осуществляется промышленная обработка шприцев, одноразовых медицинских комплектов различного назначения, освоение радиационных технологий в сфере сельхозпроизводства: селекция риса с использованием радиационного мутагенеза, борьба с вредителями растений (радиационной стерилизации насекомых), радиационная обработка круп для продления сроков хранения.

Основные проблемы развития использования радиации в АПК Казахстана: радиофобия, т.к. использование радиации в обработке пищевых продуктов вызывает определенное опасение, многолетние ядерные испытания оставили неизгладимый след в памяти населения. Здесь уместно привести опыт ученых, занимающихся этой проблемой [3]. Необходимо совершенствование нормативной базы на различные виды пищевой продукции. Необходима государственная программа использования радиационных технологий в АПК, подготовка кадров, освещение в СМИ пользы радиационных технологий. Необходимы и передвижные облучательные центры для обработки продовольственных продуктов в местах выращивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санжарова Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: истории, современное состояние и перспективы. Материалы Международной конференции «Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы». Обнинск, 26–28 сент. 2018 г.
2. Мусина О.Н., Коновалов К.Л. Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов – М.: Пищевая промышленность. 8/2016 С.16–19.
3. Алиев С.А. Первичные навыки/знакомство с дозиметрией как борьба с радиофобией среди школьников и студентов. Семей, Вестник НЯЦ, выпуск 4 дек. 2018, С. 111–113.

РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНЫХ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. В. Паницкий, А. Б. Базарбаева, С. А. Байгазы, И. А. Александрович

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) имеются участки с высоким содержанием радионуклидов в компонентах природной среды (почве, воде, растениях) которые являются составной частью рациона диких животных. На территории СИП обитают животные, которые относятся к объектам любительской и промысловой охоты, в том числе и крупные копытные животные – лось (*Alces alces* Gray, 1821), косуля (*Capreolus pygargus* Pal., 1771), сайгак (*Saiga tatarica* Lin., 1766) и внесенный в Красные книги Республики Казахстан и Международного союза охраны природы архар (*Ovis ammon* Lin., 1758). Поэтому исследование радиоэкологического состояния крупных копытных животных, обитающих на территории СИП весьма актуально. В течение 8 лет систематически проводятся исследования радиоэкологического состояния отдельных видов диких копытных животных. Производился отбор проб тканей и органов животных для радионуклидных анализов посредством изъятия отдельных видов животных в научных целях и сбора биологического материала с туш павших животных. Также проводится оценка возможного содержания радионуклидов в организме диких копытных животных расчетным методом, по удельной активности радионуклидов в фекалиях этих животных, собранных с различных участков полигона.

Прямые измерения удельной активности в тканях и органах исследованных животных показали, что содержание радионуклидов в организме копытных животных, обитающих на различных участках СИП различно. В основном удельная активность исследованных радионуклидов не превышает МДА. Относительно повышенные значения содержания отдельных радионуклидов обусловливается обитанием животных непосредственно на испытательных площадках полигона.

На основании установленных значений содержания радионуклидов в рационе животных расчетным способом оценено содержание радионуклидов в мясе диких животных, обитающих на территории СИП – лосей (*Alces alces* Gray, 1821), архаров (*Ovis ammon* Lin., 1758), косулей (*Capreolus pygargus* Pal., 1771) и сайгака (*Saiga tatarica* Lin., 1766). Согласно полученным данным превышения допустимых значений изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе диких копытных животных не ожидается. В мясе архаров, косуль и сайгаков можно ожидать относительно повышенных значений радионуклида ^{137}Cs при рассмотренном «консервативном» сценарии. Радионуклиды ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в мясе диких животных не нормируются. Их прогнозируемые значения удельной активности в мясе лося и архара не превышают $3,2 \cdot 10^{-1}$ Бк/кг и $1,6 \cdot 10^{-1}$ Бк/кг, косули и сайгака – $5,4 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг. В то же время исследования показали, что наличие повышенных значений техногенных радионуклидов в фекалиях копытных животных отмечается не только на территориях, имеющих радиоактивное загрязнение компонентов природной среды (радиоактивные выпадения в виде следов), но и на условно «фоновых» территориях СИП, не подвергшихся сверхнормативному загрязнению радиоактивными изотопами при испытании ядерного оружия. Это обусловлено тем, что животные при кормлении могут перемещаться между участками СИП, имеющими различные уровни радиоактивного загрязнения природных сред (почвы, растений, воды).

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОНУКЛИДЫ

М. А. Подойников, И. А. Хлебникова, К. Л. Шульгин

АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Предотвращение загрязнения окружающей среды различными химическими соединениями, образующимися в процессе переработки концентратов, является одной из приоритетной задач, для решения которой требуется комплексный подход. Известно, что применение мембранных технологий способствует снижению количественного сброса загрязняющих веществ и минимизации забора природных вод за счет рециклинга очищенных сточных вод. Успехи в развитии мембранной технологии, связанные с разработкой мембран и универсальных мембранных аппаратов нового поколения, позволяют решить актуальную проблему – создание локальных систем, передвижных и стационарных установок, в которых сочетаются традиционные и

баромембранные процессы разделения жидкостей. В данной статье рассмотрены возможности применения мембранных технологий для очистки сбросных растворов различного примесного состава.

В настоящее время в АО «УМЗ» в процессе переработки химического концентрата природного урана по экстракционно-осадительной технологии образуются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) в виде азотнокислых рафинатов процесса экстракции с удельной активностью – более 2500 Бк/л и нитратных маточных растворов (удельная активность 80–500 Бк/л), являющихся частью системы осаждения полиуранатов аммония (ПУА). Указанные растворы после нейтрализации на участок хвостового хозяйства. Аффинаж маточных растворов ПУА с применением мембранных технологий является перспективным направлением, так как данный вид отходов представляет собой растворы нитрата аммония, содержащие некоторое количество урана, обусловленное проскоками тонкодисперсных частиц ПУА в фугат. Проведены эксперименты с использованием лабораторной установки ультрафильтрации фирмы Westfalia Separator Membraflow через керамические мембраны с размерами пор 20 нм и штатных маточных растворов ПУА с уровнем α -активности – 489 Бк/л. Значения удельной α -активности в растворах, полученных после ультрафильтрационной обработки, находились на уровне 5,5 Бк/л, что меньше установленного уровня отнесения растворов к разряду радиоактивных растворов.

Изучена возможность предварительного аффинажа осветленной части прудов накопителей (испарителей) сточных вод АО «УМЗ». Осветленная часть прудов накопителей представлена раствором сложного химического состава. В преобладающем количестве в осветленной части прудов присутствуют ионы аммония и натрия. Методика проведения эксперимента предусматривала применение керамических мембран с различными размером пор – 10 нм, 20 нм и 100 нм. Анализ полученных результатов показал, что в отношении железа, калия, магния, кальция, бериллия, кремния и натрия ультрафильтрационная очистка не эффективна, перераспределение указанных элементов отсутствовало. Отмечалось перераспределение ионов многовалентных тяжелых металлов, которые, вероятно, сорбируются мицеллами ПАВ и удаляются из системы в процессе ультрафильтрации, однако степень аффинажа не достаточна, в среднем 20%. В связи с чем, необходимы дополнительные исследования по оценке возможности ультрафильтрационного аффинажа осветленной части прудов-испарителей с применением предварительной реагентной обработки водной части.

ПОРТАТИВНЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ РАДИОНУКЛИДОВ

И. В. Покровский

ТОО «Приборы Казахстан», г. Алматы, Республика Казахстан

Тел. +7 (727) 331-6083; E-mail: igor@pribori.com

Детекторы на кристаллах особо чистого германия (ОЧГ) считаются «золотым стандартом» для задач радиоизотопной идентификации, поскольку они обеспечивают разрешение по энергии в ~35 раз лучше в сравнении с детекторами на кристаллах NaI и в ~15 раз лучше в сравнении с детекторами на кристаллах LaBr₃ и CeBr₃. При этом диаметр кристалла ОЧГ может достигать 10 см, что обеспечивает намного большую эффективность регистрации детекторов на ОЧГ в сравнении с детекторами на кристаллах CZT. Преимущество в разрешении даёт выигрыш в характеристиках идентификатора (уменьшение числа ложных срабатываний, превосходное детектирование на больших расстояниях, качественный спектр для последующего анализа).

В отличие от детекторов, обладающих худшим разрешением, детекторы на кристаллах ОЧГ должны работать при сверхнизких температурах. Данный факт создаёт технологическую проблему, которая была решена специалистами ORTEC более 30 лет назад. С момента создания первого портативного радиоизотопного идентификатора на основе детектора ОЧГ, охлаждаемого с помощью электромеханического охладителя, работающего по принципу машины Стирлинга, идентификаторы семейств Detective и transSPEC производства ORTEC стали отраслевым стандартом.

Все эти годы специалисты ORTEC находились в тесном контакте с пользователями идентификаторов, выявляя их основные потребности в части дальнейшего совершенствования приборов. Результатом анализа выявленных потребностей стала разработка и запуск в производство новой модели идентификатора – Detective-X.

Помимо чувствительности, присущей детекторам с кристаллом ОЧГ, характеристики идентификатора напрямую зависят от встроенного алгоритма идентификации. Специалисты ORTEC с 2003 года принимают участие в испытательных кампаниях, спонсируемых Департаментом обнаружения ядерных материалов, Агентством по сокращению военной угрозы, Международным агентством по атомной энергии и Национальными лабораториями Министерства энергетики США с целью дальнейшего улучшения алгоритмов идентификации и расширения библиотеки радионуклидов.

Как результат, на сегодняшний день Detective-X является наиболее чувствительным и наиболее точным радиоизотопным идентификатором, объединяя в себе самые последние алгоритмы идентификации и большой ($\varnothing 65 \times 50$ мм) кристалл ОЧГ. Данное обстоятельство позволяет рассматривать портативный гамма-спектрометр высокого разрешения с автоматической идентификацией радионуклидов Detective-X в качестве инструмента, способного решать практически любые, даже самые сложные, задачи гамма-спектрометрии без привлечения высококвалифицированных специалистов в гамма-спектрометрии.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ НТО КУЛЬТУРОЙ ПЕРЦА И БАКЛАЖАНА

Е. Н. Поливкина, Е. С. Сысоева, А. В. Паницкий, Е. В. Романенко,
Л. Ф. Субботина, А. Р. Иванова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатова, Республика Казахстан*

В настоящее время предприятия ЯТЦ являются главной причиной повышенных концентраций трития в окружающей среде (ОС). Основные формы поступления трития в ОС – это НТ и НТО. Следует отметить, что НТ практически не усваивается аэробами и быстро окисляется до молекулы НТО, которая легко включается в трофические цепи. Приоритетная роль в данном процессе принадлежит аэральному поглощению трития растениями, с последующим метаболическим включением радионуклида в органическое вещество посредством фотосинтеза. Цель исследования заключалась в количественной оценке аэрального поглощения НТО овощными культурами на примере перца и баклажана.

Экспозицию растений проводили в лабораторных и полевых условиях. Длительность экспозиции растений составляла от 6 до 8 часов. Отбор проб растений (листья, стебли, плоды) во время экспозиции проводили с интервалом 2 часа, а в пост экспозиционный период спустя 1 ч, 1 сутки и 14 суток в трехкратной повторности.

Выделение трития свободной воды (ТСВ) производили посредством специальной установки. Выделение органически-связанного трития (ОСТ) производили с использованием «Sample Oxidizer». Удельную активность трития измеряли методом жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии с использованием спектрометра «QUANTULUS 1220»

Различные условия при проведении экспериментов позволили дать сравнительную оценку поглощения трития растениями в зависимости от действия факторов ОС. Так, независимо от уровня концентрации НТО в воздухе и действия других факторов, максимальная активность ТСВ в листьях по сравнению с другими органами, безусловно, объясняется фоллиарным поглощением радионуклида. В отдаленном пост-экспозиционном периоде в результате разбавления межклеточного сока чистой водой, а также частично за счет включения трития в метаболический синтез, происходило выравнивание концентрации ТСВ в органах независимо от стадии вегетации. Отмеченные пики концентрации в пост-экспозиционный период в стеблях могут быть связаны с движением межклеточной воды из мезофилла листьев по сосудам ксилемы. Зафиксированный эффект концентрирования ТСВ в мезофилле листьев, очевидно, обусловлен изотопным фракционированием по диффузному типу.

Относительно ТСВ концентрация формирующейся в ходе экспозиции органической формы радионуклида была ниже на 1–2 порядка. При этом распределение органической формы радионуклида в растениях не имело четкой закономерности, по сравнению с ТСВ. Для концентрации ОСТ пики отмечены после экспозиции, что обусловлено оттоком тритиевых ассимилятов из листьев. Данный факт подтверждают значения коэффициентов транслокации.

Корреляционный анализ не выявил наличие больших по модулю (выше 0,7–0,8) значений коэффициентов корреляции между значениями переменных (ТСВ, ОСТ) и условий окружающей среды (НТО, температурой, относительной влажностью воздуха и уровнем освещенности), что свидетельствует о дополнительном влиянии внутренних факторов (резистентность устьиц, фотосинтетическая активность хлорофилла и т.д.).

Полученные результаты, несомненно, вносят дополнительный вклад в исследования поведения трития в ОС, которые активно обсуждаются и поддерживаются МАГАТЭ.

TOWARDS VISUALIZING RADIOACTIVE SUBSTANCES IN THE GLOBAL RADIATION ENVIRONMENT USING AN INTEGRATED RADIATION IMAGING SYSTEM

Yuki Sato

*Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science, Japan Atomic Energy Agency,
790-1 Ohtsuka, Motooka, Tomioka-machi, Futaba-gun, Fukushima 979-1151, Japan*

E-mail: sato.yuki@jaea.go.jp

The author proposed and developed an integrated Radiation Imaging System called “iRIS”, which combines a Compton camera, a device for visualizing gamma-emitting nuclides, with Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) device. This system enables remote three-dimensional visualization of the location of radioactive hotspots where radioactive substances have accumulated locally. Verification tests for the detection of radioactive hotspots have been conducted at the difficult-to-return zone and the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (FDNPS) in Fukushima Prefecture, Japan [1–3]. Furthermore, reports have been made on the visualization techniques for not only gamma-emitting nuclides but also alpha and beta-emitting nuclides by combining directional semiconductor detector and Geiger-Mueller counter with SLAM, based on the results obtained from experiments conducted in the laboratory [4, 5]. At the international conference, the author will present examples of visualizing radioactive substances at laboratories, difficult-to-return zone, and FDNPS along with the essential technologies and integration of these techniques that made it possible.

Additionally, monitoring of radioactive substances at the Semipalatinsk Test Site is one of the highly relevant topics to be discussed at this international conference. The iRIS method, which will be introduced this time for radioactive substances visualization, is believed to have the potential for application in visualizing radioactive hotspots derived from nuclear tests, and the author would like to discuss this possibility.

REFERENCES

1. Sato Y, Ozawa S, Terasaka Y, et al. Remote detection of radioactive hotspot using a Compton camera mounted on a moving multi-copter drone above a contaminated area in Fukushima. *J Nucl Sci Technol.* 2020; 57: 734–744.
2. Sato Y, Terasaka Y. Radiation imaging using an integrated Radiation Imaging System based on a compact Compton camera under unit 1/2 exhaust stack of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. *J Nucl Sci Technol.* 2022; 59: 677–687.
3. Sato Y, Terasaka Y. Radiation imaging of a highly contaminated filter train inside Fukushima Daiichi Nuclear Power Station unit 2 using an integrated Radiation Imaging System based on a Compton camera. *J Nucl Sci Technol.* 2023; 60: 1013–1026.
4. Sato Y, Minemoto K, Nemoto M. 3D position and radioactivity estimation of radiation source by a simple directional radiation detector combined with structure from motion. *Radiation Measurements*, 2021; 142: 106557.
5. Sato Y, Minemoto K, Nemoto M. Three-dimensional visualization of a beta-emitting nuclide by combining a directional Geiger–Mueller counter and Structure from Motion. *JINST*; 16: C10008.

БОЛЕЗНИ ПОЧЕК И КОНЦЕНТРАЦИЯ УРАНА В МОЧЕ У НАСЕЛЕНИЯ СЫРДАРЬИНСКОЙ УРАНОВОЙ ПРОВИНЦИИ

Е. А. Сайфулина, Д. Д. Джанабаев, М. Н. Аумаликова, Е. Т. Кашкинбаев, П. К. Казымбет

*Институт радиобиологии и радиационной защиты,
НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан*

Проблема экологически детерминированной патологии актуальна для работников урановых регионов Казахстана, к которым относится Сырдарьинская урановорудная провинция Южного Казахстана. Известно, что при загрязнении окружающей среды возрастает нагрузка на элиминирующую функцию почек, что способствует более частому развитию экологически обусловленной почечной патологии. Тем более что уран оказывает токсическое действие на почки и как тяжелый металл, и как альфа-излучающий радионуклид.

Целью нашего исследования явилось изучение распространенности почечной патологии и содержанием урана в моче у населения, проживающего в зоне воздействия предприятий урановой промышленности.

В работе представлены результаты когортного исследования среди населения, проживающего в зоне влияния уранодобывающих предприятий – села Бидайколь Кызылординской области, которое расположенного ближе всего к уранодобывающему предприятию (n=2051), а в качестве контрольной группы – жители села Сунаката Жанакорганского района Кызылординской области (n=1102), в качестве второй контрольной группы

был выбран населенный пункт Шардара в Шардаринском районе Туркестанской области, расположенный более чем в 400 км от предприятия урановой промышленности также вдоль реки Сырдарья. ($n=1102$). Исследование на содержание урана в суточной моче выполнялось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Анализ данных показал, что основными заболеваниями, характерными для изучаемого региона являются болезни мочеполовой системы. Их распространенность среди взрослого населения составила 239,5 на 1000 человек села Бидайколь и превышала данный показатель в селе Сунаката почти в 1,3 раза (185,5 на 1000 человек, $\chi^2=20,93$, $p=0,00$) и в 1,5 раза в Шардаре (160,6 на 1000 человек $\chi^2=82,33$, $p=0,00$) Среди них было выявлено 758 случаев болезней почек – 201,9 на 1000 человек, что также было в 1,3–1,5 раза выше чем у населения контрольных групп. Почечная патология превалировала у населения в возрасте 40 лет, чаще встречалась у женщин и зависела от срока проживания на территории в зоне влияния предприятия урановой промышленности у мужчин. Структура почечных заболеваний была представлена тубулоинтерстициальными болезнями почек. У большинства исследуемых в заключительном диагнозе выставлялся хронический пиелонефрит и хронический тубулоинтерстициальный нефрит. Концентрация урана в моче в населенном пункте Бидайколь была выше условной границы нормы в 1,5% проб, превышала показатели в поселке Сунаката в 1,6 раза, а в Шардаре в 2,4 раза.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали высокую распространенность заболеваний почек у жителей села Бидайколь по сравнению с контрольными группами. Средние значения концентрации урана в моче были выше в основной группе и снижались по мере удаления от предприятия урановой промышленности.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТКАНЕЙ ТОНКОГО КИШЕЧНИКА КРЫС ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОСТУПЛЕНИИ В ОРГАНИЗМ ПЫЛИ УРАНОВОЙ РУДЫ В РАЗНЫХ ДОЗАХ

Д. С. Тажибаева, К. Б. Манекенова, Н. Б. Кабдуалиева, Е. А. Сайфулина,
Ж. Б. Айтбаева, К. К. Ниязбекова, Т. Н. Тулеуов, М. Б. Тохаева

НАО «Медицинский университет Астана», г. Астана, Республика Казахстан

Тонкий кишечник в острый период после перорального поступления урана в организм является критическим органом, и его повреждение в значительной мере отягощает тяжесть поражения всех систем организма. Целью настоящего исследования явилось изучение концентрации урана в кишечной стенке и сравнительная оценка морфологических изменений тканей тонкой кишки крыс-самцов после перорального поступления в организм пыли урановой руды в различных дозах.

Эксперименты были выполнены на 45 половозрелых крысах-самцах. Животные были подразделены на 3 группы: I группу составили интактные особи, II и III группы были представлены лабораторными крысами, подвергшимся инкорпорированному воздействию пыли урановой руды (ПУР) в дозах 25 и 50 ПДК соответственно. Каждая группа насчитывала по 15 животных. Урановая интоксикация животных моделировалась путем перорального поступления пыли урановой руды (ПУР) в течение 7 суток вместе с кормом. По ее окончании проводилось морфологическое исследование ткани тонкого кишечника крыс по общепринятой методике. Содержание урана определяли в тонком кишечнике лабораторных животных через 24 часа после последнего кормления ПУР, на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой «Agilent-7800».

Концентрация урана в биологических образцах тканей тонкого кишечника составила $2137,9 \pm 370,9$ нг/л у животных, получавших дозу ПУР в 25 ПДК и $2306,21 \pm 366,6$ у крыс с поступавшей дозой ПУР в 50 ПДК. Результаты, полученные в экспериментальных группах животных, статистически значимо отличались от уровня концентрации урана в тонком кишечнике у интактных животных в $35,7 \pm 10,03$ нг/л ($p=0,004$ для III группы и $p=0,01$ для II группы крыс). В тонком кишечнике крыс, подвергшихся урановой инкорпорации в дозе 25 ПДК выявлялись гистологические признаки поверхностного очагово-десквамативного энтерита, при котором структурные изменения слизистой оболочки являются обратимыми за счет последующих регенераторных процессов. Патоморфологическое исследование тонкой кишки крыс, подвергшихся урановой инкорпорации в дозе 50 ПДК выявило, что на фоне полнокровия сосудов микроциркуляторного русла, отека и неравномерной лимфоцитарно-плазмочитарной инфильтрации, отмечалась белковая дистрофия покровного эпителия. Были обнаружены эрозивные дефекты слизистой оболочки кишки, проникающие вглубь до уровня собственной базальной пластинки. Гиперплазия лимфоидных фолликулов тонкой кишки подопытных крыс с образованием светлых центров, свидетельствует об активации и В и Т-клеточного иммунного ответа. Обнаруженные изменения могут быть расценены как гистологическая картина острого фолликулярно-эрозивного энтерита.

Таким образом, пыль урановой руды, при пероральном введении, оказывает дозозависимый повреждающий эффект на слизистую оболочку тонкой кишки в эксперименте у крыс. При этом, чем выше доза поступающей ПУР, тем более выражены морфологические изменения слизистой оболочки тонкой кишки. Вместе с тем, эрозивные дефекты и реактивная гиперплазия лимфоидной ткани развиваются на фоне более высоких показателей концентрации урана в тканях тонкой кишки подопытных крыс, получавших большую дозу промышленной пыли урановой руды.

ИССЛЕДОВАНИЕ В БАССЕЙНЕ ТРАНСГРАНИЧНОЙ «КЫРГЫЗСТАН-КАЗАХСТАН» РЕКИ КАРАБАЛТА

М. Севериненко¹, В. П. Солодухин¹, Б. М. Дженбаев²,
С. Г. Ленник¹, Б. К. Жолболдиев²

¹ РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

² Институт биологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В докладе приведены результаты исследования и оценки содержания токсичных химических элементов в пробах воды р. Карабалта вдоль по руслу, а также водных объектов, расположенных в бассейне этой реки и близ хвостохранилища ГРК «Кара-Балта».

По результатам ежегодного гидрохимического мониторинга на приграничных створах трансграничных рек, втекающих из Кыргызстана в Казахстан, в воде рек Шу и Карабалта ежегодно фиксируются повышенные концентрации токсичных химических элементов, таких как U, Li, Mo и др. [1–3]. В предыдущих исследованиях выявлено, что признаки загрязнения имеют также приграничные участки других трансграничных рек [4].

По результатам изучения элементного состава проб поверхностных вод, отобранных вдоль русла р. Кара-Балта на территории Кыргызстана и Казахстана, показано, что в приграничной зоне имеется локальный участок поступления в поверхностные воды урана, а также Co, Mo, Ni, B, Li. В пробах поверхностных вод, отобранных в окрестностях г. Кара-Балта выявлено повышенное содержание B, Li, Sr, U, а также очень большое содержание Mo – 116 мкг/л и 262 мкг/л в воде двух водохранилищ, расположенных наиболее близко к хвостохранилищу КГРК «Кара-Балта».

В результате выполненных исследований выявлены признаки негативного влияния на уровень загрязненности токсичными элементами воды трансграничной реки р. Карабалта. Источником загрязнения могут быть загрязненные трансграничные подземные воды [5], которые контактировали с негерметичным ложем хвостохранилища ГРК «Кара-Балта». Не исключено, что другим источником загрязнения могут являться возвратные ирригационные воды с сельскохозяйственных угодий, загрязненные в результате активного применения удобрений и химикатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Solodukhin, V.; Poznyak, V.; Kabirova, G.; Ryazanova, L.; Lennik, S.; Liventsova, A.; Bychenko, A.; Zheltov, D. Radionuclides and Toxic Chemical Elements in the Transboundary Kyrgyzstan–Kazakhstan Rivers. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **2016**, 309. <https://doi.org/10.1007/s10967-016-4817-2>.
2. Solodukhin, V.; Poznyak, V.; Kabirova, G.; Stepanov, V.; Ryazanova, L.; Lennik, S.; Liventsova, A.; Bychenko, A.; Zheltov, D. Natural Radionuclides and Toxic Elements in Transboundary Rivers of Kazakhstan. *Radiation Protection Dosimetry* **2015**, 164 (4), 542–547. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv322>.
3. Severinenko M.; Solodukhin V.; Lennik S.; Kabirova G.; Bychenko A. Water Elemental Composition and Toxicity in Kazakhstan's Transboundary Rivers. *Central Asian Journal of Water Research* **2023**, No. 9 (1), 19–32. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-1/19-32.eng>.
4. Severinenko, M. A.; Solodukhin, V. P.; Djenbaev, B. M.; Lennik, S. G.; Zholboldiev, B. K.; Snow, D. D. Occurrence of Radionuclides and Hazardous Elements in the Transboundary River Basin Kyrgyzstan–Kazakhstan. *Water* **2023**, 15 (9), 1759. <https://doi.org/10.3390/w15091759>.
5. Liu, Y.; Wang, P.; Ruan, H.; Wang, T.; Yu, J.; Cheng, Y.; Kulmatov, R. Sustainable Use of Groundwater Resources in the Transboundary Aquifers of the Five Central Asian Countries: Challenges and Perspectives. *Water* **2020**, 12 (8), 2101. <https://doi.org/10.3390/w12082101>.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ

Е. К. Соколенко, С. Г. Ленник, Г. М. Кабирова, К. А. Бедельбекова

РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

Нейтронно-активационный анализ (НАА) – один из основных методов для определения элементного состава в образце путем облучения исследуемого образца потоком нейтронов, дальнейшем измерением образца на гамма-спектрометре и последующим расчетом активности радионуклидов. К достоинствам метода можно отнести значительный диапазон определяемых элементов, хорошую чувствительность, простую пробоподготовку, малую массу навесок.

В ИЯФ источником нейтронов для проведения анализа служит исследовательский реактор ВВР-К (мощность – 6 МВт, макс. плотность потока нейтронов – $2 \cdot 10^{14} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$), а сам метод развивается в институте 60-х годов XX века. НАА применяется для исследования объектов окружающей среды – геологических образцов, почв, растительности; а также образцов керамики, костей и т.д.

В качестве примера применения метода в данном докладе приведено исследование образца минерального сырья, полученного из Института радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ) в рамках межлабораторных сличительных испытаний.

НАА можно разделить на два подтипа – определение короткоживущих изотопов (КЖИ) и долгоживущих изотопов (ДЖИ). Для определения КЖИ используется пневмотранспортная система с временем облучения до 5 мин. Для ДЖИ – используется гидропочта с большим временем облучения, последующей выдержкой облученных образцов в несколько суток, переупаковкой и измерением на специальном устройстве смены образцов (УСО), позволяющем в автоматическом режиме измерить партию до 45 навесок.

Расчет концентрации элементов производится методом группового стандарта. Согласно методу, вместе с исследуемыми образцами облучаются стандарты, имеющие аттестованные паспортные значения. При этом специализированное ПО позволяет подобрать наиболее подходящее значение элемента из облученных стандартов с наименьшей погрешностью. Рассчитанные значения активностей стандартов сравниваются со значениями активностей облученных образцов, затем активности переводятся в значения концентраций.

В качестве дополняющего метода также использовался рентгено-флуоресцентный анализ (РФА). Измерения проводились на энергодисперсионных спектрометрах отечественного производства РЛП-21 №38 (универсальный) и РЛП-21 №58 (специализированный для редкоземельных металлов).

Для определения КЖИ на пневмопочте была облучена капсула с навеской 0,2 г (при $t_{\text{обл}} = 60 \text{ с}$, $t_{\text{охл}} = 600 \text{ с}$, $t_{\text{измерения}} = 600 \text{ с}$). Также для определения стабильности потока был облучен никель-хромовый монитор. Для определения ДЖИ была облучена фасовка ($t_{\text{обл}} = 2 \text{ ч}$) из 28 образцов (4 навески исследуемого образца (3 по 0,1 г, 1 по 0,2 г), монитор потока, стандартные образцы). Было проведено две серии измерений, на 6 сутки и на 21 сутки после облучения, соответственно. Итоговые результаты по каждой навеске, обладающие хорошей сходимостью, были объединены и усреднены.

У каждого из трех примененных методов имеется свой набор определяемых элементов, для которого этот метод является оптимальным.

Результаты исследования позволили определить концентрацию элементов в образце – для 33 элементов по ДЖИ, для 10 элементов по КЖИ и для 18 элементов методом РФА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ФАКТОРА НА СТРУКТУРНО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Е. С. Сысоева, Е. Н. Поливкина, А. В. Паницкий

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Растительные популяции, подвергающиеся хроническому облучению, могут характеризоваться как ускоренным мутационным процессом, так и различными уровнями активации систем адаптации к стрессовым факторам окружающей среды. В данном аспекте листовая пластина является перспективным органом-

индикатором структурно-анатомических изменений вследствие накопления радиоактивных веществ как при корневом, так и при фоллиарном поступлении. В связи с этим, цель данной работы заключалась в изучении влияния радиационного фактора на морфо-анатомические показатели листьев 3-х последовательных поколений фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) в условиях модельного эксперимента при корневом поступлении радионуклида Sr-90. Фасоль выращивали на почвах, отобранных на территории, где осуществлялись испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ). Параллельно выращивали контрольную группу растений на фоновой почве с идентичными физико-химическими свойствами. Отбор листьев растений производили в конце вегетации после их полного формирования с последующей фиксацией в Копенгагенской смеси. В качестве основных следующих параметров использовали толщину мезофилла и толщину верхней и нижней эпидермы.

Согласно полученным данным, значение медианы в экспериментальной и контрольной выборках почти совпадает со средним значением, что указывает на однородность исследуемых выборок. Данный факт подтверждают также и коэффициенты вариации, значения которых во всех случаях значительно ниже 50% (максимум для толщины мезофилла – 22%, а минимум – для толщины верхнего эпидермиса 11%). Наибольшие значения исследуемых параметров отмечены в листьях 1-го поколения (толщина верхнего эпидермиса – 13 мкм, толщина нижнего эпидермиса – 15 мкм, толщина мезофилла – 202 мкм, площадь проводящих пучков – 26923 мкм²), меньшие – для 2-го и 3-го поколения (толщина верхнего эпидермиса – 12 и 11 мкм, толщина нижнего эпидермиса – 13 мкм, толщина мезофилла – 194 и 155 мкм, площадь проводящих пучков – 22283 и 12586 мкм²), а минимальные – для контрольной группы (толщина верхнего эпидермиса – 10 мкм, толщина нижнего эпидермиса – 12 мкм, толщина мезофилла – 125 мкм, площадь проводящих пучков – 13282 мкм²). Толщина мезофилла в экспериментальной группе 1-го, 2-го и 3-го поколения больше, чем в контрольной в среднем на 38, 36 и 21%, толщина верхнего эпидермиса – на 23, 17 и 9%, а нижнего – на 20 и 8% соответственно. В листьях растений 3-го поколения толщина верхнего и нижнего эпидермиса на 15 и 13% достоверно меньше по сравнению с 1-ым поколением. Площадь проводящих пучков в экспериментальной группе 1-го и 2-го поколения больше, чем в контрольной в среднем на 53 и 36%, а в листьях растений 3-го поколения практически не отличается от контроля.

Таким образом ионизирующее излучение вызывает увеличение толщины мезофилла, верхнего и нижнего эпидермиса листовой пластины, а также площади проводящих пучков в результате усиления флоэмного потока. Данный факт подтверждает особую роль листовой пластины как органа, в котором происходит «консервация» поллютантов, в частности Sr-90.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИТИЯ В СИСТЕМЕ «ВОДА – ПОЧВА – ВОЗДУХ»

Л. В. Тимонова, Н. В. Ларионова, А. К. Айдарханова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Принимая во внимание относительно короткий период полураспада трития (³H), его высокую миграционную способность и наличие нескольких физико-химических форм, современные знания о закономерностях поведения ³H в окружающей среде вполне неоднозначны. Миграция ³H в компонентах окружающей среды представляет собой сложные многолетние и многостадийные процессы. Масштабы тритиевого загрязнения природных экосистем, расположенных в зоне влияния радиационно-опасных объектов и предприятий атомной отрасли, могут значительно недооцениваться. Для того, чтобы проводить корректную оценку содержания ³H в окружающей среде, важно понимать механизмы его перераспределения в ней. Наиболее важное место в изучении миграции ³H играет как минимум три ключевых компонента – вода, почва и воздух, которые являются основной абиотической цепочкой жизнедеятельности всего живого на земле.

Цель работы – исследование содержания и перераспределения ³H в системе «вода – почва – воздух».

Выбранные участки исследований располагались на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП): площадка «Дегелен», прибрежная зона р. Шаган и участок условно «фоновой» территории, расположенный в юго-восточной части СИП.

Результаты проведенных исследований показали наличие ³H в разных формах в исследуемых объектах окружающей среды. Присутствие ³H зафиксировано не только в местах проведения подземных ядерных испытаний, но и на «фоновой» территории – юго-восточной части СИП. Проведенные исследования предполагают, что в процессах миграции ³H в исследуемой природной системе ключевую роль играет вода. В ходе проведенных работ установлено, что на исследовательских участках территории СИП удельная активность ³H в воде варьирует от <6 до 61 000 Бк/кг. Второй по значимости, но не менее важной составляющей, является почва. В почве, на исследуемых участках, основное количество ³H содержится в виде свободной воды – до 5 170 Бк/кг. Данная форма ³H преимущественна для мест миграции ³H с поверхностными водами (ручьи

площадки «Дегелен», р. Шаган). Также в почве площадки «Дегелен» и на «фоновой» территории выявлены связанные формы ^3H – до 1 700 Бк/кг. Третьей составляющей по перераспределению ^3H в природной системе является воздух. Воздух тесно связан с открытыми тритиевыми источниками – почвой и водой, в которых в обязательном порядке в течение года происходит процесс с неравномерной эманацией ^3H . Динамика концентрации НТО и НТ в воздухе на участках в течении всего исследовательского периода составила от $<0,5$ до 56 Бк/м³. Дополнительным открытым источником ^3H может являться растительность, произрастающая на участках исследования – процесс транспирации также может влиять на механизм образования ^3H в воздушной среде.

Установлено, что ^3H на территории СИП легко перераспределяется в абиотических объектах окружающей среды в зависимости от нескольких факторов. Основными факторами, влияющими на ход перераспределения ^3H , могут быть не только радиационный эффект после проведения ядерных испытаний, но и следующие: погодные условия (температура/влажность воздуха), сезонные изменения, тип и состояние почвенно-растительного покрова, гидрогеологические изменения, приводящие к изменениям поведения ^3H в поверхностных водах, транспирация растениями, жизнедеятельность микроорганизмов в почве и др.

СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ТЕРРИТОРИИ СИП

Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, Р. Г. Ермакова, А. С. Мамырбаева, К. Ю. Демкова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Вследствие проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) произошло значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды, в том числе и поверхностных вод. На территории СИП расположены различные типы водных объектов. На примере природных озер (оз. Жингылды, оз. без названия 4 (б/н 4), оз. Шубран, оз. Кишкенсор, оз. Ащиколь, оз. Акмолайсор) исследованы уровни содержания радионуклидов в статическом водном объекте за счет радиоактивных выпадений и смыва (выщелачивания) из донных отложений в воду, а на примере ручьев площадки «Дегелен» (руч. Байтлес, руч. Токтакушик, руч. Узынбулак, руч. Карабулак) и генетически связанных с ними водотоков штолен (шт. 609, шт. 165, шт. 104, шт. 504) исследована динамическая среда, способная переносить радионуклидное загрязнение на многие десятки километров.

Для оценки современного уровня загрязнения водных объектов техногенными радионуклидами на исследованных озерах и водотоках отобраны пробы воды, растений и донных отложений. С целью определения содержания радионуклидов в отобранных компонентах водной среды выполнены γ -, β - и α -спектрометрические измерения.

Установлено, что в водах водотоков площадки «Дегелен» содержание ^{137}Cs находится в диапазоне от $0,14 \pm 0,01$ до 145 ± 10 Бк/кг за исключением ручьев Байтлес и Токтакушык, а также вод исследованных природных озер, в которых данный радионуклид находится ниже предела обнаружения (ПО) используемого аппаратурно-методического обеспечения. Содержание радионуклида ^{90}Sr в воде водотоков находится в диапазоне от $0,2 \pm 0,02$ до 950 ± 90 Бк/кг, в воде исследованных озер в диапазоне от 4 ± 1 до 90 ± 9 Бк/кг. Удельная активность ^3H в воде оз. Кишкенсор составила $200\,000 \pm 30\,000$ Бк/кг, воде оз. Акмолайсор 15 ± 4 Бк/кг, в исследованных водах площадки «Дегелен» содержание радионуклида ^3H находится в диапазоне от $(2,4 \pm 0,2) \cdot 10^3$ до $(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^5$ Бк/кг. Получены численные значения содержания радионуклида б/н 4 – $(1,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$ Бк/кг, в водах водотоков площадки «Дегелен» содержание данного радионуклида составило от $(1,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$ до $0,14 \pm 0,01$ Бк/кг.

Удельная активность для ^{137}Cs в донных отложениях исследованных озер составила от 2 ± 1 до $24 \pm 2,5$ Бк/кг, ^{90}Sr от $<0,6$ до 540 ± 80 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ от $<0,21$ до 12 ± 3 Бк/кг. В донных отложениях исследованных водотоков удельная активность для ^{137}Cs составила от <1 до $(4,8 \pm 0,5) \cdot 10^5$ Бк/кг, ^{90}Sr от 27 ± 6 до $(2,6 \pm 0,4) \cdot 10^5$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ от $6,4 \pm 2,6$ до 891 ± 35 Бк/кг. Содержание ^{137}Cs и ^{241}Am в растениях исследованных озер находится ниже ПО, удельная активность ^{137}Cs для растений исследованных водотоков составила от 9 ± 2 до $(5,4 \pm 0,05) \cdot 10^5$ Бк/кг. Также получены численные значения ^{90}Sr в растениях, отобранных на оз. б/н 4 и оз. Кишкенсор, которые составили $2,9 \pm 1,8$ Бк/кг и 280 ± 40 Бк/кг соответственно, удельная активность ^{90}Sr в растениях с водотоков площадки «Дегелен» находится в диапазоне от 194 ± 29 до $(1,2 \pm 0,2) \cdot 10^4$ Бк/кг. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в растениях оз. Ащиколь составило $0,9 \pm 0,4$ Бк/кг, в растениях водотоков площадки «Дегелен» от $0,12 \pm 0,08$ до 65 ± 20 Бк/кг.

Методом каскадной фильтрации определены формы нахождения радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в воде водотоков штолен площадки «Дегелен». Установлено, что для ^{90}Sr и ^{137}Cs основной формой нахождения

является растворенное вещество (до 95–100%), для $^{239+240}\text{Pu}$ характерно нахождение в виде грубой взвеси и взвешенных веществ (до 68–98%).

Полученные данные по уровням загрязнения компонентов водной среды исследованных объектов СИП указывают на необходимость наблюдения за радиэкологическим состоянием поверхностных вод. На сегодняшний день происходит поступление загрязненных подземных вод с площадки «Балапан» в оз. Кишкенсор, а также вынос с водой радионуклидного загрязнения из полостей штолен площадки «Дегелен» на дневную поверхность.

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ИЗОТОПАМИ УРАНА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

Т. В. Тузова

*Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук,
г. Бишкек, Кыргызская Республика*

В обобщение ранее опубликованных работ представлены результаты изменений изотопных соотношений природного урана в поверхностных и подземных водах основных речных бассейнов Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая от зон формирования стока до зон рассеяния. По неравновесному урану установлены три генетических типа вод, ответственных за формирование водных ресурсов горных речных бассейнов: атмосферные осадки и талые воды ледников; приповерхностные воды активного водообмена; воды глубокой циркуляции в горных массивах. Выявлены особенности миграции урана в водах разных речных бассейнов.

Показано, что в Иссык-Кульском бассейне наиболее радиологически чистыми являются поверхностные воды р. Чон-Кызыл-Суу в юго-восточном Прииссыккулье. Отмечена незначительная доля вод глубинной циркуляции в питании этой реки и атмосферное происхождение подземных вод. Выявлено заметное повышение содержания урана в поверхностных водах бассейна в 2018 г. по сравнению с результатами, полученными в 2015–2016 гг.

В районе бывшего уранового рудника Каджисай обнаружены высокие концентрации урана в поверхностных водах ручья Джилисуу и в подземных водах верхнего водоносного горизонта. По уран-изотопным соотношениям оценен максимальный вклад растворенного урана из зоны урановой аномалии в опробованные водоисточники региона.

Для района золоторудного комбината Кумтор показана современная радиологическая чистота окружающих месторождение ледников и поверхностных вод р. Кумтор, являющейся одним из верхних притоков р. Нарын. Однако талые воды из-под отвалов пустой породы, складированных у языков ледников, а также воды в карьере месторождения заметно обогащены ураном.

Для р. Чу по неравновесному урану оценен вклад основных источников в формирование водных ресурсов бассейна и показано обогащение ураном поверхностных и подземных вод в зоне рассеяния стока, являющейся региональной дренажной зоной.

В приледниковых зонах рек Кыргызского хребта отмечено обогащение ураном некоторых высокогорных озер, что может служить одним из критериев их прорывоопасности.

Для бассейнов рек Нарын-Майлуу-Карадарья-Сырдарья показана радиологическая чистота поверхностных вод в зонах формирования стока, локальное обогащение ураном подземных вод, выклинивающихся в юго-восточной части Токтогульского водохранилища, и повышение концентраций урана в р. Майлуу после ее прохождения урановых хвостохранилищ.

Развеев миф о загрязнении ураном вод Ферганской долины реками Нарын и Майлуу. Показана необходимость организации мониторинга изотопного состава урана в водах региона для контроля изменения радиологической обстановки в связи с изменением климата и антропогенного воздействия.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА И МОНИТОРИНГ НАБЛЮДЕНИЙ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, А. Л. Дашук, А. А. Круглыхин

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Проведенные комплексные экологические исследования на СИП показали, что основное площадное загрязнение почвенного покрова возникло после проведения воздушных и наземных ядерных испытаний на площадке «Опытное поле», в результате которых в воздушную среду выброшено большое количество радиоактивного вещества. Высокие уровни площадного радиоактивного загрязнения ограничены территорией проведения ядерных испытаний (испытательные площадки СИП). На этих участках концентрации трансурановых радионуклидов в почвенном покрове достигают 10^4 Бк/кг. Оси следов радиоактивных выпадений от воздушных и наземных ядерных испытаний проходят в восточном, юго-восточном и южном направлении от площадки «Опытное поле», и в ряде случаев наблюдаются за пределами СИП.

Целью данной работы являлось изучение механизмов формирования радиоактивного загрязнения воздушной среды на СИП и прилегающей территории.

Для оценки распространения искусственных радионуклидов за пределы загрязненных участков на «Атомном озере» площадки «Балапан» и технической площадке ПЗ «Опытное поле» были заложены исследовательские профили и проведен отбор проб воздушных аэрозолей на различном удалении от эпицентра. Для оценки динамики концентрации искусственных радионуклидов в атмосферном воздухе на технической площадке ПЗ «Опытное поле» проведен отбор проб воздушных аэрозолей в различные суточные периоды.

Экспериментальные исследования воздушной среды на эпицентрах испытательных площадок СИП выявили наличие повышенных концентраций радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде. На гребне воронки «Атомного озера» концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в воздухе не превышала $6,5 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, на эпицентре технической площадки П-З «Опытное поле» – достигала $1,6 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³, что достигает уровень ДОА_{перс.} Однако на расстоянии 200–400 м от радиоактивно-загрязненного участка концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ снижается в 100 раз, а на расстоянии 4–5 км снижается в 1000 раз.

Для проведения мониторинговых наблюдений на СИП и прилегающей территории организованы круглосуточные стационарные посты, на которых проводился отбор проб воздушных аэрозолей. На площадке «Балапан» концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в воздухе варьирует в диапазоне от $9,0 \cdot 10^{-8}$ до $1,1 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, на площадке «Дегелен» – от $3,0 \cdot 10^{-9}$ до $1,5 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. В населенных пунктах, прилегающих к территории СИП, объемная активность радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ составляет: г. Курчатов – от $3,0 \cdot 10^{-9}$ до $6,0 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, п. Долонь – от $4,5 \cdot 10^{-9}$ до $5,8 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³, п. Саржал – от $4,4 \cdot 10^{-7}$ до $1,3 \cdot 10^{-6}$ Бк/м³. Полученные значения объемной активности искусственных радионуклидов на постах наблюдения СИП и прилегающей территории не превышают ДОА_{нас.}, установленной гигиеническими нормативами и находятся на уровне фоновых значений для данного региона.

Текущее радиационное состояние воздушной среды на СИП и прилегающей территории стабильное и опасности для населения не представляет. Полученные данные будут применены для создания комплексной системы радиационного мониторинга состояния окружающей среды на СИП и прилегающей территории, что позволит повысить уровень информированности населения и снизить радиофобию у населения в регионе.

Проведенное исследование было профинансировано Министерством Энергетики Республики Казахстан (ARN BR09158470) в рамках выполнения мероприятия «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮТЕЦИЯ-177 БЕЗ НОСИТЕЛЯ

И. А. Ушаков, В. В. Зукау, В. А. Демидов, Е. А. Нестеров

*Томский политехнический университет,
Российская Федерация, 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: jiaozu@tpu.ru

Одним из перспективных радионуклидов, применяемых в радиотерапии является радионуклид ^{177}Lu . Получение данного радионуклида без носителя является длительной процедурой, предполагающей работу с радиоактивными растворами, содержащими данный нуклид. В целях снижения дозовой нагрузки на персонал, а

также для контроля параметров получения ^{177}Lu . Используется автоматизация. Целью работы является разработка системы автоматизации процесса радиохимического выделения изотопа лютеция-177 без носителя.

Процесс получения лютеция-177 без носителя основан на хроматографическом выделении ^{177}Lu из иттербиевой мишени с последующей его концентрацией. Хроматографическое разделение выполнено на ионообменной колонке, заполненной катионообменником Dowex 50WX8, 200-400 меш. ^{177}Lu возможно контролировать по гамма излучению по линиям 113 кэВ и 208 кэВ с выходом 6,4% и 11% соответственно. Пик иттербия возможно контролировать по радионуклидам ^{169}Yb (198 кэВ) и ^{175}Yb (396 кэВ) образующихся в процессе облучения мишени нейтронами.

Система автоматизации радиохроматографии разрабатывается на базе отечественного оборудования и программного обеспечения. Высокая надёжность компонентов и модульная структура обеспечивает устойчивость системы к одиночным отказам, возможность быстрой замены и гибкой настройки. Система выполняет функции автоматического и ручного управления процессом. Управление может осуществляться как непосредственно из операторской, так и с помощью удалённых рабочих станций. Реализована возможность аварийного управления клапанами и насосными агрегатами в обход управляющих модулей, по средствам кнопок на лицевой панели Бокса. В целях мониторинга параметров установки может быть использована облачная автоматизация. Для осуществления удаленного доступа к параметрам используется сервис OwenCloud. За обмен данными между системой и облачным сервисом отвечает отдельный контроллер, не имеющий физической возможности воздействовать на технологический процесс, что обеспечивает недоступность системы для кибер атак и несанкционированного доступа.

Компоненты системы автоматизации используют Modbus RTU в качестве протокола связи между компонентами. За визуализацию отвечает SCADA система Simple-Scada2, позволяя представить экспериментальные данные и данные технологического процесса в удобной для оператора форме.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОФЛОРУ ТОЛСТОГО КИШЕЧНИКА И ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ЛЕГКИХ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Н. Ж. Чайжунусова, Д. М. Шабдарбаева, И. Кайырханова, Г. К. Амантаева,
Ж. Ж. Абишев, Б. Русланова, К. Ш. Жумадилов³, В. С. Гныря², А. С. Азимханов,
В. Ф. Степаненко⁴, N. Fujimoto⁵, M. Hoshi⁵, А. А. Дюсупов

¹ НАО «Медицинский университет Семей», г. Семей, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан

⁴ МРНЦ имени А. Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ России,
г. Обнинск, Российская Федерация

⁵ Университет Хиросимы, г. Хиросима, Япония

Цель исследования

Установить характер влияния различных видов ионизирующего излучения на состояние микрофлоры толстого кишечника и изучить экспрессию мРНК генов в тканях легких в эксперименте.

Задачи исследования

1. Исследовать состояние микрофлоры толстого кишечника лабораторных крыс на 3-е, 14-е и 60-е сутки при воздействии внутреннего (^{56}Mn) и внешнего (^{60}Co) ионизирующего излучения, а также неактивированного диоксида марганца (MnO_2).

2. Количественно оценить уровень экспрессии мРНК генов TGF-beta, TGFβR1, Smad2, Smad7, AQP1, AQP5, Hyal2, Has2 в тканях легких у крыс в разные сроки исследования и в зависимости от воздействующего фактора.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводился на 180 десятидневных лабораторных белых крысах-самцах породы «Wistar». Вес животных составлял 220 г (95% СА:203-238). Нейтронная активация порошкообразного MnO_2 проведена на ядерном реакторе ИВГ.1М (комплекс исследовательских реакторов (КИР) «Байкал-1», Курчатов, Казахстан). Были использованы следующие методы исследования: бактериологические, молекулярно-генетические, статистические.

Выводы

1. Выявлены значительные изменения микрофлоры толстого кишечника крыс, подвергавшихся воздействию внутреннего облучения. В группах внутреннего облучения количество бифидобактерии ($p=0,001$), лактобацилл ($p=0,001$) и *E. coli* ($p=0,001$) стабильно уменьшались во все сроки наблюдения. В группе, подвергшейся воздействию внешнего облучения (^{60}Co), эти изменения были кратковременными и восстановились на 14-е сутки. Изменения микрофлоры толстого кишечника у групп внутреннего облучения оказались более стойкими, чем эффекты, связанные с внешним γ -облучением ^{60}Co . В группах внутреннего облучения обнаружены условно-патогенные микроорганизмы: гемолизуемые *E. coli* ($p=0,001$), *Proteus vulgaris* ($p=0,001$).

2. По результатам количественной оценки уровня экспрессии мРНК генов выявлено: снижение экспрессии гена *TGF β R1* по сравнению с контрольной группой через 3 дня, 14 дней и 60 суток ($p=0,001$) во второй группе внутреннего облучения (^{56}Mn) в дозе 0,11 Гр, увеличение экспрессии гена *Smad7* через 14 суток ($p=0,001$) и 60 суток ($p=0,001$) у групп внутреннего облучения (^{56}Mn) в дозе 0,05 Гр и увеличение экспрессии гена *AQP5* по сравнению с контролем – в период от трех ($p=0,001$) до 60-и ($p=0,001$) суток после воздействия при дозах внутреннего облучения легких 0,05 Гр и 0,11 Гр 3-е сутки ($p=0,001$), 14-е сутки ($p=0,01$) и 60-е сутки ($p=0,002$). Внешнее γ -облучение (^{60}Co) в дозе 2 Гр на все тело не изменило экспрессию исследуемых генов по сравнению с контролем, за исключением кратковременного (на третьи сутки) повышения экспрессии гена *AQP5* ($p=0,001$). В группе с экспозицией нерадиоактивным диспергированным MnO_2 экспрессия исследуемых генов не отличалась достоверно от контроля во все сроки наблюдения.

3. Изучение экспрессии мРНК генов *TGF β R1*, *Smad7* и *AQP5* в тканях легких у крыс может служить молекулярно-генетическими критериями раннего прогнозирования радиационно-индуцированных повреждений.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕГКИХ И ТОНКОГО КИШЕЧНИКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Д. М. Шабдарбаева, Н. Ж. Чайжунусова, Д. Е. Узбеков, Г. К. Амантаева,
Ж. Ж. Абишев, Б. Русланова, К. Ш. Жумадилов³, В. С. Гныря², А. С. Азимханов,
В. Ф. Степаненко⁴, N. Fujimoto⁵, M. Hoshi⁵, А. А. Дюсупов

¹ НАО «Медицинский университет Семей», г. Семей, Республика Казахстан

² РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

³ НАО «Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан

⁴ МРНЦ имени А. Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» МЗ России,
г. Обнинск, Российская Федерация

⁵ Университет Хиросимы, г. Хиросима, Япония

Цель исследования

Установить характер морфологических изменений в легких и тонком кишечнике при влиянии малых доз ионизирующего излучения в эксперименте.

Задачи исследования

1. Микроскопическое определение характера гистоструктурных процессов, развивающихся на фоне различных сроков в легких и тонком кишечнике животных после воздействия ионизирующего излучения внутреннего (^{56}Mn) и внешнего (^{60}Co), а также инактивированного диоксида марганца (MnO_2).

2. Анализ морфометрических показателей структурных компонентов легких и тонкого кишечника.

3. Оценить прогностическую значимость пролиферативной активности клеток, путем определения уровня антигена Ki-67.

4. Определить диагностическое значение морфофункциональных изменений количественных показателей белка-регулятора апоптоза p53 в соответствующих органах крыс при воздействии ^{56}Mn , MnO_2 и ^{60}Co .

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводился на 180 десятидневных лабораторных белых крысах-самцах породы «Wistar». Вес животных составлял 220 г (95% СА:203-238). Нейтронная активация порошкообразного MnO_2 проведена на ядерном реакторе ИВГ.1М (комплекс исследовательских реакторов (КИР) «Байкал-1», Курчатов, Казахстан).

Были использованы следующие методы исследования: морфологические, морфометрические, иммуногистохимические.

Выводы

1. Структурная перестройка тканевого состава исследованных органов крыс, развивающаяся в ранние и поздние сроки после прекращения действия ^{56}Mn , указывает на токсическое, фиброгенное и сенсibiliзирующее действие внутреннего облучения по сравнению с ингаляционной заправкой MnO_2 и эффектами ^{60}Co .

2. При изучении гистоструктурных процессов, возникающих в тканях легких и тонкого кишечника после воздействия нейтронно-активированного диоксида марганца, внешнего облучения (^{60}Co) и неактивированного диоксида марганца (MnO_2), наиболее выраженные дистрофические, воспалительные и некротические изменения отмечаются в поздние сроки после облучения ^{56}Mn , выявляемые по совокупности морфометрических показателей.

3. В тканях легких и тонкого кишечника был выражен Ki-67, свидетельствующий о клеточной пролиферации в поздние сроки. В сравнительном аспекте высокий уровень антигена Ki-67 в тканях исследуемых органов в поздние сроки у экспериментальных животных отмечен после воздействия нейтронно-активированного диоксида марганца.

4. Иммуногистохимическое определение маркера p53 показало степень диагностической ценности в отношении возможного развития неопластической трансформации. Сравнительный анализ в поздних сроках исследуемых групп показал, что высокое количественное содержание белка-регулятора p53 отмечен у крыс, подвергавшихся воздействию ^{56}Mn , свидетельствуя о процессе запрограммированной клеточной гибели.

ПОГЛОЩЕНИЕ ПЛУТОНИЯ РАСТЕНИЯМИ ПРИ РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

М. А. Эдомская, С. Н. Лукашенко

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
г. Обнинск, Российская Федерация*

Литературные данные по коэффициентам накопления (Кн) плутония растительностью, отличаются высокой вариативностью значений, что делает актуальным исследование по определению механизмов, влияющих на миграционную способность и доступность его для растительности. Одним из важнейших факторов внешней среды, от которого зависит химическое состояние органических и минеральных компонентов почв, является режим увлажнения. Настоящее исследование направлено на изучение зависимости коэффициентов накопления $^{239+240}\text{Pu}$ в системе «почва – сельскохозяйственное растение» от влажности почв.

Объектом исследования были бобы сорта «Янтарные», ячмень сорта «Зазерский-85» и лук сорта «Центурион», выращенные на дерново-подзолистой супесчаной почве.

Эксперименты проводились в тепличных условиях в соответствии со стандартными методиками проведения вегетационных опытов в агрохимии [1]. Условия проведения вегетационного опыта контролировались с помощью Регистратора температуры и влажности Elitech GSP-6 с автоматической записью каждый час. Во время вегетационного периода ежедневно проводился контроль массы сосудов с растениями и их долив водой до соответствующей влажности в каждом сосуде. Увеличением массы сосудов за счет прироста массы растений пренебрегали. Для установления потребления влаги растениями для каждой точки дублировался сосуд с «черным паром». Отбор проб растений производили с разделением надземной и подземной частей. Образцы тщательно промывали водой и ополаскивали дистиллированной водой, просушивали при температуре 75 °C до постоянного веса. Добавляли ^{242}Pu в качестве трассера и отжигали при температуре 500 °C. Анализ содержания $^{239+240}\text{Pu}$ в образцах проводили методом, описанным в [2]. Кн(Pu) рассчитывались как отношение содержания Pu в сухой биомассе растений к его содержанию в почве.

В ходе исследования установлено, что для надземной части ячменя с увеличением влажности почвы наблюдается тенденция увеличения значений Кн(Pu). Для надземной части бобов наблюдается обратная зависимость – снижение Кн до двух порядков величины с увеличением влажности почвы. При этом кривая зависимости имеет экстремум при абсолютной влажности почвы 20–22%. Для пера и луковиц наблюдается снижение Кн(Pu) по мере увеличения влажности почвы. Выявленные зависимости также обладают экстремумами. При этом для зеленого лука экстремумам представлен в виде минимального значения Кн при влажности почвы 20%. Для луковиц полученная зависимость схожа по форме кривой с зависимостью для бобов. Экстремум представлен максимальным значением при влажности почвы 20%. Для корневой части рассматриваемых сельскохозяйственных культур зависимости коэффициентов накопления плутония от влажности почв не наблюдается.

Таким образом, установлено, что особенности накопления плутония в зависимости от увлажненности почв (в пределах 15–40% абсолютной влажности дерново-подзолистой почвы) неодинаковы для отдельных видов/органов сельскохозяйственных растений. Следовательно широкий диапазон Кн(Pu), представленный в литературных источниках, может быть обусловлен условиями произрастания растений и, в частности, влажностью почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода – Москва: Наука, 1968. – 266 с.
2. Edomskaya M.A. Lukashenko S.N., Stupakova G.A. [et al.] Estimation of radionuclides global fallout levels in the soils of CIS and Eastern Europe territory // Journal of Environmental Radioactivity. – 2022. – № 247. – P. 106865. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106865>.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБСЛЕДОВАНИИ
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНАМ. Т. Абишева, В. Н. Монаенко*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

При решении такого сложного вопроса как оценка перспектив народнохозяйственного использования территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в период проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), следует опираться на данные, полученные в ходе многолетнего комплексного экологического обследования его территории. Для визуализации современной радиационной обстановки на полигоне большое значение приобретает составление карт обследованной территории с указанием на них плотности радиоактивного загрязнения техногенными радионуклидами, образовавшимися в результате проведения ядерных испытаний.

Современные геоинформационные системы (ГИС) представляют собой новый тип интегрированных информационных систем, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных многих ранее существовавших автоматизированных систем, а с другой – обладают спецификой в организации и обработке данных.

В настоящее время накоплен огромный объем информации, касающийся территории бывшего СИП – это результаты научно-исследовательских программ, коммерческих проектов. В связи с большими объемами информации возникают проблемы хранения, своевременного доступа и эффективной обработки данных.

Для работы с большими объемами спектрометрических и геопространственных данных, полученных в результате исследований, проведенных на СИП, применение технологий ГИС особенно эффективно. Эти технологии объединили традиционные операции при работе с базами данных, такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации, и пространственного анализа данных.

С помощью технологий ГИС разработана и внедрена база данных «Радиоэкологическое состояние Семипалатинского испытательного ядерного полигона», в которой хранятся результаты радиометрических и спектрометрических измерений около 200 тыс. проб объектов окружающей среды и географических координат мест отбора проб.

Разработана ГИС-инфраструктура, в которой структурировано хранится огромный массив геопространственных данных: свыше 1000 слоев класса пространственных данных, которые, в свою очередь, содержат информацию о более 100 тыс. объектов.

На основе результатов измерений, хранящихся в базе данных, с помощью ГИС построено свыше 100 тыс. карт.

Таким образом ГИС, применяемые в РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», позволяют систематизировать большой объем накопленной информации по радиоактивному загрязнению территории бывшего СИП и прилегающих к нему территорий. Карты радиационной обстановки, построенные с помощью ГИС, представляют наглядную картину современной радиационной обстановки любой обследованной территории, что позволяет принимать эффективные решения о перспективах дальнейшего развития.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАКТОРА ИРТ-Т
ДЛЯ НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИМ. Н. Аникин, Н. В. Смольников, А. Е. Овсенёв, И. И. Лебедев, А. Г. Наймушин*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Российская Федерация*

В настоящее время смертность от онкологических заболеваний занимает одно из лидирующих мест среди причин преждевременной смерти. Не смотря на успехи традиционных методов лечения, некоторые виды

опухолей являются неоперабельными или радиорезистивными. Одним из перспективных методов избирательного поражения раковых клеток является нейтрон-захватная терапия (НЗТ).

Нейтрон-захватная терапия – это бинарная форма радиотерапии, при которой терапевтический эффект достигается за счет взаимодействия нейтронного излучения с дозодополняющими агентами, которыми насыщены ткани. Для реализации метода НЗТ требуется наличие мощного источника нейтронов, которым может являться исследовательский ядерный реактор или ускоритель заряженных частиц.

Реактор ИРТ-Т – исследовательский реактор бассейнового типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты деминерализованной воды. Картограмма активной зоны реактора представлена на рисунке. Подробное описание активной зоны, тепловыделяющих сборок, блоков бериллиевого отражателя и стержневой системы управления и защиты представлены в публикации [1].

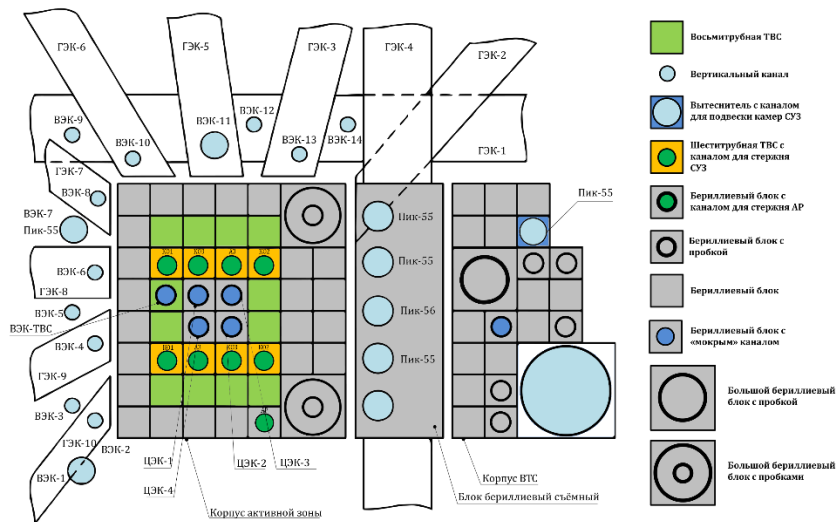


Рисунок. Картограмма активной зоны реактора ИРТ-Т

На базе горизонтального экспериментального канала ГЭК-1 ядерного реактора ИРТ-Т Томского политехнического университета реализованы условия для проведения исследований в области нейтрон-захватной терапии с использованием клеточных структур, лабораторных, мелких и крупных домашних животных. Благодаря размещению висмутового и алюминиевого фильтров обеспечивается возможность проведения терапии злокачественных новообразований на глубине до 5,5 см [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Shchurovskaya M.V., Alferov V.P., Geraskin N.I., Radaev A.I., Naymushin A.G., Chertkov Y.B., Anikin M.N., Lebedev I.I. Control rod calibration simulation using Monte Carlo code for the IRT_type research reactor. // *Annals of Nuclear Energy*. – 2016. – Vol. 96. – PP. 332–343.
2. Anikin M. N. et al. Feasibility study of using IRT-T research reactor for BNCT applications // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2020. – T. 166. – C. 109243.

ОСОБЕННОСТИ ВЫПЛОДА СИМУЛИД РЕКИ ИРТЫШ

К. К. АХМЕТОВ, А. А. ОРАЗБЕКОВА

НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

В данной работе исследована актуальность проблемы изучения симулид в Павлодарском регионе. Даны результаты наблюдений за выплодом мошек в среднем течении реки Иртыш в весенне-летний период 2023 года. Подсчитана средняя плотность расселения личинок и куколок мошек на субстрате. Были проанализированы условия развития мошек в разных точках реки и влияния на него различных биотических и абиотических факторов.

Сбор материала для исследований проводился ручным способом на основном русле реки Иртыш и субстратов погруженных в воду, ветви упавших деревья, прибрежные водные растения. Фиксация материала (личинки, куколки, имаго формы) осуществлялась 90%-м этанолом.

Также представлены данные об экологии и видовое разнообразии мошек на пяти участках в районе населенных пунктов Павлодарской области. Участки были расположены по берегу реки Иртыш и в местах

розлива реки в паводковый период. Описаны экологические особенности среды обитания обнаруженных видов мошек и развитие личиночных форм в условиях «искусственного» паводка.

БАЗА ДАННЫХ, КАК ЭЛЕКТРОННЫЙ АРХИВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ

И. А. Бачурина, А. В. Топорова, Н. В. Ларионова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

В современном мире актуальность и значимость баз данных трудно переоценить. Эта структурированная коллекция данных, организованная и доступная для использования любым пользователем, является неотъемлемой частью современной информационной технологии и используется во многих областях, включая государственное управление, социальную сферу, бизнес, науку и многое другое. Оглядываясь в глубокое прошлое, можно сказать, что первые базы данных появились задолго до создания современных компьютеров и технологий хранения данных. Это были машинные картотеки, иероглифические письма и таблицы, картотеки библиотек, которые организовывались в физических форматах, не имея никакой системы защиты.

Современные базы данных отличаются от предшествующих способом хранения и организацией данных, обработкой и их анализом, обеспечивают многопользовательский доступ, а также предлагают безопасные механизмы защиты данных. К таким базам данных можно отнести следующие: PubMed – крупнейшая база медицинских научных публикаций, включающая статьи из различных областей медицины и биомедицинских исследований (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>); IEEE Xplore – содержит более 5 000 000 публикаций, отчетов и стандартов в области электротехники, компьютерных наук и связи (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>); Scopus – мультидисциплинарная база данных, предоставляющая информацию о научных публикациях, статьях, книгах и конференциях в различных областях знаний, включает показатели цитирования для оценки влияния публикаций (<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>).

Сотрудники Института радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ) активно участвуют в научных конференциях и семинарах. За тридцатилетнюю историю существования ИРБЭ опубликовано около тысячи научных материалов по радиационной безопасности и экологии. Ежегодно банк публикаций и статей пополняется, поэтому возникла необходимость структурирования информации в единый электронный ресурс.

Разрабатываемая база данных будет осуществлять быстрый поиск материалов по автору и/или названию публикации. После прохождения этапа регистрации пользователю присваивается роль: «admin» или «viewer». Для «admin» будут доступны функции добавления, редактирования и удаления записей, остальные пользователи, авторизованные как «viewer», будут ограничены просмотром научного материала. В базе данных также предусмотрена возможность отображения статистики по годам, типам материала (публикации, статьи, тезисы, обзоры) и категориям. Категории будут формироваться в соответствии с потребностями пользователей на этапе внедрения базы данных.

Для разработки базы данных были использованы следующие технологии: для создания пользовательского интерфейса и динамического взаимодействия с базой данных на клиентской стороне использовались HTML, CSS (с использованием фреймворка Bootstrap 5 версии) и JavaScript; язык программирования PHP использовался для взаимодействия с базой данных и обработки данных на серверной стороне; реляционная модель MySQL была выбрана для обеспечения структуры и методов хранения данных. На данный момент «электронный архив» дорабатывается, после чего будет проведен этап тестирования и отладки для проверки функциональности и эффективности, а также выявления и устранения ошибок и недочетов.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

Ю. А. Верхуша, В. Д. Гузов, В. А. Кожемякин, С. В. Лазаренко

Научно-производственное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь

Калибровка приборов дозиметрического контроля радиационной обстановки: дозиметров, дозиметров-радиометров, дозиметров-спектрометров, измерителей мощности дозы, блоков детектирования, многоканальных систем с блоками детектирования, предназначенных для определения мощности кермы в воздухе, мощности

амбиентного и направленного эквивалентов дозы рентгеновского и гамма-излучения осуществляется в калибровочных лабораториях.

С целью признания результатов калибровки и предоставляемых сертификатов калибровки на международном уровне лаборатории проходят процедуру оценки соответствия в национальном органе по аккредитации. Национальные органы по аккредитации, которые прошли экспертную оценку как компетентные, подписывают соглашения с международными организациями по аккредитации (Европейская организация по аккредитации (EA), Международная организация по аккредитации лабораторий (ILAC), Международный форум по аккредитации (IAF)), чтобы продемонстрировать свою компетентность. Затем национальные органы по аккредитации оценивают и аккредитуют органы по оценке соответствия соответствующим стандартам.

При аккредитации калибровочных лабораторий проводится оценка на соответствие требованиям стандарта ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». В докладе представлена информация об обеспечении калибровочной лаборатории, проводящей калибровку дозиметров окружающей среды, средствами калибровки (рабочие эталоны, вспомогательное оборудование), рассмотрен процесс передачи единиц величин от государственных эталонов калибруемым средствам измерений, метод калибровки, а также вклад в неопределенность при определении калибровочного фактора.

ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF SAMPLES FROM KALBAJAR DISTRICT OF AZERBAIJAN

F. Y. Humbatov, Q. I. Ibrahimov, G. F. Aslanova

Institute of Radiation Problems, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Baku

E-mail: hfamil@mail.ru

Kalbajar District is one of the 66 districts of Azerbaijan. It is located in the west of the country and belongs to the Eastern Zangezur Economic Region. The district borders the districts of Lachin, Khojaly, Agdam, Tartar, Goranboy, Goygol and Dashkasan districts of Azerbaijan, as well as the Gegharkunik and Vayots Dzor provinces of Armenia. The surface is mountainous (Murovdagh, Shahdag, East Sevan (Sevan), Vardenis, Mikhtoken, a part of the Karabakh chain and Karabakh plateau). Jamish Mountain is the highest peak (3724 m). Jurassic, Cretaceous, Palaeogene, Neogene, and anthropogenic sedimentary, volcanic-sedimentary and volcanic rocks spread in the area. The longest river in the region is River Terter, and some of its tributaries (the Lev River, the Tutguncay River, etc.) and the source of the River Bazarchay are in the territory of Kelbejer region. Kalbajar region is also rich in mineral and thermal water sources.

In this study, for evaluation of the water quality, 7 samples from potential drinking water sources and 4 samples from thermal water sources, were collected and studied. Water parameters such as pH, Electrical Conductivity (COND), Total Dissolved Solids (TDS), Salinity (SAL), and Dissolved Oxygen (DO) were measured and compared with (WHO) recommended limit values. According to measurement results, measured electrical conductivity and total dissolved solids parameters for samples collected from Zod Pass (point 6) are higher than World Health Organization (WHO) recommended limit values. This indicates that mentioned water source is highly mineralized and can not be used for drinking purposes.

Investigated samples were also analyzed using Varian SpectrAA 220FS Atomic Absorption Spectrometer to determine metal content and results were compared to WHO-recommended limit values. Concentrations of Cu, Mn, Mo and Zn in all investigated water samples are well below the WHO-recommended values. Fe concentration in sampling points 2–7 and Ni concentration in sampling point 6 (Zod Pass) are higher than recommended values. Although the median iron concentration in rivers has been reported to be 0.7 mg/L, after treatment Fe concentrations in water are usually kept under 0.3 mg/L for drinking purposes. That's why direct use of mentioned water sources (points 2–7) as drinking water is not suggested.

Using the DurrIDGE-produced RAD 7 radon detector system the thermal water sources additionally, were investigated for estimation of Radon concentration. It was observed that Rn concentration in measured thermal waters changes from 2.8 Bq/L to 1000 Bq/L and two thermal water sources have high concentrations of Rn (142 Bq/L and 1000 Bq/L). According to the recommendations of WHO, EPA, and IAEA the noted thermal water sources may cause risks in direct use. Therefore these sources should be taken under control.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ СИП

Р. Г. Ермакова, Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Определение характера загрязнения поверхностных вод основывается не только на радионуклидном загрязнении воды, но и других компонентов водной системы, в частности донных отложений. Донные отложения являются одними из наиболее информативных показателей современного состояния водных экосистем. Оседая в водоемах послойно, в определенной последовательности, они позволяют реконструировать геохимическую обстановку и динамику водных систем.

Для исследования вертикального распределения техногенных радионуклидов в донных отложениях в качестве объектов исследования выбраны озера: Жингылды, Кишкенсор, Акмолайсор, без названия (б/н) 4 и Шубран. Отбор проб производился в виде ненарушенной колонки донных отложений с каждого озера. На момент отбора проб наблюдалось частичное пересыхание оз. б/н 4 и Шубран, что позволило отобрать пробы с центральной части озер. На остальных озерах отбор производился с прибрежной зоны. Высота отобранных колонок достигала до 20 см. Разделение колонки донных отложений на слои проводили сразу на местах отбора. Толщина одного слоя составляла 10–12 мм, масса 0,03–0,04 кг. В отобранных пробах проводилось определение техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

В колонках донных отложений, отобранных с прибрежной части озер Жингылды, Кишкенсор и Акмолайсор диапазон концентрации ^{137}Cs составляет от 2 до 11 Бк/кг, ^{90}Sr – от 80 до 1000 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – от 3 до 110 Бк/кг. Максимальные значения удельной активности ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ отмечаются в поверхностных слоях до 3 см. Распределение ^3H происходит неравномерно по всей глубине. Диапазон полученных значений составляет от 80 до 13000 Бк/кг. Максимальное значение ^3H в донных отложениях оз. Жингылды сосредоточено на глубине 9 см, в оз. Кишкенсор пик активности приходится на глубину 2 см, в оз. Акмолайсор содержание исследуемого радионуклида ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения.

В вертикальном распределении радионуклидов в донных отложениях оз. Шубран диапазон концентрации ^{137}Cs составляет от 2 до 13 Бк/кг, пик активности зафиксирован на глубине 6 см. Содержание ^3H сосредоточенно только на глубине 13 см и составило 170 Бк/кг. Значения удельной активности ^{90}Sr варьируют от 5 до 70 Бк/кг, а $^{239+240}\text{Pu}$ – от 2 до 90 Бк/кг, максимумы отмечаются в поверхностных слоях до 3 см.

В донных отложениях оз. б/н 4 значения удельной активности ^{137}Cs , ^3H и $^{239+240}\text{Pu}$ смещены в глубину на 5–9 см. В данном диапазоне значения ^{137}Cs в среднем равны 3 Бк/кг, значения ^3H варьируют от 100 до 2100 Бк/кг, значения $^{239+240}\text{Pu}$ – от 5 до 60 Бк/кг. Максимальные значения данных радионуклидов получены на глубине 5–7 см. Численные значения ^{90}Sr полученные в слоях 1–5 см, составляют диапазон от 3 до 6 Бк/кг. Максимальное значение отмечается в слое 1 см.

Таким образом, полученные результаты показали различие в распределении радионуклидов по вертикальному профилю в зависимости от места отбора. Так, в среднем, для колонок донных отложений, отобранных с центральной части озер б/н 4 и Шубран, наблюдается смещение удельной активности радионуклидов от 5 см в глубину, тогда как в донных отложениях, отобранных с прибрежной части озер Жингылды, Кишкенсор и Акмолайсор содержание радионуклидов отмечается в поверхностных слоях до 3 см.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ТИПОВОГО ЦЕНТРА ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Д. А. Жидков

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация

Численное исследование распределения мощности эквивалентной дозы методом Монте-Карло должно стать неотъемлемой частью разработки и эксплуатации центров протонной лучевой терапии (ПЛТ). Необходимость такого анализа обусловлена потерями протонного пучка в ускорительных залах и процедурных кабинетах лучевых установок. Возникающие вторичные излучения зависят как от архитектурно планировочных

решений помещений центра протонной лучевой терапии, так и от используемых конструктивных материалов в элементах, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения. Особенность численного анализа радиационной безопасности связана с сильной неоднородностью пространственного распределения эквивалентной дозы, как в горизонтальных, так и в вертикальных плоскостях. Вторичное нейтронное излучение является одним из самых сложных объектов для радиационного контроля и защиты, и поэтому требует подробного исследования для каждого отдельного ПЛТ центра. Результаты расчетов мощности эквивалентной дозы от вторичных нейтронов с учетом пространственного распределения получены с помощью программного пакета FLUKA для типового центра ПЛТ для широкого спектра энергий нейтронов. Также даны оценки дозовой нагрузки на пациента от вторичного излучения при проведении сеанса облучения методом сканирующего пучка и методом пассивного формирования дозового распределения.

ANALYSIS OF THE SAMPLES BY LASER SPECTROSCOPY, ICP-MS, RIMS AND INAA

I. N. Izosimov¹, I. Strashnov², B. D. Saidullaev³, A. Vasidov³

¹ Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia

² The University of Manchester, School of Natural Sciences, UK

³ Nuclear Physics Institute, Tashkent, Uzbekistan

Among the modern analytical methods, laser spectroscopy, Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) and mass spectrometry are the leading techniques for the detection of trace amounts of different isotopes in complex matrices providing the breadth of information about the elemental and isotope composition [1–7]. Combination of the INAA, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), and laser spectroscopy (TRLIF, TRLIC, RIMS) may be very efficient both for element and isotope composition analysis of the samples. We report on chemiluminescence of plutonium, uranium, and samarium in solutions. The details of multi-step excitation of species and time-resolved detection of resulting luminescence (TRLIF) and chemiluminescence (TRLIC) are considered. In the next step, we combine the atomic laser spectroscopy with mass spectrometry detection (RIMS). The trace amount detection has been demonstrated for Kr isotopes (including ⁸¹Kr) of radiogenic (nuclear power plants) and cosmogenic (meteorites and other extra-terrestrial material) origin [4, 5]. Several multi-step RIMS approaches have been extended to uranium and other radioisotopes from solid and liquid samples [4, 5]. We have applied both INAA and ICP-MS methods and analysed the elemental composition (64 elements) of bones of dinosaurs, South mammoths, prehistoric bear and archanthropus as well as the samples of surrounding soils; everything collected in different parts of Uzbekistan [6, 7]. A high concentration of uranium we detected in the bones of dinosaurs (122 mg/kg), South mammoth (220 mg/kg), prehistoric bear (24 mg/kg) and archanthropus (1.5 mg/kg) compared to surrounding soils (3.7–7.8 mg/kg) and standard bones (<0.01 mg/kg) is a bit of a puzzle [7]. The isotopic composition analysis (Th, U, Pu) of the samples was done by ICP-MS. For all samples ratio ²³⁵U/²³⁸U = 0.007, i.e. consistent with the typical value for natural uranium. For the secular equilibrium ²³⁴U/²³⁸U = 0.000055, but for analysed samples it's exceeds the secular equilibrium value. Currently, the problem of ²³⁴U kinetics and the formation of variations of the ²³⁴U/²³⁸U isotope ratio in natural environments remain unresolved.

REFERENCES

1. I.N. Izosimov, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **304**, 207(2015).
2. I.N. Izosimov, *Procedia Chemistry*, **21**, 473(2016).
3. I.N. Izosimov, *Environmental Radiochemical Analysis VI*, pp. 115-130, Royal Society of Chemistry Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1039/9781788017732-00115>
4. I. Strashnov, et al., *J. Anal. Atom. Spectroscopy*, **34**, 1630(2019).
5. I. Strashnov, et al., *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **322**, 1437(2019).
6. A. Vasidov, et al., *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **310**, 953(2016).
7. I.N. Izosimov, et al., *Czech Chemical Society Symposium Series*, **20**, 116(2022).

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Л. Б. Кенжина, А. Н. Мамырбаева, Д. Б. Бияхметова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

С 2015 года цитогенетическая биодозиметрия на базе ИРБЭ НЯЦ РК в Казахстане находится в периоде усиленного развития. Освоены основные методики, рекомендованные МАГАТЭ, для оценки количественной индивидуальной дозы облучения: для острого сценария – дицентрический анализ (DCA), для давнего, хронического сценария – флуоресцентная гибридизация *in situ*, для оценки острого и мутагенного (химического) воздействия – микроядерный тест с блокированием цитокинеза. Значительный вклад (увеличение статистических данных) внесло приобретение оборудования – цитогенетической платформы на базе электронного флуоресцентного микроскопа фирмы Carl Zeiss AxioImager Z2, оснащенного автоматической системой поиска и анализа метафаз Metafer 4/MSearch, программным обеспечением Icaros, Isis, MN Score (MetaSystems, Германия).

На сегодняшний день исследованы такие важные показатели как региональная фоновая частота нестабильных хромосомных aberrаций у жителей различных регионов Казахстана и стандартная частота стабильных транслокаций при помощи флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH), как «нулевая» точка дозы. Ведутся заключительные работы по построению собственной калибровочной кривой «доза-эффект» для расчета индивидуальной количественной дозы облучения для разных сценариев – острого и хронического.

С 2018 года Казахстан является частью Азиатской биодозиметрической сети «ARADOS», в состав которой входят более 15 азиатских стран, таких как Япония, Китай, Южная Корея, Индонезия, Таиланд и др. ИРБЭ НЯЦ РК, представляющий Казахстан на данной платформе, регулярно участвует в межлабораторных сличениях (2018, 2020 гг.) и упражнениях совместно с другими странами. Также наша страна является членом глобальной сети BIODOSE на базе Всемирной Организации Здравоохранения, занимающейся проблемами радиологической безопасности и защиты.

С 2020 по 2023 гг. Казахстан в лице ИРБЭ НЯЦ РК – партнер Проекта НАТО (Североатлантический Альянс) в рамках международной программы «Наука ради мира и безопасности» № SPS985684 «Новые биологические и физические методы сортировки в радиологических аварийных ситуациях» BioPhyMeTRE, совместно с коллегами из Италии и Хорватии. Целью данного проекта является освоение и внедрение новых методов биологической цитогенетической и физической дозиметрии для сортировки в радиологических чрезвычайных ситуациях.

В рамках программы технического сотрудничества с МАГАТЭ 2022–2023 гг. ИРБЭ НЯЦ РК реализует проект № KAZ 2020002 «Развитие биологической дозиметрии в Казахстане для обеспечения готовности и реагирования на ядерные и радиологические чрезвычайные ситуации», цель которого – эффективное обеспечение Казахстана и Центрально-Азиатского региона качественной биодозиметрической поддержкой, укрепление готовности и реагирования на ядерные и чрезвычайные ситуации.

Все вышеперечисленное четко демонстрирует значимость и необходимость развития биологической дозиметрии для цивилизованной составляющей нашего государства. Реализация проектов укрепит прогрессивные международные инициативы в области мирного использования атомной энергии, гарантирует помощь и поддержку качественной цитогенетической биодозиметрией соседним государствам Азиатского региона, тем самым внося вклад в стабилизацию Центральной Азии.

О ВОПРОСЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПОВ ^{137}Cs И ^{239}Pu В РАДИОНУКЛИДНОЙ ОЦЕНКЕ ЭРОЗИИ ПОЧВ

В. В. Колбин, Н. Ж. Мухамедияров, А. Ж. Ташекова, Ф. Ф. Жамалдинов,
М. Т. Дюсембаева, Е. З. Шакенов, Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Одним из важнейших факторов применения радионуклидной оценки эрозии является характеристика почв. Даже при отсутствии процессов эрозии может происходить диффузия радионуклидов. Для борьбы с

эрозией в первую очередь необходимо получить данные о пространственной и временной изменчивости процессов эрозии.

Традиционные методы оценки – объемные, эрозионные графики, гидрологический, геодезический методы – являются трудоёмкими и требуют длительных периодов мониторинга. Однако данные методы, за исключением геодезического, не дают информации о пространственном распределении эрозии. В основном в мировой практике оценки эрозии почвы используется ^{137}Cs в качестве изотопного индикатора. ^{137}Cs практически не переносится такими процессами, как выщелачивание или поглощение растениями, что служит для определения зон эрозии и выбора мер по сохранению почв. Однако данный метод не будет работать в условиях неравномерного распределения радионуклидов вследствие радиационного загрязнения, например, на территориях, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону (СИП) и подвергавшихся его воздействию.

На территории СИП большая часть радионуклидов сосредоточена в верхнем 5-сантиметровом слое грунта, процессов эрозии не наблюдается. Авторами работы выдвинуто предположение о соответствии соотношения радионуклидов ^{137}Cs и ^{239}Pu при разных углах наклона поверхности грунта для разных элементов рельефа.

Глобальные выпадения ^{137}Cs в атмосфере происходили с середины 1950-х годов, и его средняя активность постепенно снижается. В перспективе дополнительная проблема использования ^{137}Cs для оценки эрозии почв заключается в периоде его полураспада (30 лет), тогда как для ^{239}Pu данный показатель составляет 24000 лет.

В масштабе глобальных выпадений активность изотопов плутония слишком мала и трудно определима. Вопрос точного определения низких концентраций может быть решён с помощью отбора образцов на активных участках, таких, как СИП, а также использования современного оборудования, методов ИСП-МС и пересчёта на активность.

Целью исследований является применение метода соотношения содержания ^{137}Cs и ^{239}Pu к различным углам наклона рельефа для определения эрозии почвы в зонах с неоднородными выпадениями ^{137}Cs . Основная задача – сделать предварительное подтверждение того, что эти соотношения работают. Вторая задача – показать, что СИП можно использовать в качестве площадки для определения эталонных соотношений, что позволит оценивать процесс эрозии и на других территориях.

Первым доказательством применимости предложенного подхода является подтверждение того, что исследуемые радионуклиды в основном сконцентрированы в верхнем слое грунта, что соответствует распределению в почвах, не подверженных эрозии. Вторым доказательством может являться подтверждение их одинакового соотношения в образцах шурфов, отобранных в долинах и на возвышенности. Данные результаты могут свидетельствовать о применимости использования метода радионуклидного соотношения в условиях неоднородности их концентрации.

Применение данного подхода может способствовать организации устойчивого управления земельными ресурсами и сохранения почв на территориях с неравномерным распределением радионуклидов.

ДОЗИМЕТР-РАДИОМЕТР МКС-АТ1117М С БЛОКОМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БДКН-06 И НАБОРОМ СФЕР-ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ

Д. И. Комар¹, В. И. Гуринович¹, В. Д. Гузов¹,
И. А. Лагуцкий¹, А. А. Екидин², М. Д. Пышкина²

¹ Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь

² Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Блок детектирования нейтронного излучения БДКН-06 представляет собой ^3He -счетчик, помещенный в полиэтиленовый модератор в форме сферы. Конструкция БДКН-06 позволяет последовательно измерять скорость счета импульсов со сферами-модераторами с диаметрами от 3 до 12 дюймов. Методическое обеспечение с применением специального математического алгоритма позволяет на основе измеренных скоростей счета импульсов с каждой сферой получить энергетическое распределение плотности потока нейтронного излучения.

Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М с блоком детектирования БДКН-06 и набором сфер-замедлителей предназначен для измерения характеристик нейтронного излучения с целью восстановления энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения.

Блок детектирования нейтронного излучения БДКН-06 и блок обработки информации БОИ4 размещаются на штативе. Конструкция БДКН-06 позволяет последовательно измерять скорость счета импульсов нейтронного

излучения пропорциональным счетчиком на основе ^3He в сферах-замедлителях различного диаметра. Диаметр сфер от 3 до 12 дюймов.

Измерения проводятся согласно специально разработанной методике измерений МТ АААА.7031.004-2020 «Восстановление энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения. Определение средней плотности потока нейтронного излучения».

Полученный в соответствии с методикой результат восстановления энергетического распределения плотности потока нейтронного излучения используют для вычисления таких величин как: интегральная плотность потока нейтронов, средняя энергия нейтронного излучения по спектру, средняя энергия нейтронного излучения по дозе, эквивалент дозы на единичную плотность потока, эквивалент дозы, эффективная доза.

Математический алгоритм реализован в прикладном программном обеспечении с дружественным для пользователя интерфейсом в качестве приложения к методике измерений.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ МЕДИЦИНСКИХ РИСКОВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПОДВЕРГШЕГОСЯ ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Ф. В. Коновалова, А. В. Липихина, Ю. Ю. Брайт, А. Е. Мансарина, К. Н. Апсаликов

Научно-исследовательский институт радиационной медицины и экологии Некоммерческого акционерного общества «Медицинский университет Семей», г. Семей, Республика Казахстан

E-mail: nii.rm@med.mail.kz

Последствия воздействий на человека ионизирующей радиации в больших дозах (более 100 сЗв) достаточно хорошо изучены. Однако в случаях длительного воздействия малых и средних доз облучения, при изучении заболеваемости и смертности пострадавших контингентов возникают значительные неопределенности прямых эпидемиологических наблюдений. При этом на первый план выступает необходимость изучения нарушений, которые возникают в клетках вследствие облучения, так как оно позволяет понять начальные реакции процессов, приводящие в дальнейшем к развитию опухолевых и неопухолевых форм ранней и отдаленной лучевой патологии, и предрасположенности потомков к этим состояниям.

Оценка ущерба здоровью декретированного населения и их потомков, как правило, основана на индивидуальной дозе облучения (закономерность «доза-эффект»).

Вопросам медицинских последствий для населения, подвергшегося действию ионизирующего излучения, посвящен ряд научно-исследовательских работ, выполненных в НИИ РМиЭ, а также научные публикации отечественных и зарубежных ученых, изданные по результатам научных исследований в области радиационной медицины.

Согласно международному опыту, программы скрининга (то есть массового обследования населения при помощи инструментальных и лабораторных методов) в большинстве своем, не являются экономически эффективными или выгодными для облученных лиц. В качестве примера такого скрининга, несущего в себе большие психологические и финансовые затраты может послужить маммография. Маммография характеризуется высоким уровнем ложно-положительного результата, составляющим от 70 до 80%. Это означает, что трем из четырех пациенток будет необходимо провести инвазивные исследования, сопряженные с физическим риском и психологическим стрессом, до обнаружения отсутствия онкологии.

Всесторонние ежегодные обследования специалистами лиц, пострадавших от радиации, а так же проведение многочисленных исследований и процедур так же не представляются нам необходимыми.

По нашему мнению, индивидуальный подход к оказанию медицинской помощи пострадавшему от ионизирующего облучения населению и создание групп по принципу «доза-эффект», будет более эффективной мерой для сохранения здоровья у облученных граждан. Данные подгруппы будут формироваться с учетом возраста на момент облучения, а так же времени самого облучения и соответственно органов-мишеней, закономерность поражения которых подтверждается многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями.

Таким образом, мы предлагаем проводить специальные программы мониторинга наиболее восприимчивых лиц с учетом накопленных ранее данных о восприимчивости тканей, органов и систем, а так же о сроках проявления отдаленных постлучевых эффектов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНФОРМНОЙ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОНКООФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

К. С. Красильщиков

НИИ «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация

Для разработки системы формирования дозового распределения, необходимо использовать системы Монте-Карло, так как они дают наиболее высокие точности, требуемые для лучевой терапии онкоофтальмологических пациентов. Одной из такой систем является TOPAS (Tool for Particle Simulation) – он интегрирует и расширяет набор инструментов моделирования Geant4, чтобы адаптировать использование медицинскими физиками всех форм лучевой терапии методом Монте-Карло. TOPAS может моделировать системы формирования, геометрию пациента на основе изображений КТ, оценивать дозу, флюенс, сохранять и воспроизводить фазовое пространство, предоставляет графическое отображение созданной геометрии. Одной из главных особенностей TOPAS является полная четырехмерность, позволяющая моделировать изменяющиеся во времени процессы. Так же, TOPAS позволяет работать с геометрией в формате STL – то есть произвольной геометрии, созданной в системах автоматизированного проектирования.

Учитывая особенности локализации, возможной интенсивности ускорителя протонов, для разработки системы формирования для горизонтального пучка была принята схема однократного рассеяния протонного пучка в процедурной, как дающая наименьшие градиенты поля по профилям в области мишени. Для дальнейшего улучшения градиентов возможно использование дополнительных тонких перекрывающихся фольг.

Энергию протонов, соответственно пробег в мишени, планируется менять с помощью плоскопараллельных пластин бинарной толщины из легких материалов, автоматически вдвигающихся на ось пучка – это позволяет выводить и максимальную энергию ускорителя, и заданную с точностью пластины минимальной толщины.

Глубинное распределение предлагается создавать с помощью модуляторов энергетического спектра – гребенчатых фильтров. Они представляют из себя напечатанные на фотополимерном 3Д принтере пирамидальные структуры, точно рассчитанные таким образом, чтобы спектр протонов, попадающих в мишень, давал ровный участок распределенной кривой Брега заданной глубины. Прототипы модуляторов энергетического спектра изготовлены и в настоящий момент испытываются.

СОДЕРЖАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» НА ТЕРРИТОРИИ ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ»

П. Е. Кривицкий, Н. В. Ларионова, А. О. Айдарханов

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

На территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) имеется 4 наиболее крупные испытательные площадки, одна из которых – площадка «Сары-Узень». На данной площадке в основном проводились подземные ядерные испытания в вертикальных скважинах, на глубинах от 48 до 427 метров, а также модельные эксперименты.

В рамках изучения современного радиационного состояния растительного покрова на территории площадки «Сары-Узень» выполнен сопряженный отбор проб растений и почвы на приустьевой территории скважин, а также на участке «следа» радиоактивных выпадений от испытания, проведенного в 1951 году на площадке «Опытное поле», и условно «фоновых» территориях. В каждой точке произведен отбор проб растений (разнотравье) с площади размером 1×2 м. При отборе растений срезалась только надземная часть на расстоянии 1–3 см от поверхности почвы. Сопряженно с растениями отобраны пробы почвы. Аналогично растениям пробы почвы отобраны на каждой исследовательской площадке 1×2 м методом «конверта». Глубина отбора почвы – 5 см. Для получения данных содержания и параметров накопления радионуклидов в растениях в отобранных пробах проведены радионуклидные анализы по определению удельной активности ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

На основании полученных данных установлено, что значения удельной активности радионуклидов в почвенно-растительном покрове на территории площадки «Сары-Узень» для радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr достигают $n \times 10^4$ Бк/кг, ^{241}Am – $n \times 10^5$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – $n \times 10^6$ Бк/кг. Для оценки параметров накопления

радионуклидов растениями из почвы рассчитаны Кн для приустьевой территории скважин, а также на участке «следа» радиоактивных выпадений от испытания, проведенного в 1951 году на площадке «Опытное поле». Из-за отсутствия количественных значений удельной активности для условно «фоновой» территории Кн рассчитаны оценочно: для ^{241}Am составили $<0,10$, ^{137}Cs – от $<0,0079$ до $0,085$, ^{90}Sr – $<0,23$, $^{239+240}\text{Pu}$ – $<0,017$.

Определено, что более широкие диапазоны значений Кн радионуклидов характерны для приустьевой территории скважин (Кн ^{137}Cs и Кн ^{90}Sr – по 2 порядка, Кн $^{239+240}\text{Pu}$ – 3 порядка), что по всей видимости обусловлено различным характером произведенных испытаний, тогда как более узкие – для «следа» радиоактивных выпадений от испытания 1951 года (Кн ^{137}Cs и Кн ^{90}Sr – по 1 порядку, Кн $^{239+240}\text{Pu}$ – 2 порядка). При этом существенной разницы между установленными средними значениями Кн для данных территорий не наблюдается. В целом убывающий ряд радионуклидов по их способности к накоплению растениями имеет следующий вид: $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{239+240}\text{Pu} > ^{241}\text{Am}$.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯТЦ

А. А. Круглыхин, Д. В. Турченко, А. К. Айдарханова,
М. Т. Дюсембаева, Н. Ж. Мухамедияров

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Текущее радиационное состояние воздушной среды определяется фоном глобальных выпадений, потенциальными и действующими источниками искусственных радионуклидов. Основной вклад в фон глобальных выпадений внесли наземные и воздушные ядерные испытания на испытательных полигонах СССР, США, Китая, а также крупные радиационные аварии на объектах ядерно-топливного цикла (аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима-1).

Повышенные концентрации искусственных радионуклидов в воздухе, могут вносить существенный вклад в дозовую нагрузку населения за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека. Для оценки дозовых нагрузок, получаемых при поступлении в организм человека с вдыхаемым воздухом, надо иметь представление о текущем радиоактивном загрязнении воздушного бассейна, а также о механизмах его формирования. Поэтому, одной из основных характеристик при изучении экологической обстановки окружающей среды является оценка радиационного состояния атмосферного воздуха.

Целью работы является разработка методологии комплексной оценки загрязнения воздушной среды искусственными, естественными радионуклидами и химическими токсикантами в зоне влияния объектов ЯТЦ.

Для получения количественных данных содержания естественных, искусственных радионуклидов и химических токсикантов в воздухе, определены загрязненные участки на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (площадки «Опытное поле» и «Дегелен»), определены исследовательские участки в зоне влияния объектов ЯТЦ в городах Актау, Усть-Каменогорск и Степногорск. На исследовательских участках проводился отбор проб воздушных аэрозолей для определения содержания искусственных, естественных радионуклидов и тяжелых металлов. Отобранные пробы передавались в лабораторию для проведения гамма-спектрометрического, радиохимического и элементного анализа. Для оценки возможных источников загрязнения в атмосферном воздухе, в процессе отбора проб воздушных аэрозолей проводились измерения концентрации взвешенных частиц и метеорологических параметров атмосферного воздуха.

По результатам проведенных исследований получены количественные и качественные данные о химическом составе и радиоактивном загрязнении воздушной среды на загрязненных участках. Установлено, что концентрация радионуклидов в атмосферном воздухе находится на уровне природного фона для данного региона Казахстана.

Концентрация большинства химических элементов в воздухе не превысила значений допустимых уровней, установленных Гигиеническими нормативами РК от 02 августа 2022 года № ҚР ДСМ-70. Повышенные концентрации химических элементов в воздушной среде на исследовательских участках были зафиксированы для таких элементов как Mn, Fe, Zn, Sr, Cr, Co, Pb и Ba.

Проведенное исследование было профинансировано Министерством Энергетики Республики Казахстан (ARN BR09158470) в рамках выполнения мероприятия «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ В ЗАДАЧАХ РАЗДЕЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И НЕЙТРОНОВ

И. А. Лагуцкий, Д. И. Комар, А. В. Антонов, В. И. Антонов

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Республика Беларусь

Современные тенденции развития средств радиационного контроля требуют создания высокоэффективных детектирующих устройств с минимальными размерами и широким спектром выполняемых функций, что позволяет службам безопасности максимально эффективно решать задачу контроля радиационной обстановки.

В настоящее время множество устройств, обладающих функцией детектирования нейтронов, используют ^3He -счетчики. Однако технологии не стоят на месте и альтернативой является применение литийсодержащих сцинтилляторов, что позволяет совмещать функции гамма-спектрометрии и детектирования нейтронов. Наиболее распространенными представителями детекторов данного класса являются кристаллы CLYC [$\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6(\text{Ce})$], NaIL[®] [$\text{NaI}(\text{Li+Tl})$] и CLLB [$\text{Cs}_2\text{LiLaBr}_6(\text{Ce})$].

Предприятием «АТОМТЕХ» ведется разработка блоков раздельного детектирования нейтронного и гамма-излучения на основе детекторов CLYC и NaI(Li+Tl). По результатам проведенных исследований перспективным для применения при отсутствии жестких требований к разрешающей способности является сцинтиллятор NaI(Li+Tl) за счет более простого разделения видов излучения и меньшей стоимости детектора. Несмотря на меньшую чувствительность к тепловым нейтронам (при концентрации лития 1%) можно достичь необходимых параметров за счет увеличения размеров сцинтиллятора.

Сцинтиллятор CLYC обеспечивает высокую чувствительность к тепловым нейтронам на фоне обеспечения отличных параметров гамма-спектрометрии (типовое энергетическое разрешение 4% по линии 662 кэВ изотопа ^{137}Cs), однако его применение сопряжено с необходимостью решения задачи оптимального светосбора, т.к. данный сцинтиллятор имеет световыход в два раза меньше NaI(Li+Tl) и спектр его излучения смещен в УФ-область. Также процесс разделения видов зарегистрированных частиц более сложен и требует применения цифровых методов обработки сигналов по сравнению с NaI(Li+Tl). Однако следует отметить, что данный сцинтиллятор может быть перспективен для применения в задачах спектрометрии нейтронного излучения благодаря протеканию реакций на входящем в состав детектора ^{35}Cl .

В докладе представлен анализ результатов ядерно-физического моделирования чувствительности к тепловым нейтронам литийсодержащих сцинтилляторов различных размеров в разных геометриях измерений. Рассмотрены практические аспекты применения литийсодержащих материалов в портативных приборах радиационного контроля таких как RIID, PRD, SPRD, а также приведен анализ импульсов детекторов CLYC, NaI(Li+Tl), полученных с фотоэлектронного умножителя и рассмотрены разработанные методы обработки импульсов для разделения видов излучения.

ПЕРЕХОД $^{239+240}\text{Pu}$ В МЯСО ДОМАШНЕЙ ПТИЦЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИЕМЕ С ПОЧВОЙ, ВОДОЙ И ТРАВЯНОЙ МУКОЙ

А. С. Мамырбаева

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

В работе представлены результаты натурных исследований по изучению особенностей перехода трансуранового радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в ткани домашней птицы при длительном приеме с загрязненными почвой, водой и травяной мукой.

Одним из возможных и основных видов деятельности населения на территориях бывшего Семипалатинского полигона является животноводство, в частности, овцеводство, коневодство, скотоводство и птицеводство. Для полной оценки безопасности использования земель необходимы знания о параметрах перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. Данные литературного обзора, посвященного изучению параметров перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, Грин Н., где обобщена информация 300 публикаций, документы МАГАТЭ, обобщение Фесенко С. и др. показывают, что переходу трансурановых радионуклидов в животноводческую продукцию, посвящены единичные работы.

В данных исследованиях в качестве объекта исследования были использованы бройлеры, которые были разделены на три группы. Все условия содержания, во всех 3-х группах были идентичны за исключением источника поступления радионуклида в организм кур, который добавляли в суточный рацион: 1-й группе добавляли загрязненную почву, 2-й группе – загрязненный растительный корм, 3-й группе – спаивали загрязненную воду/раствор. Длительность кормления составила 70 суток.

Результаты исследования показали, что основным органом депонирования $^{239+240}\text{Pu}$ является печень. По содержанию радионуклида в печени наблюдается следующий порядок «почва > вода > корм». Максимальные концентрации радионуклида составляют 150 ± 10 Бк/кг, 12 ± 1 Бк/кг и $2 \pm 0,4$ Бк/кг, соответственно. В мышечной ткани содержание более равномерное с аналогичным порядком распределения. Так максимальные концентрации составляют $2,5 \pm 0,4$ Бк/кг при поступлении с почвой, $1,1 \pm 0,2$ Бк/кг при поступлении с водой и $0,04 \pm 0,02$ Бк/кг при поступлении с растительным кормом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТЕНИЯ ВЕЙНИК (*CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

К. С. Минкенова¹, А. Б. Янкаускас², Л. А. Немытова¹

¹ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

² Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Степень негативного воздействия на природную среду резко возрастает, если в ней одновременно присутствуют несколько загрязняющих веществ разного генезиса. Экологическая обстановка на территории бывшего СИП характеризуется сочетанием радиационных и «нерadiационных» факторов. Наиболее уникальным с этой точки зрения местом на территории полигона является штольня 504 на площадке «Дегелен», припоральная площадка которой характеризуется высоким содержанием ряда элементов и радионуклидов.

Отбор проб проведен в 10 точках, расстояние между которыми вдоль русла ручья составило 50 м. Каждая исследовательская площадка представляла собой участок площадью 1 м². Во время проведения полевых работ выполнено измерение радиационных параметров – МЭД и плотности потока β-частиц. Значения МЭД варьируют от 4,76 до 32,00 мкЗв/час, плотности потока β-частиц – от 10 до 851 част/(мин·см²).

В качестве опытного растения выбран вейник наземный (*Calamagrostis epigéjos*). Для цитогенетических исследований отобраны семена растения с каждой исследовательской площадки. Остальная надземная часть растений с 1 м² отбиралась методом укуса для радионуклидного и элементного анализов.

Приготовление препаратов и цитогенетический анализ проводилось согласно методике (З.В. Паушева, 1980., И.М. Прохорова, 2003). Проанализировано на цитогенетический анализ свыше 1000 препаратов. Анализ проводился на микроскопе AxioImager M2, при увеличении 100х, 400х и 1000х.

Выявлено комбинированное влияние ионизирующего излучения и концентрации химических элементов в растениях. При увеличении дозы облучения от $5,0 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-5}$ Гр/ч наблюдаются незначительные изменения – увеличение частоты аберрантных клеток меристемных корешков проростков семян вейника (*Calamagrostis epigéjos*), однако все изменения находятся в пределах погрешности. В целом, частота аберрантных клеток составляет порядка 8,8%. При этом, у растений выявлены хромосомные, хроматидные и геномные типы хромосомных нарушений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паушева, З.В. Практикум по цитологии растений: учебное пособие для студентов / З.В. Паушева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 304 с.: ил. – Библиогр.: с. 296–300.
2. Прохорова, И.М. Оценка митотоксического и мутагенного действия факторов окружающей среды: Методич. указания. / И.М. Прохорова, М.И. Ковалева, А.Н. Фомичева – Ярославль.: ЯрГУ, 2003. – 32 с.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОЙ АЛЬФА-, БЕТА-АКТИВНОСТИ В ВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

К. Т. Мустафина¹, Ф. Ф. Жамалдинов¹, Е. В. Романенко¹, Е. З. Шакенов¹,
А. И. Меркель¹, С. Е. Сальменбаев²

¹ Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

² АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

В мировом сообществе для измерения альфа- и бета-излучателей в образцах окружающей среды широко применяют спектрометрию жидкостного сцинтилляционного счета (ЖСС) [1, 2]. Пределы обнаружения обеспечиваемые ЖСС гораздо ниже в сравнении с другими методами измерений, благодаря низким фоновым характеристикам приборов. Однако в Казахстане, из-за ограниченности подобного спектрометрического оборудования, данный метод не нашел практического применения. В связи с этим, проведение научно-исследовательской работы по использованию метода ЖСС для измерения суммарной альфа-, бета-радиоактивности имеет особую актуальность и практическую значимость.

В работе приведены основные результаты исследований по применению данного метода с использованием жидкостного сцинтилляционного счетчика (ЖСС) Quantulus 1220. Изучены и выполнены основные процедуры подготовки и спектрометрического измерения водных образцов. Определены эффективность регистрации альфа-, бета-частиц в зависимости от гашения и установлен оптимальный параметр разделения альфа-, бета-излучения для применяемой методики (PSA). Отработка и валидация методики проводилась на модельных растворах с различной концентрацией ²⁴¹Am и ⁹⁰Sr-⁹⁰Y, а также путем участия в ежегодном межлабораторном квалификационном тесте IAEA-TERC-2022-02 сети ALMERA. Измеренная суммарная альфа-, бета-активность для каждого водного образца в квалификационном тесте вошла в диапазон целевых значений.

Результаты показали, что методика измерения суммарной альфа-, бета-активности в воде методом ЖСС может эффективно применяться для радиоэкологического анализа воды в Казахстане органами санитарно-эпидемиологического благополучия населения, а также научными и исследовательскими центрами, ведущими свою деятельность в области радиоэкологии и экологического мониторинга.

Литература

1. Jobbágy V., Wätjen U., Meresova J. Current status of gross alpha/beta activity analysis in water samples: a short overview of methods //Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. – 2010. – Т. 286. – №. 2. – С. 393–399.
2. Hou X. Liquid scintillation counting for determination of radionuclides in environmental and nuclear application //Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2018. – Т. 318. – №. 3. – С. 1597–1628.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОУГЛЕРОДА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ СИП

А. М. Раимканова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

Развитие атомной энергетики неизбежно связано с образованием радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, в составе которых содержится в том числе и радиоуглерод. Поступление отходов ядерного цикла в окружающую среду приводит к процессам загрязнения и повышения радиационной опасности. Радиоуглерод, образующийся в процессе рабочего цикла ядерного реактора, частично или полностью выбрасывается в окружающую среду в виде газоаэрозолей, а содержащийся в топливе реактора – с радиоактивными отходами. При радиоуглеродном мониторинге главное внимание уделяется районам, прилегающим к атомным электростанциям, местам захоронения радиоактивных отходов и иных предприятий атомной промышленности. Большое внимание уделяется исследованиям поведения радиоактивного изотопа углерода в почве, природных водах и биоте.

Объектами исследований являлись природные компоненты (почва, вода, растения) радиоактивно-загрязненных территорий Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В качестве индикатора при выборе исследовательских участков выбран тритий, который, как и радиоуглерод, образуется в результате нейтронно-активационных процессов при проведении ядерных испытаний. Для проведения исследований

выбраны испытательные площадки «Опытное поле», «Балапан» и «Дегелен». Участками исследований на площадке «Дегелен» выбраны водотоки штолен (104, 165, 176, 177, 504, 511, 609). На площадке «Балапан» изучение радиоуглерода проведено на приустьевых участках боевых скважин 1010, 1267, 1080, 1359, 1326. Участками исследований на территории «Опытного поля» являлись технические площадки, где проводились наземные испытания (П-1, П-3, П-5), а также гидроядерные и гидродинамические эксперименты (П-2, П-7).

Для определения радиоуглерода методом жидкостного сцинтилляционного счета подготовка проб воды, почвы, растений проводилась с помощью автоматизированной системы Pyrolyser-6 Trio, специально разработанная для эффективного извлечения ^{14}C из различных матриц (почва, донные отложения, пищевые продукты, биота, бетон и другие строительные материалы, металлы и биопробы). Радионуклидные компоненты преобразуются в радиоактивную двуокись углерода ($^{14}\text{CO}_2$), захват которых происходит в барботажных устройствах, заполненных специальным поглотителем (Carbo-Sorb E).

Согласно полученным результатам, уровни содержания ^{14}C для пл. «Дегелен» изменялись в следующем ряду убывания: вода > растения > почва. Значения удельной активности ^{14}C в почве не превышали уровня естественного фона (242 Бк/кг), исключениями являлись почвы, отобранные в районе шт. 177 (920 ± 92 Бк/кг), шт. 609 (740 ± 74 Бк/кг). Концентрации ^{14}C в растениях и воде превышали уровней содержания его в почве на 1–3 порядка. Согласно полученным результатам, концентрация ^{14}C в образцах почвы и растений, отобранных на приустьевых участках скважин испытательной пл. «Балапан», варьировала от <4 до $90 \pm 9,0$ Бк/кг в почве и от 710 ± 71 до 2500 ± 250 Бк/кг в растениях. Уровни содержания ^{14}C в почвах пл. «Опытное поле» превышали его содержания в растениях, так содержание в почве находилось в диапазоне $<4 \div 7300$ Бк/кг, в растениях – $<4 \div 1050$ Бк/кг.

ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Б. Субботин, Н. В. Ларионова, Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Среди радиационно-опасных объектов наиболее масштабное негативное влияние на окружающую среду оказывают ядерные полигоны, горнодобывающие и горно-перерабатывающие производства. Потенциальное воздействие техногенных источников на окружающую среду и здоровье людей оценивается по количеству накопленных радиоактивных отходов.

В результате разработки месторождений урана, сосредоточенных в Республике Казахстан, образовались радиоактивные отходы массой 222 млн. т и активностью порядка 251 тыс. Кюри. С целью обеспечения безопасности природной среды и населения, в рамках программы «Консервация уранодобывающих предприятий и ликвидация последствий разработки урановых месторождений на 2001–2010 гг.» урановые рудники были законсервированы Республиканским государственным предприятием «Уранликвидрудник». Однако, в настоящее время они представляют реальную радиационную опасность, поскольку в местах их расположения нет ограждений и знаков радиационной опасности, дороги для въезда на их территорию открыты.

Наименее обследованной является южная часть Северо-Казахстанской области (СКО), где находятся более 40 месторождений и рудопроявлений урана. Здесь установлены очаги загрязнения промышленных площадок рудников, а также прилегающих территорий. На участках расположения месторождений урана отмечено, что фоновая радиоактивность пород составляет от 0,2 до 0,8 мкЗв/ч, максимальная активность отмечена в гранитах более 10 мкЗв/ч с содержанием урана до 21 мг/кг и тория до 57 мг/кг.

На сегодняшний день у филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК имеются все возможности (необходимая инфраструктура, аппаратурно-методическая база и компетенции) для проведения работ по оценке характера воздействия последствий разработки урановых месторождений на экологические проблемы населения, проживающего в населенных пунктах вблизи от законсервированных уранодобывающих предприятий. Опыт проведения исследований по оценке загрязнения окружающей среды ^{238}U включает в себя работы как на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), так и водных объектах Восточно-Казахстанской области (ВКО): р. Аягоз, р. Шар, р. Бухтарма и оз. Зайсан. Определение содержания ^{238}U отработано методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном ИСП-МС «Agilent 7700х» с октопольной реакционной ячейкой производства «Agilent Technologies» (США), а также методом γ -спектрометрии на γ -спектрометре с колодезным детектором «GWL-120-15-LB-AWT-HJ» производства фирмы «ORTEC» (США). Результаты включают как распределение ^{238}U по

компонентам окружающей среды, так данные по формам его нахождения в зависимости от размера частиц и по степени окисления данного радионуклида в исследованных водах. Имеющийся научный задел в полной мере позволят провести исследования по оценке радиоэкологической обстановки, разработать рекомендации по снижению радиоактивного загрязнения и защите населения в южной части СКО.

SELECTIVE DETECTION OF $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ UNDER GAMMA-RAY FIELD USING THE LIQUID LIGHT GUIDE CERENKOV COUNTER

Yuta Terasaka

*Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science, Japan Atomic Energy Agency,
790-1 Ohtsuka, Motooka, Tomioka-machi, Futaba-gun, Fukushima 979-1151, Japan*

E-mail: terasaka.yuta@jaea.go.jp

Optical fibers are widely used in nuclear reactor physics, radiation control, and other fields as one-dimensional sensors to detect the location of radioactive materials. Until now, time-of-flight analysis has primarily been applied to plastic scintillation fibers to determine the incident position of radiation based on the difference in the arrival time of scintillation light at both ends of the fiber. However, this method has been limited to determining the radiation's incident position, making it challenging to identify the radiation's energy and nuclide. In addition to gamma-ray emitting nuclides (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{152}Eu , etc.), beta-ray emitting nuclides ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$) are distributed at the Semipalatinsk nuclear test site. Being able to detect their in-situ radioactivity distribution would be very beneficial.

In this presentation, we will introduce a method for selectively detecting the $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ distribution in a gamma-ray environment using a liquid light guide, which is an optical fiber with a liquid core material. This method applies the aforementioned time-of-flight analysis to the liquid light guide to determine the location of radioactive materials. Here, the Cerenkov radiation from $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ is selectively detected by using the reflection at the light guide's end face, caused by the radiation energy dependence of the Cerenkov radiation angle [1]. The Cerenkov radiation from $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ is characterized by a larger emission angle and a smaller emission angle for the Cerenkov radiation from gamma-ray emitting nuclides. Therefore, the latter has a greater proportion of reflected components at the light guide's end face compared to the former. Utilizing this feature, the in-situ radioactivity distribution of $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ can be detected. Details of the method and experimental results will be discussed in the presentation.

REFERENCE

1. Terasaka Y., et al. A new application technique of a position-sensitive liquid light guide Cerenkov counter for the simultaneous position detection of $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ and ^{137}Cs radioactivity. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2023; 1049: 168071_1–168071_7.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА БАЛХАШ

Т. Ш. Токтағанов, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева, Ж. Е. Тлеуканова

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

В настоящее время состояние подземных вод в северной части Балхаша с гидрогеологической точки зрения вызывает озабоченность. В этом районе сосредоточен ряд водоносных горизонтов, которые в свою очередь являются важными источниками питьевой воды, сельскохозяйственного и промышленного использования. Данные водоносные горизонты уязвимы перед загрязнением различными источниками, включая сельскохозяйственные стоки, промышленные загрязнения и городские отходы.

В данном исследовании изучалось состояние подземных вод в северной части озера Балхаш. Для проведения исследования проведен отбор проб воды из 15 скважин в летнее и весеннее время. Пробы были проанализировали на отношение стабильных изотопов воды ($^2\text{H}/^{18}\text{O}$), а также определялись кислотность и общая минерализация.

Значения ^{18}O и ^2H отражают соотношение изотопов кислорода и водорода в воде, что может дать представление о происхождении подземных вод. Отрицательные значения для обоих изотопов предполагают,

что подземные воды в северной части озера находятся под влиянием атмосферных осадков. Это указывает на то, что осадки играют значительную роль в пополнении водоносных горизонтов в этом регионе.

Показатель d-excess позволяет определить условия образования вод. Избыток дейтерия (d-excess) в водах отражает степень испарения и может использоваться для отслеживания источников влаги и изменений окружающей среды. Положительные значения d-excess указывают на то, что подземные воды в этом районе могут поступать из разных источников или на них могут влиять разные факторы, что также подтверждается изменениями минерализации в этих водах. Значения минерализации в исследуемых водах колеблются от 391,2 до 3351 мг/л. Важно оценить состав растворенных твердых веществ, чтобы понять потенциальные источники питания, связанные с этими значениями.

Показатели уровня pH в пробах воды, колеблются в диапазоне от 4,2 до 9,4. Полученные значения указывают, что в исследуемых подземных водах водородный показатель изменяется от кислого уровня до щелочного уровня. Изменения показателя кислотности воды зависят от источника питания и стоит отметить, что экстремальные уровни pH могут оказывать неблагоприятное воздействие на экосистему и пригодность воды для использования, но наблюдаемые значения находятся в приемлемом диапазоне для большинства целей применения.

Полученные данные для проб подземных вод северной части озера Балхаш, дают ценную информацию о текущем состоянии подземных вод в регионе. Изотопный состав ($^2\text{H}/^{18}\text{O}$), d-excess, уровни pH и общее количество растворенных твердых веществ указывают на широкий диапазон характеристик в точках отбора проб. Для обеспечения устойчивого использования и защиты этого жизненно важного ресурса необходимо продолжать мониторинг подземных вод.

ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОБЪЕКТОВ ЯТЦ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, Н. А. Лещенко, Л. Ф. Субботина

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Развитие современных технологий позволяет усовершенствовать и оптимизировать многие процессы жизнедеятельности человека, в том числе в области использования атомной энергии касательно вопросов радиационной безопасности объектов ЯТЦ. Исследования по изучению параметров накопления искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ из почвы растениями, а также особенности содержания ^3H в растительном покрове получены для Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Очевидно, что растения могут быть использованы с точки зрения аккумулятивной биоиндикации при мониторинге объектов ЯТЦ.

Для оценки содержания искусственных радионуклидов в растительном покрове с точки зрения мониторинга выбраны объект «100» (КИР ИГР) и «300» (КИР «Байкал-1»), расположенные на территории СИП. Для проведения исследований на равномерном удалении друг от друга (~30 метров) заложены точки для отбора проб растений. В каждой точке проведены измерения радиометрических параметров, по результатам которых установлено, что плотность потока β -частиц на исследуемых участках составляет $<0,10$ част/см²·мин, мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на поверхности почвы в среднем варьирует в пределах от 0,10 до 0,14 мкЗв/ч. В качестве контролируемых техногенных радионуклидов на исследуемой территории выбраны ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^3H . В летний период (июнь, июль, август) с 2021 по 2023 гг. произведен отбор проб растений (всего 390 проб). Методом жидкосцинтилляционной спектрометрии проведен анализ по определению ^3H в свободной воде (ТСВ) и органической составляющей (ОСТ), а также гамма-спектрометрические измерения по определению ^{241}Am и ^{137}Cs . Определение содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ выполнено только на территории объекта КИР «Байкал-1» в 10 точках с повышенными значениями концентрации ^{137}Cs и ^{241}Am .

Установлено, что содержание радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs в растительном покрове по периметру объекта КИР ИГР находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Исключение составляют 2 точки с численными значениями содержания ^{137}Cs ($0,6\pm0,1$ и $0,5\pm0,1$ Бк/кг). Удельная активность ТСВ в растительном покрове – <4 до 13 ± 3 Бк/кг. Содержание ТСВ в растительном покрове по периметру объекта КИР «Байкал-1» – от <4 до 50 ± 7 Бк/кг, ^{241}Am – от $<0,1$ до $0,9\pm0,2$ Бк/кг и ^{137}Cs от $<0,2$ до $1,7\pm0,3$ Бк/кг. При этом максимальное содержание ТСВ в растениях в районе объектов КИР ИГР и КИР «Байкал-1» приходится на июль – до 17 ± 3 Бк/кг и до 50 Бк/кг, соответственно. Количественные значения установлены и для ОСТ – от <4 до 50 ± 12 Бк/кг в районе объекта КИР ИГР, от <4 до 35 ± 9 Бк/кг в районе КИР «Байкал-1». Содержание ^{90}Sr в растениях находится ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения, $^{239+240}\text{Pu}$ от $<0,1$ до $0,5\pm0,1$ Бк/кг. Полученные значения существенно ниже уровня вмешательства

(УВ) по содержанию ^3H в питьевой воде (7600 Бк/кг) и предельно-допустимых уровней радиоактивного загрязнения кормовых растений (^{137}Cs – 74 Бк/кг; ^{90}Sr – 111 Бк/кг), однако могут служить показателями наличия данных радионуклидов в сопряженных средах.

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО МОНИТОРИНГА БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В НЯЦ РК

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, А. А. Круглыхин

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

Для контроля за содержанием радионуклидов в приземной атмосфере ОДВЗЯИ использует сеть радионуклидных станций мониторинга твердых аэрозольных частиц и благородных газов. Станция радионуклидного мониторинга определяет концентрацию радионуклидов в воздухе, что позволяет идентифицировать «природу» происхождения того или иного события (ядерное испытание или химический взрыв). Кроме этого, в случае аварии или нештатной ситуации на объектах ЯТЦ станция радионуклидного мониторинга позволяет контролировать радиационную обстановку и оперативно делать прогноз об изменении радиационной ситуации. Так, например, с 27 марта по 15 апреля 2011 года в воздушной среде г. Курчатова было обнаружено присутствие радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs в воздушной среде. Это было связано с возникшей в Японии радиационной аварией на АЭС Фукусима-1.

29 ноября 2017 года с целью укрепления режима контроля за Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний между Департаментом Иностранных дел, торговли и развития Канады и Министерством Энергетики Республики Казахстан (МЭ РК) подписан Меморандум.

Согласно целям и обязательствам Меморандума, НЯЦ РК подготовил площадку для размещения оборудования, канадская сторона доставила радионуклидную станцию мониторинга благородных газов в Казахстан. В настоящее время ведется подготовка радионуклидной станции к пуско-наладочным работам и обучению персонала НЯЦ РК.

Для размещения радионуклидной станции, специалистами НЯЦ РК были предварительно выбраны 3 потенциальных участка, расположенных на территории г. Курчатова. С целью соответствия требованиям, предъявляемым ДВЗЯИ, на всех выбранных участках проведены комплексные исследования, которые включали в себя: сбор и анализ общей информации об участке, анализ метеорологических данных, радиологическое обследование, наличие инфраструктуры и инженерных коммуникаций.

В ходе проведения исследований сделана оценка возможных источников поступления радионуклидов в воздушную среду на исследуемых участках. Выбраны и обоснованы контролируемые радионуклиды, а также методы их определения в воздушной среде. Подготовлены рекомендации по основному и вспомогательному оборудованию. Проведена оценка фоновых характеристик радионуклидного загрязнения исследуемой территории. Выбран участок для размещения радионуклидной станции в Курчатове.

Станция радионуклидного мониторинга благородных газов позволит расширить возможности существующей системы мониторинга, своевременно оповещать соответствующие структуры и службы об изменении радиационной обстановки.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРАНА И ПЛУТОНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Ф. Ф. Файзрахманов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр гигиены и эпидемиологии №15»
Федерального медико-биологического агентства России, г. Снежинск, Российская Федерация*

Развитие методов автоматизированного контроля низко активных водных растворов остается актуальной задачей в совершенствовании системы радиационного контроля сбросных вод предприятий атомной промышленности.

Теоретическими расчетами и экспериментальными исследованиями, показана возможность создания радиометрической установки, позволяющей провести процесс сорбции изотопов урана и плутония на гидроксиде титана с последующей регистрацией активности образцов в автоматизированном режиме.

Разработана сорбционная кювета, предложена блок схема и алгоритм работы экспериментального образца радиометра. Подготовлена чертежно-техническая документация, изготовлены нестандартные узлы и детали, радиометр смонтирован в приборный комплекс, конструктивно состоящий из узлов концентрирования, детектирования и пульта управления.

Разработан следующий принцип работы автоматизированной радиометрической установки. Для сорбции используется композиционный сорбент – тонкослойный гидроксид титана, нанесенный на ленту триацетат-целлюлозы. Сорбция урана и плутония из водного раствора осуществляется в измерительной кювете, при определенной заданной температуре и перемешивании раствора. Температура поддерживается постоянной в течение всего времени сорбции. После процесса сорбции в течение заданного времени (например, 45 мин.), раствор из кюветы сливается, пленка с сорбентом подсушивается подачей нагретого воздуха. Затем осуществляется подведение участка ленты с сорбированными радионуклидами под блоки детектирования. Измерение активности радионуклидов проводится одновременно с двух сторон ленты-сорбента с двумя сцинтилляционными детекторами, в течение времени, необходимой для достижения заданной статистической погрешности результатов. Данные двух детекторов суммируются и результаты выводятся на экран пересчетного прибора. Таким образом завершается цикл измерения.

Пульт управления радиометра позволяет все операции осуществлять в автоматизированном режиме.

Проведены исследования технических характеристик разработанного радиометра, проверена стабильность его работы, выполнены калибровки детекторов, оценен коэффициент счета ($K_{сч}$), определена минимально-детектируемая активность.

Проверена работоспособность радиометра на модельных растворах в широком диапазоне концентраций радионуклидов. Выполнены сравнительные измерения объемной активности реальных сбросных вод предприятия на разработанном радиометре и принятыми на предприятии методами контроля. В пределах погрешности методов, результаты измерений удовлетворительно согласуются между собой.

Разработанный радиометр показал стабильные результаты эксплуатации и пригоден для измерения урана и плутония в сбросных водах предприятий атомной промышленности на уровне допустимых концентраций для питьевой воды.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ Г. АЛМАТЫ

П. В. Харкин, М. В. Краснопёрова, И. Д. Горлачёв, Д. А. Желтов

РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

Целью данной работы являлось исследование качества питьевой воды г. Алматы, как самого крупного мегаполиса Казахстана, в котором проживает более 1,5 млн человек, а качество питьевой воды напрямую влияет на здоровье населения.

В рамках выполнения грантового проекта Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан «Проведение комплексных исследований экологической ситуации в городе Алматы с использованием ядерно-физических методов анализа» в январе–феврале 2023 года были отобраны пробы питьевой воды в 27 точках г. Алматы.

При элементном анализе исследуемых водных проб в Институте ядерной физики использовались методы масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП–МС) и оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП–ОЭС).

В отобранных пробах воды были исследованы содержания 22 химических элементов.

В нормативной литературе [1] рекомендуется использовать следующие гигиенические критерии качества питьевой воды для содержащихся в ней микроэлементов:

1. Для тяжелых металлов 3 и 4 классов опасности их содержания не должны превышать уровни предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевой воды, принятые в Республике Казахстан [1–2].

2. При обнаружении в питьевой воде нескольких тяжелых металлов, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, индекса загрязнения воды

тяжелыми металлами определяемый как сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна превышать 1.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Почти для всех проб содержания элементов As (2 класс), Be (1 класс), Cd (2 класс), Se (2 класс), Hg (1 класс), Al (2 класс), V (3 класс) их содержания не превышают предел обнаружения методики.
2. Превышения предельно допустимых концентраций наблюдается только для урана (ПДК = 15 мкг/л), относящегося к 1 классу опасности, в 2 точках пробоотбора. Таким образом, 1 критерий качества питьевой воды удовлетворяется для всех точек пробоотбора.
3. По рассчитанным индексам загрязнения воды тяжелыми металлами 1 и 2 классов опасности только 4 точки пробоотбора удовлетворяют 2 гигиеническому критерию качества питьевой воды.

Данное исследование финансируется Комитетом науки и Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP14869418).

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарно-эпидемиологические требования к источникам воды, местам водоснабжения хозяйственно-питьевого назначения и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов: утверждены постановлением Правительства Республики Казахстан от 18 января 2012 года № 104.
2. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.2280-07, «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Дополнения и изменения N 1 к ГН 2.1.5.1315-03.

ПОДВИЖНОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co) В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЕНИСЕЙ (БЛИЖНЯЯ ЗОНА ВЛИЯНИЯ КРАСНОЯРСКОГО ГХК)

А. В. Чугуевский, М. С. Мельгунов, М. Ю. Кропачева, И. В. Макарова

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

В течение более 30 лет Красноярский горно-химический комбинат (ГХК) был источником радиоактивного загрязнения поймы реки Енисей целым рядом долгоживущих техногенных радионуклидами (ТРН), наиболее распространенными из которых в ближней зоне влияния комбината являются ^{152}Eu , ^{137}Cs и ^{60}Co [1, 2]. Сброс радиоактивных отходов в последние полтора десятилетия существенно (в сотни – тысячи раз) сократился. Теперь основными источниками загрязнения экосистемы реки Енисей являются отстойники, расположенные на территории комбината, и аллювиальные отложения поймы (особенно в ближней зоне влияния ГХК), в которых уже накоплены значительные количества ТРН. В данной работе проведена оценка возможности растворения в водном потоке ^{152}Eu , ^{137}Cs , ^{60}Co , депонированных в донных отложениях р. Енисей и вовлечения их во вторичную миграцию.

С целью изучения распределения ТРН между компонентами поглощающего комплекса донных отложений был проведен эксперимент по фракционному разделению радионуклидов по методике Tessier [3], адаптированной Бондаревой Л.Н. с соавторами для искусственных радионуклидов в донных отложениях реки Енисей [4]. Определение изотопного состава и активности гамма-излучающих радионуклидов выполнялось методом полупроводниковой гамма-спектрометрии.

Согласно работе [4] к подвижным формам радионуклидов относятся обменная и карбонатная формы, а также оксиды и гидроксиды Fe и Mn. К слабо-подвижным – связанные с органикой и аморфные силикаты. Вместе с тем принято считать, что оксиды и гидроксиды железа и марганца становятся подвижными только в восстановительных условиях, а в рассматриваемом случае условия окислительные. Поэтому в данной работе к подвижным формам отнесены обменная и карбонатная фракции, условно-подвижным – три остальные. В ходе лабораторного эксперимента было установлено, что в подвижных формах, которые в естественных условиях могут переходить в водный раствор, присутствует, в среднем, 16% ^{152}Eu , 22% ^{137}Cs и 15% ^{60}Co . Перенос остальной части радионуклидов, при отсутствии катастрофических изменений физико-химических условий в речной экосистеме, происходит в сорбированном состоянии в составе взвесей.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 23-27-00364). Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

Литература

1. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи Ф.В., Белолипецкий В.М., Болсуновский А.Я., Ковалев С.И., Косолапова Л.Г., Мельгунов М.С., Рапута В.Ф. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. Филиал «Гео», 2004. 286 с.
2. Тимофеев В.А. Техногенное радиоактивное загрязнение аллювиальных отложений Енисея // Сборник докладов II Междунар. радиозоологической конф. – Красноярск. 1995. С. 165–171.
3. Tessier A., Cambell P.G., Bisson M Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals //Analytical chemistry. 1979. V. 51. N 7. P. 844–851.
4. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я., Сухоруков Ф.В., Казбанов В.И., Макарова И.В., Леглер Е.В. Оценка миграционной способности трансурановых радионуклидов (^{241}Am , изотопов плутония) и ^{152}Eu в донных отложениях реки Енисей // Радиохимия. 2005. Т. 47. № 4. С. 289–294.

EFFECT OF NATURAL BACKGROUND RADIATION HAZARD ON HABITAT AND ENVIRONMENT

Daya Shanker

Department of Earthquake Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee-247667, India

E-mail: d.shanker@eq.iitr.ac.in

Public concerns of radiation exposure of safety in high background areas are of great social and civil relevance. The construction materials used for dwelling purposes from these areas should be avoided from health hazard point of views. Significant radiation doses will certainly enter the human body as most of the people have the habit of sitting and sleeping on the floor. People living in the region are expected to receive significant radiation, which may get accumulated in the human body causing long-term health problem. It is also advisable if the area falls having already natural background radiation hazard must be avoided for the future nuclear power plants/reactors. A case study of Southern Tamil Nadu, India, report detailed radiation exposure rates along the beach sectors from Thengapattanam to Kanyakumari and the surrounding hinterlands regions of Tamil Nadu. High intrinsic radioagenic source, with radiation exposure rate ranging from 500 to 2600 $\mu\text{R/h}$, have been identified in the weathered hillocks around Inayam and Midalam localities. A very high radiation exposure rate ranging from 1000 to 6000 $\mu\text{R/h}$ were found within the rock population of syenite body and in the boulders around Puttetti. While, along the connected beaches around Midalam, Kurumpanai and Manavalakurichi is observed to be lower than that of hinterlands ranging from 200 to 1600 $\mu\text{R/h}$. Many areas in the world such as Australia, Brazil, China, India, Iran, Japan, etc., possess high levels of natural radiation. Exposure and quantification of radioactivity has become environmental/Civil problems around the world. The radioactivity even in minor quantities will build up in human body and subsequently, lead to unknown and erratic health complications in particular those related to sustainable development, agricultural production, habitat, ecosystem and forest.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГУМАТСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА ДЛЯ СОРБЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ШТОЛЕН ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

Е. З. Шакенов, Н. Ж. Мухамедияров, В. В. Колбин, А. Ж. Ташекова,
М. Т. Дюсембаева, Ж. Ж. Суюндуков, Н. К. Нургайсинова, Л. И. Сенгер

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан*

В настоящее время качество воды является серьезной проблемой, оказывающее непосредственное влияние на здоровье населения.

Одним из перспективных методов очистки воды является адсорбция. Адсорбция является популярным методом очистки благодаря своей рентабельности и простоте использования. Гуматсодержащие продукты, обладающие высокой сорбционной способностью и хорошими ионообменными свойствами, могут заменить дорогие импортные синтетические реагенты при очистке загрязненных вод.

В АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова» разработана технология получения экологически чистого модифицированного гуматсодержащего препарата из природного сырья Республики Казахстан. Получен

товарный знак на препарат «Супергумат» и заключение санитарно-эпидемиологической службы о безопасности данного продукта.

Для исследования эффективности препарата «Супергумат» (ИХН 3А) в сорбции тяжелых металлов (ТМ) и радионуклидов были использованы поверхностные воды штолен площадки Дегелен и модельный раствор.

Разложение препарата ИХН 3А проводилось согласно методическим указаниям и рабочей инструкции РИ 03-02-03 (А) «Подготовка проб для элементного анализа методом автоклавного разложения». Определение содержания химических элементов проводилось методами масс-спектрометрии (ИСП-МС) и атомно-эмиссионной спектрометрии (ИСП-АЭС) с индуктивно-связанной плазмой с использованием приборов Elan 9000 фирмы «Perkin Elmer SCIEX», а также iCAP 6300 Duo фирмы «Thermo Scientific». Определение радионуклидов в воде проводилось с помощью спектрометров Quantulus 1220 фирмы «Perkin Elmer».

Сорбция ТМ и радионуклидов проведена при динамических условиях естественном рН 5–7 (штольневые воды), и рН=1,7 модельный раствор. Препарат ИХН 3А в условиях естественного рН (рН=5–7) хорошо сорбирует такие элементы как Be, Sr, Mo, Cd, Cs и U. Следует отметить, что при $\text{pH} \leq 6$ в исследуемых образцах воды сорбция U препаратом ИХН 3А существенно ниже, чем при более высоких значениях рН. Данный препарат показал высокую эффективность сорбции радионуклидов (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и суммарная альфа-бета активность) в модельных растворах и поверхностных водах. Концентрация радионуклидов в воде после применения препарата снижается до уровня пределов обнаружения.

Применение супергумата в динамических условиях при естественной рН=6,5 демонстрирует высокую эффективность сорбирования на уровне 60–95%, для редкоземельных элементов этот показатель доходит до 98%. Однако масштабируемость такого подхода в естественных условиях с использованием препарата в данной форме является труднореализуемой на практике ввиду длительности процесса и низкой пропускной способности препарата в хроматографической колонке. В качестве рекомендации для эффективного применения супергумата в естественных природных условиях предлагается рассмотреть возможные варианты модификации препарата с применением связующего агента (гидрогеля, пористой структуры сорбента и т.д.), что позволило бы совместить эффективность динамических условий сорбирования с возможностью применения в естественных условиях среды.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВОДНОГО БАСЕЙНА КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УРАНА

В. П. Солодухин, С. Г. Ленник, С. К. Ыдырышева, Г. М. Кабирова, Т. В. Суздальцева

РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

Представлены результаты радиоэкологического обследования территории водного бассейна Капшагайского водохранилища. Методология исследования основана на опыте 10-летнего международного проекта «Навруз» по изучению состояния рек Средней Азии, в котором авторы принимали участие.

Во время полевой экспедиции были отобраны пробы объектов окружающей среды – воды, донных отложений и береговой почвы. Расположение контрольных пунктов (КП) приведено на рисунке.

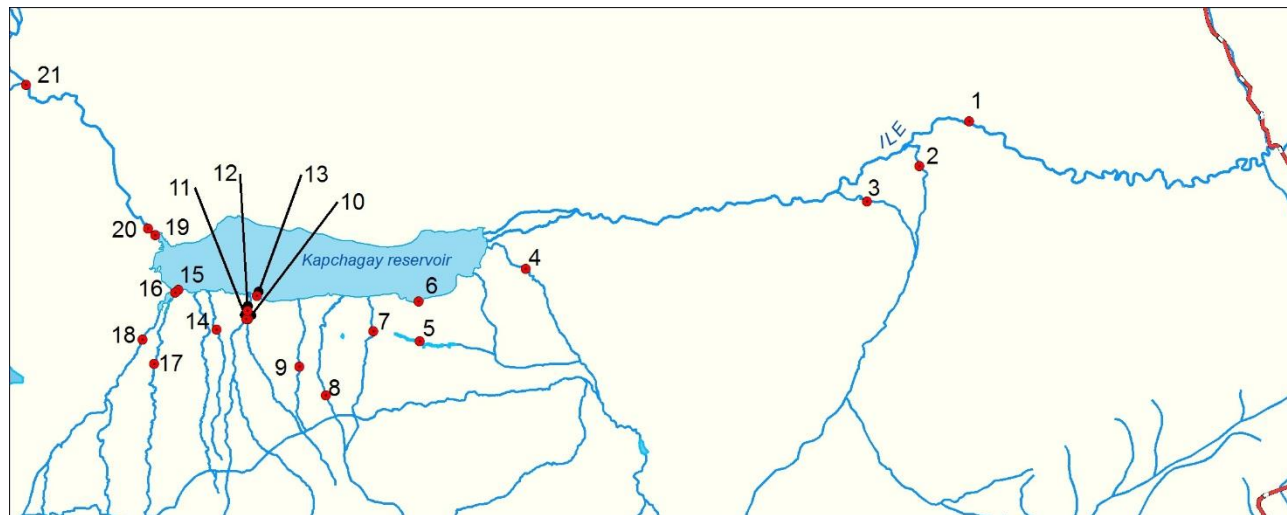


Рисунок. Схема отбора проб окружающей среды на территории водного бассейна Капшагайского водохранилища

Аналитические исследования образцов окружающей среды проводились в лаборатории ядерно-физических методов анализа Центра комплексных экологических исследований Института ядерной физики (Алматы, Казахстан) с использованием аттестованных методик, внесенных в реестр ГСИ РК.

Гамма-спектрометрическим методом определен радионуклидный состав проб почвы и донных отложений. На КП 5 в донных отложениях выявлено высокое содержание активности ^{238}U .

Альфа спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой определена объемная активность изотопов урана в пробах воды. Значения активностей ^{234}U и ^{238}U находятся в пределах (69,5–418) и (34,4–249) мБк/кг, соответственно, что существенно ниже значений санитарного норматива «Уровень вмешательства» – 2800 и 3000 мБк/кг. Отношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ близки к 1,0 на КП 14,16 и 17, на остальных находятся в диапазоне от 1,32 до 2,03.

Суммарная альфа-активность в пробах воды с КП 6, 13, 15 и 20 превышает значение 0,2 Бк/л, установленное санитарно-эпидемиологическими требованиями РК к обеспечению радиационной безопасности питьевой воды. Суммарная бета-активность на всех КП не превышает установленного тем же нормативом значения 1,0 Бк/л.

Планируется продолжение исследований территории водного бассейна Капшагайского водохранилища.

Секция 4

УКРЕПЛЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ



STS-2023

Section 4

STRENGTHENING THE NUCLEAR NONPROLIFERATION REGIME

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗБАВЛЕНИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ГРАФИТОВОГО ТОПЛИВА ИГР

Ю. Ю. Бакланова, Э. Г. Батырбеков, В. В. Бакланов,
Е. Т. Коянбаев, В. С. Гныря, О. С. Букина

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Предлагаемая технология иммобилизации была разработана для облученного графитового топлива исследовательского импульсно-графитового реактора (ИГР), который эксплуатируется в филиале «Институт атомной энергии» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (ИАЭ РГП НЯЦ РК).

В открытой печати отсутствует информация по обращению с уран-графитовым топливом. Имеются материалы по технологиям переработки реакторного графита, который использовался в активных зонах реакторов в качестве замедлителя и не содержал топлива. Активность такого графита обусловлена продуктами деления, попадающими на графит, то есть просыпями отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Топливо же исследовательского реактора ИГР является высокообогащенным и облученным, что потребовало всестороннего изучения вопросов возможного обращения с ним.

Научно-исследовательские и экспериментальные работы проводились в лабораториях и на производственных площадках филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК.

Проводимые исследования условно можно разделить на три этапа:

I этап (2018 г.) содержал подготовительные работы к разбавлению ВОУ топлива реактора ИГР в НЯЦ РК в результате которого были исследованы свойства высокообогащенного уранового (ВОУ) графитового топлива ИГР, проведен анализ существующих методов разбавления ВОУ топлива и выбран способ сухого смешивания для снижения обогащения топлива;

II этап (2019 г.), в рамках которого была разработана концепция обращения с облученным высокообогащенным урановым (ВОУ) топливом реактора ИГР, определены требования к транспортировке, условиям иммобилизации, хранению топлива ИГР, разработана пошаговая схема подготовки инфраструктуры к созданию технологической линии на базе НЯЦ РК;

III этап (2019–2023 г.) – это научно-исследовательские работы (НИР), включающие тщательный обзор научной литературы по методам иммобилизации твердых радиоактивных отходов (ТРО), проведение лабораторных и полномасштабных экспериментов в обоснование выбранного метода иммобилизации облученного топлива ИГР.

В результате выполненных НИР был разработан регламент на технологию разбавления и иммобилизации облученного графитового топлива ИГР, который стал основой для проектной документации на технологическую линию.

НИР проекта выполнялись при технической координации специалистов Национальной лабораторией Айдахо (INL), сопровождалась эффективной консультационной помощью экспертов МАГАТЭ, при оценке промежуточных результатов привлекались специалисты Sellafield Ltd..

Настоящая работа выполнена в рамках общего генерального контракта (Blanket Master Contract) № 00187855 между Battelle Energy Alliance, LLC и РГП НЯЦ РК, являющегося частью программы RRRFR Национального управления по ядерной безопасности (NNSA) Министерства энергетики США (DOE).

ИНСТИТУТУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 30 ЛЕТ. ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

С. А. Березин

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Институт геофизических исследований с основной базой в г. Курчатове организован в октябре 1993 года на базе двух организаций геофизического профиля. Первая – это Южный филиал центра Геон (партия 35) Министерства геологии СССР, занимавшийся комплексным геофизическим изучением глубинного строения земной коры на территории бывшего СССР. Вторая – Геофизическая обсерватория «Боровое» Института Физики Земли АН СССР, основной функцией которой был мониторинг ядерных испытаний. На основании постановления Кабинета министров Республики Казахстан № 1082 от 20.10.1993 года приказом генерального директора Национального ядерного центра Республики Казахстан № 40 от 08.11.1993 года Институт геофизических исследований был включен в состав Национального ядерного центра Республики Казахстан.

Институту в те непростые времена была установлена научно-техническая деятельность по следующим основным направлениям:

- контроль за испытанием ядерного оружия;
- геофизическое изучение и мониторинг геологических структур бывших ядерных полигонов;
- геофизическое изучение участков для размещения атомных теплоэнергетических станций, пунктов хранения и захоронения радиоактивных отходов (РАО);
- проведение инженерно-геологических и геологоразведочных работ (на бывших полигонах, при добыче урана и др.);
- регистрация и прогноз землетрясений;
- разработка, совершенствование и внедрение технологий получения и обработки информации, новейшего геофизического оборудования и аппаратуры.

Институт выполнял работы, обеспечивающие выполнение научных и технических обязательств Республики Казахстан по ключевым международным Договорам и Соглашениям о ядерной безопасности и ядерному нераспространению.

Для контроля за испытаниями ядерного оружия, при поддержке зарубежных и международных организаций (ОДВЗЯИ, AFTAC, NORSAR, IRIS и др.) спроектированы и построены 12 сейсмических, 3 инфразвуковых и 1 магнитная станция. Создан Центр данных в г. Алматы (1999) со статусом Казахстанского национального центра данных. Центр обеспечивает автоматизированную и интерактивную обработку данных. На базе Центра данных (г. Алматы) в 2010 г. открыт «Международный обучающий центр в поддержку ДВЗЯИ», созданный при технической и финансовой помощи ОДВЗЯИ и норвежского центра NORSAR. Здесь, прошли обучение специалисты из стран Центральной Азии – Кыргызстана, Таджикистана, Узбекистана, Туркменистана.

Основной профиль деятельности Института геофизических исследований связан с проблемами ядерной безопасности и ядерного нераспространения, с объектами атомной энергетики. Сегодня можно с уверенностью сказать, что благодаря профессионализму коллектива Института и всего Национального ядерного центра, получен значительный информационный ресурс, активно используемый для решения научных исследований и гражданских задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИММОБИЛИЗАЦИИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА ИГР

Ю. Ю. Бакланова, О. С. Букина, И. М. Кукушкин, Р. К. Барбатенков, М. А. Кукса,
М. Н. Азбергенов, А. Н. Котляр, А. П. Маслов, А. С. Азимханов, Е. Т. Коянбаев

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Импульсный графитовый реактор (ИГР) является одним из старейших в мире исследовательских реакторов, организацией-пользователем реактора является филиал Институт атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан. В рамках конверсии исследовательских реакторов обогащение топлива реактора ИГР должно быть снижено до уровня ниже 20 % по U^{235} , отработавшее топливо высокого обогащения (ВОУ) должно быть переработано или утилизировано. Институтом атомной энергии предложена технология, включающая разбавление и иммобилизацию топлива реактора ИГР в матрицу на основе портландцемента и

специальных добавок. Установлены критерии приемлемости к матрицам с иммобилизованным топливом для длительного хранения и захоронения на основе требований НПА РК и МАГАТЭ.

При разбавлении обогащение топлива по U^{235} снижено до требуемых параметров. Композиция цемента и специальных добавок выбрана основой матрицы для иммобилизации облученного ВОУ топлива реактора ИГР. В качестве специальных добавок рассматривались зола-уноса и доменный шлак – отходы, образующиеся в результате деятельности тепловых электростанций и металлургического производства.

В рамках первого лабораторного этапа НИР в обоснование технологии проведены работы по подбору состава матрицы для иммобилизации облученного топлива реактора ИГР: установлены допустимые технические критерии водоотделения, густоты, времени схватывания, равномерности изменения объема, прочности на сжатие. На основании соответствия техническим критериям отобрано всего 8 из общего количества исследованных составов.

На втором лабораторном этапе НИР проведены испытания образцов матриц на соответствие критериям приемлемости – прочность на сжатие, морозостойкость, стойкость к длительному пребыванию в воде, скорость выщелачивания – установлены составы для полномасштабных испытаний.

Полномасштабные испытания матриц проводились на специально организованном экспериментальном участке для получения и испытания цементных матриц. Экспериментальный участок включал в себя зону изготовления, зону выдержки, зону резки и зону пробоподготовки для материаловедческих исследований и располагался в помещениях технической зоны КИР «Байкал-1».

Технология изготовления цементных матриц отрабатывалась на составах без топлива реактора ИГР. Установленные процедуры апробированы при изготовлении цементных матриц с необлученным топливом низкого обогащения реактора ИГР. Полученные прототипы матриц со свежим топливом низкого обогащения были исследованы с целью подтверждения соответствия критериям приемлемости для длительного хранения и захоронения. В результате анализа экспериментов с топливом низкого обогащения были доработаны технические вопросы (время смешивания, скорость засыпки, порядок добавления компонентов).

На основании доработанного режима изготовления матрицы выполнена демонстрация его с ВОУ топливом реактора ИГР. В результате исследований образцов матрицы с ВОУ топливом установлено, что выбранный режим позволяет получить полноразмерную матрицу, соответствующую критериям приемлемости к матрицам с иммобилизованным топливом для длительного хранения и захоронения на основе требований НПА РК и МАГАТЭ.

На основании результатов научно-исследовательской работы подготовлен регламент на разработку проекта технологической линии по изготовлению матрицы для иммобилизации облученного топлива реактора ИГР.

ТЕПЛОВАЯ АНОМАЛИЯ В РАЙОНЕ СИП И ЕЁ ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Е. Великанов

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Более 25 лет прошло с тех пор, когда научная общественность Казахстана и стран СНГ начала изучение этого уникального природного явления, как тепловая аномалия в районе Семипалатинского полигона. Первыми с 1996 года за это взялись сотрудники Института космических исследований Казахстана во главе с Султангазиным У.М. и Закариным Э.А. При формировании ежегодных обзорных карт распределения снежного покрова и температуры подстилающей поверхности территории Казахстана по данным спутников серии NOAA в феврале 1997 г. было обнаружено большое (20 тыс. кв. км) тепловое пятно в районе СИП с превышающей фон температурой на некоторых участках до более чем на 10 °С. Тогда тепловую аномалию отнесли к поверхностным явлениям и сделали предварительное заключение, что ранний сход снега и высокая температура на поверхности земли, скорее всего, являются следствием глубинных термальных процессов, возможно, инициированных многочисленными ядерными взрывами. Впоследствии эту идею поддержали другие исследователи, которые уточнили её поднятием с больших глубин горячих флюидов вследствие многочисленных ядерных взрывов и прогревом земной поверхности.

Затем за изучение тепловой аномалии взялись другие исследователи, часть которых, связывала её проявление с радионуклидами, как продуктами ядерных взрывов, и горячими частицами (осколками ядерных зарядов), а часть – с постепенно затухающими тепловыми процессами в ядерных полостях подземных ядерных взрывов в штольнях и скважинах.

Много информации для распознавания природы тепловой аномалии в районе СИП дают различные данные дистанционного зондирования Земли, а также изучение погодных-климатических и атмосферных условий в дни её появления.

К настоящему времени установлены некоторые интересные факты, определяющие и сопровождающие появление региональной тепловой аномалии в районе СИП:

1. По данным многолетних (1881-1935 гг.) значений средней температуры воздуха на уровне земли появление тепловых аномалий в районе СИП наблюдалось и до создания СИП.

2. Тепловые аномалии наблюдаются преимущественно в зимний период (с ноября по март), когда территория покрывается устойчивым снежным покровом. Зарождение и рост тепловой аномалии чаще совпадает с днями интенсивного выпадения осадков, а также в дни возможного таяния снежного покрова при тёплой погоде. Это позволяет отметить, что появление тепловой аномалии обязано попаданию обильной влаги на земную поверхность.

3. Появление тепловых аномалий сопровождается локальным понижением концентрации озона в атмосфере над районом СИП.

4. Контур тепловой аномалии чаще всего имеет форму дракона, вытянутого в северо-западном направлении (грубо от пос. Караул через территорию СИП до г. Экибастуз), с подобием головы в СЗ части и подобием хвоста в ЮВ части. Контур тепловой аномалии с течением времени динамично меняется, показывая её зарождение в виде более узкой формы, рост и утолщение, а также последующее рассеивание (иногда по частям) или общий снос в северо-восточном направлении в сторону России.

5. Вытянутость контура тепловой аномалии в северо-западном направлении в виде дракона, особенно его ЮВ хвоста, определяется местоположением Главного Чингизского разлома.

6. По псевдоцветным спутниковым изображениям LANDSAT с RGB-комбинацией спектральных каналов 5, 4, 3 чётко определяется газообразная сущность тепловой аномалии в районе СИП, как расположение тепловых газов (отображающихся на снимках красным цветом) в атмосферной толще между кучевыми и перистыми облаками. Иногда наблюдается частичный полосовой снос и рассеивание ветровым потоком скоплений газов поперёк вытянутого контура общего тела дракона. Под местом сноса тепловых газов опять открывается снежный покров.

7. Более локализованные температурные максимумы тепловой аномалии приурочены как к участкам природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радионуклидов урана, тория, калия, так и к участкам земной поверхности с высокой плотностью загрязнения радионуклидами в местах проведения ядерных взрывов.

ПЕРЕВОД ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ.1М НА НИЗКООБОГАЩЕННОЕ УРАНОВОЕ (НОУ) ТОПЛИВО

**В. С. Гныря, А. С. Азимханов, И. В. Прозорова, А. В. Тимонов,
А. П. Маслов, И. К. Дербышев, Р. А. Иркимбеков**

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

E-mail: derbyshev@nnc.kz

В рамках Глобальной инициативы по снижению ядерной угрозы в настоящее время в Республике Казахстан ведутся работы по конверсии исследовательских реакторов. Основной целью этих работ является нераспространение ядерных материалов путем ликвидации высокообогащенного урана (ВОУ) и перевод исследовательских реакторов на низкообогащенное урановое (НОУ) топливо. Проекты реализуются совместно с лабораториями США, которые отмечают высокий уровень научно-технического потенциала и компетенций организаций Казахстана для выполнения этой сложной задачи.

Для реактора ИВГ.1М этап конверсии завершен в 2023 году. Эксплуатационные характеристики реактора после замены топлива существенно улучшены: за счет повышения загрузки топлива в активную зону кампания реактора увеличена более чем в два раза; значительно возросший запас реактивности позволит проводить пуски с более сложными экспериментальными устройствами, при этом время проведения каждого отдельного реакторного эксперимента может быть существенно увеличено. После завершения очередного этапа - энергетического пуска реактора и экспериментального определения всех необходимых характеристик новой активной зоны на мощности, реактор ИВГ.1М введен в эксплуатацию. Таким образом, уже в 2023 году на

реакторе ИВГ.1М возобновлены исследовательские работы в области мирного атомного применения. Проведены оценки выгорания топлива, и рассчитаны характеристики отработавшего ядерного топлива. Потенциальная длительность эксплуатации реактора с новой активной зоной оценивается не менее 30 лет и ограничена лишь процессами отравления бериллиевого отражателя.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

У. А. Игибаев, А. В. Комлев

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Конечное захоронение радиоактивных отходов представляет собой сложную задачу, требующую надежных и экологически безопасных решений. Международный опыт геофизического изучения мест для глубинного захоронения подчеркивает значимость применения сейсмической томографии, гравиметрии, магнитометрии и электрической томографии для оценки геологической стабильности, структуры пород и свойств горных образований. Эти методы позволяют обоснованно выбирать подходящие участки, обеспечивая долгосрочную безопасность и управление радиоактивными отходами.

Международный опыт геофизического изучения мест глубинного захоронения радиоактивных отходов показывает, что эти методы играют важную роль в выборе безопасных и стабильных мест для долгосрочного хранения ядерных отходов. Они позволяют получить информацию о структуре пород, их плотности, проводимости и других характеристиках, что помогает оценить риски и принять обоснованные решения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

С. А. Березин, Н. Н. Михайлова, П. Ю. Кривцов, В. И. Донцов, И. И. Комаров

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

24 сентября 1996 г. был открыт для подписания принятый на 50 сессии Генеральной Ассамблеи ООН Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), а 22 июня 2007 г. Законом Республики Казахстан ратифицировано Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Временным Техническим Секретариатом Подготовительной Комиссии ОДВЗЯИ «О проведении мероприятий, включая пост-сертификационные, на объектах международного мониторинга в поддержку Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний». В соответствии с этим Соглашением филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК осуществляет деятельность по выполнению технических обязательств Казахстана по ДВЗЯИ. На текущий момент в международную систему мониторинга, создаваемую Организацией ДВЗЯИ, включены пять станций из Казахстана: PS23-Маканчи, AS057-Боровое, AS058-Курчатов, AS059-Актюбинск, IS31-Актюбинск.

Также в Казахстане развиваются системы контроля за проведением ядерных испытаний, созданные при поддержке не только Организации ДВЗЯИ, но и Агентства прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC), Норвежского сейсмологического центра (NORSAR), Международного консорциума сейсмологических институтов (IRIS), Ламонт-Дохертской Земной обсерватории Колумбийского Университета США (LDEO), Комиссариата по атомной энергии Франции (CEA/DASE).

Казахстанскими станциями в составе этих глобальных сетей ведется как глобальный мониторинг ядерных испытаний и землетрясений, так и региональный мониторинг землетрясений, промышленных взрывов и других сейсмических событий на территории Казахстана и Центральной Азии. В глобальном мониторинге станции обеспечивают регистрацию ядерных взрывов на разных полигонах мира мощностью порядка 1 килотонны, что соответствует магнитуде сейсмических волн около 4, а в целом, казахстанские станции, наряду с регистрацией возможных ядерных испытаний на полигонах мира, способны обеспечивать контроль сейсмических событий на территории Центральной Азии и Республики Казахстан, начиная с магнитуды 2.

Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации в круглосуточном режиме ведет обработку сейсмических и инфразвуковых данных с созданием бюллетеней событий и срочных донесений,

особенно для событий, происходящих вблизи незакрытых ядерных полигонов, в первую очередь ближайших к Казахстану – Китая, Индии, Пакистана, а также сильных событий в мире, регионе Центральной Азии и наиболее заметных событий на территории Казахстана.

Таким образом Казахстан, выполняя взятые на себя в рамках международных договоров обязательства, доказывает приверженность укреплению режима нераспространения ядерного оружия и повышения уровня международной безопасности, с целью построения будущего, свободного от ядерной угрозы.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ БАЛАПАН, С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ ПОСТВЗРЫВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И. О. Марченко¹, С. Б. Субботин², О. О. Марченко²

¹ Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Современные территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) недостаточно полно вовлечены в хозяйственную деятельность в связи с экологической обстановкой и отсутствием соответствующей инфраструктуры на них. Однако, рано или поздно, они могут быть использованы, например, для освоения на этих территориях имеющихся минеральных и строительных ресурсов. Поскольку на этих землях геологическая среда содержит множество ядерных полостей, существенно влияющих на механическую устойчивость поверхностных слоёв, требуются специальные исследования с целью оценки недр на их несущую способность для различных инфраструктурных и хозяйственных объектов.

В рамках данной исследовательской работы проведена предварительная оценка соответствия границ площадки «Балапан» и областей развития поствзрывных экологически значимых процессов вследствие деструктивного воздействия подземных ядерных взрывов (ПЯВ), сопровождающихся радионуклидным загрязнением геологической среды.

Полагается, что:

1. Северо-западную границу площадки, в принципе, возможно переместить на юго-восток, но только после детального обследования прилегающих к ней скважин ПЯВ на предмет оценки проявленности деструктивных процессов в гипоцентральных зонах ПЯВ.

2. Границы площадки рационально расширить:

1.1. В районе прирусловой территории р. Шаган, где за пределами СИП до 25 км отмечаются аномальные значения (до 350 КБк/кг) удельной активности ³Н, и превышающие уровень вмешательства (УВ), согласно [1], от 5 до 50 раз;

1.2. В районе оз. Кишкенсор вблизи западной границы площадки и за ее пределами, где фиксируется содержание трития, превышающее УВ в 25 раз.

3. Для объективного расширения или уменьшения территории площадки «Балапан» и обеспечения безопасной хозяйственной деятельности в ее пределах, необходимо провести дополнительные исследования:

3.1. Гидрогеологический анализ направления течения и определения бассейна вод скважин 1419 и 12А на северо-востоке площадки, где зафиксированы аномально высокие значения удельной активности, превышающие УВ в 157 и 400 раз.

3.2. В условиях высокого радиоактивного загрязнения подземных вод вследствие проведения ПЯВ, развития вторичной трещиноватости и вероятности обрушения котловых полостей ПЯВ с последующим выбросом радиоактивности и горючих газов в углефицированных горных породах, требуется проведение геолого-геофизических исследований по оценке возможности развития этих процессов.

Разработанный подход для определения границ испытательных площадок СИП и возможности размещения на них объектов хозяйственной деятельности может приниматься во внимание при решении этих задач, как в комплексе с другими методиками, так и самостоятельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 02 августа 2022 года.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ NSDL ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПОЛЕВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

А. С. Мукамбаев¹, В. Э. Асминг²

¹ Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

² Кольский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»
(КоФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Апатиты, Российская Федерация

В Центре данных ИГИ РГП НЯЦ РК в рамках реализации научных программ «Исследование сейсмических рисков для ядерных установок на территории Семипалатинского испытательного полигона» 2018–2020 гг. и «Изучение природной и техногенной сейсмичности и обоснование системы непрерывного сейсмического мониторинга территории СИП для контроля безопасности действующих и проектируемых ядерных установок» 2021–2023 гг. устанавливались полевые станции на площадках Дегелен, Балапан, Сарыузен. Для обработки полевых данных был внедрен Программный комплекс NSDL, предназначенный для организации автоматического мониторинга сейсмической активности какого-либо региона с помощью сети сейсмостанций, сейсмических групп или отдельных трехкомпонентных сейсмостанций. Система NSDL имеет два уровня. На первом уровне работают программы обработки данных одиночных станций, реализующие алгоритмы детектирования и предварительной локализации сейсмических событий по записям отдельных трехкомпонентных сейсмических станций и сейсмических групп. Второй уровень – программа ассоциации результатов обработки данных отдельных станций, которая выполняет совместную локализацию по сети станций на основе событий и фаз сейсмических волн, обнаруженных на первом уровне обработки.

Благодаря внедрению системы автоматической обработки данных NSDL удалось обнаружить и локализовать сейсмические события, среди которых природные и индуцированные землетрясения и карьерные взрывы.

ПРИВЕДЕНИЕ В БЕЗОПАСНОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Э. Г. Батырбеков¹, С. А. Березин¹, А. Ю. Осинцев¹, Е. В. Мустафина²

¹ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатов, Республика Казахстан

² Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК,
г. Курчатов, Республика Казахстан

В 2013 году Национальный ядерный центр Республики Казахстан начал новый большой этап работ, связанных со снижением риска распространения ОЯД на территории испытательной площадки «Опытное поле».

«Опытное поле» была первой испытательной площадкой Семипалатинского испытательного полигона. Площадка использовалась для проведения атмосферных (воздушных и наземных) ядерных испытаний. Согласно литературным данным, в период с 1949 г. по 1963 г. на «Опытном поле» было проведено 116 ядерных испытаний, из которых 86 являлись воздушными испытаниями, 30 – наземными испытаниями, проведенными на малой или нулевой высоте, при этом в 5 случаях ядерное устройство не сработало.

Анализ имеющихся архивных и литературных материалов, а также результаты ряда локальных радиационных исследований показывали, что на территории площадки могут находиться объекты(участки), содержащие ОЯД в количествах, представляющих риски по критерию нераспространения оружия массового уничтожения.

Работы начались с детального обследования площадки, а также прилегающих к ней территорий. Это были самые масштабные исследования за всю деятельность Национального ядерного центра. Исследования проводились непрерывно зимой и летом, в жару и мороз, в течение 6 лет. В результате было проведено более 20 000 погонных километров пешеходной гамма-спектрометрической съемки, произведено порядка 3-х млн спектрометрических измерений, пробурено более 750 исследовательских скважин, отобраны и проведены лабораторные исследования более 20 тыс. образцов.

Результаты исследований стали отправной точкой для разработки технических решений по обеспечению нераспространения выявленных ОЯД и легли в основу мероприятий для безопасного проведения всех этапов работ по снижению угрозы распространения ОМУ на «Опытном поле».

Для каждого выявленного объекта с ОЯД были определены свои, уникальные методы и технологии приведения его в безопасное состояние. Для повышения эффективности на большинстве объектов применялся комплекс различных методов. На ряде объектов была проведена их рекультивация путем снятия верхнего слоя почвы, содержащего высокие концентрации ОЯД с последующей переработкой по специально разработанной методике. Переработанные ОЯД были соответствующим образом упакованы и транспортированы на комплекс исследовательских реакторов «Байкал-1», где размещены на долговременное хранение. На объектах, где из соображений безопасности персонала рекультивационные работы были невозможны, обеспечение безопасности было достигнуто посредством строительства специальных защитных сооружений (физических барьеров). Сооружение представляет собой железобетонную конструкцию, надежно укрывающую объект, содержащий ОЯД со всех сторон.

Таким образом, в настоящее время все объекты, содержащие ОЯД и расположенные на территории площадки «Опытное поле, приведены в безопасное состояние, надежно охраняются и не представляют угрозы.

Казахстан в очередной раз показал положительный пример действенного международного сотрудничества по снижению глобальной угрозы и укрепления режима нераспространения.

DEVELOPMENT OF THE NATIONAL NUCLEAR FORENSICS LIBRARY IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AS A SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF NUCLEAR AND OTHER RADIOACTIVE MATERIALS

A. Sysaletin¹, Yu. Baklanova², E. Sapataev², V. Yermakov²,
R. Islamov², R. Nauryzbaev², S. Ilinykh²

¹ RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan”, Kurchatov, Kazakhstan

² “Institute of Atomic Energy” branch of the RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

E-mail: sysaletin@nnc.kz

In 2021, the NNC launched a project with the participation of international partners dedicated to nuclear forensics.

The project solves two interrelated complex tasks:

- Development of NNC Competencies in Laboratory Research for the Purposes of Nuclear Forensics;
- Creation of a software solution for the national nuclear forensics library in the Republic of Kazakhstan.

Within the framework of this project, various samples are being studied to identify the material for the purposes of nuclear expertise. In particular, a fragment of a fresh fuel block with HEU (90% in U-235) of the IGR research reactor is being studied. Work is underway to study samples of fresh fuel pellets with low enriched uranium. In order to verify the reliability of the results of the applied methods, samples are exchanged with project partners and these samples are examined.

A rather ambitious task is being solved to create a prototype of a national library for nuclear forensics in the Republic of Kazakhstan. This work is carried out in our country for the first time within the framework of the current project at the NNC. The concept and structure of the database on nuclear forensics is being developed. This is a complex task that is being solved by a large group of researchers -

One of the most difficult tasks is the development of search algorithms and methodology for assessing the relevance of search results. We have developed our own methodology, which shows a good relevance of search results.

Unknown (withdrawn) material is examined to obtain its signatures. As a result of search results, the process of searching and comparing seized material with records in the database was automated by the most key parameters - signatures.

The concept of NNFL, implemented as a systematized database and knowledge, was presented for discussion at the national seminar on nuclear forensics organized by the IAEA (Almaty, March 27–31, 2023), a meeting of the international technical working group ITWG (Tbilisi, June 19–23, 2023) year), a nuclear forensics workshop organized by IAEA (Bangkok, July 11–14, 2023). The presented project of the national library received positive assessments during its discussion at the indicated sites.

REFERENCES

1. Nuclear Forensics in Support of Investigations: implementing guide. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. 79 p. — (IAEA nuclear security series, ISSN 1816–9317; no. 2-G) STI/PUB/1687 ISBN 978–92–0–102115–1 – 79 p.
2. Riley D., Enslin N. et al. Passive non-destructive analysis of nuclear materials. – M.: Binom, 2000. – 720 p.
3. Bushuev A.V. Methods for measuring nuclear materials / Bushuev A.V. – M.: MEPhI, 2001. – 172 p.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГАИ. Л. Аристова¹, И. Н. Соколова², А. Е. Великанов¹, Д. К. Комекбаев¹¹ Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан² ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Обнинск, Российская Федерация

В настоящее время в связи с геополитическими рисками в мире возрос интерес к обнаружению, быстрому определению параметров, сейсмическому распознаванию ядерных испытаний, а также оценки мощности взрывов. Для таких задач целесообразно использовать сейсмические записи мирных ядерных взрывов (МЯВ), так как их параметры известны с большой точностью, они были проведены в различных геологических средах, на разных глубинах и др. на обширной территории Северной Евразии. Кроме того, были проведены работы по уточнению координат МЯВ современными методами. В связи с этим, большинство МЯВ можно считать эталонными и использовать для уточнения региональных скоростных моделей.

Мирные ядерные взрывы (МЯВ) проводились на территории СССР начиная с 1965 года в рамках реализации государственной программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства». За период 1965–1988 гг. было проведено 124 мирных ядерных взрыва (МЯВ) в интересах народного хозяйства и в научных целях (из них 117 – вне границ ядерных полигонов, остальные были проведены на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП)). По территориальному распределению: 80 МЯВ проведено в РСФСР, 39 – в Казахской ССР, 2 – в Украинской ССР, 2 – в Узбекской ССР, 1 – в Туркменской ССР. Большинство взрывов зарядов (130) было произведено в скважинах, один – в шахте и четыре – в штольнях.

По историческим аналоговым сейсмограммам 1965–1988 гг. составлен сейсмический бюллетень мирных ядерных взрывов, произведенных на территории СССР, всего обработано более 1500 сейсмограмм. Для исследований использовались записи из архива сети КСЭ ИФЗ АН СССР, станции которой были расположены на всей территории СССР на эпицентральных расстояниях 520–6700 км от МЯВ.

Построены региональные годографы основных сейсмических фаз по данным регистрации калибровочных источников для различных районов Казахстана. Проведено тестирование и сравнение с другими региональными и глобальными годографами для этой территории.

Построены зависимости магнитуд m_b , m_{pr} и энергетических классов K от мощности взрывов. Наблюдается хорошая согласованность данных, полученных по замерам аналоговых сейсмограмм и данных мировых сейсмологических агентств. Показано, что эта зависимость существенно зависит от среды, в которой взрывы проводились. Для взрывов, проведенных в соли, наблюдается более резкий рост магнитуд от мощности, чем для взрывов, проведенных в коренных породах.

Полученные результаты можно использовать для калибровки сейсмических станций и в задачах мониторинга ядерных испытаний.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИЙ И РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИ
МОНИТОРИНГЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ НА СИП

А. С. Мукамбаев, Н. Н. Михайлова, В. И. Дубровин

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

На территории СИП расположено несколько месторождений полезных ископаемых, на некоторых из которых в настоящее время ведется активная взрывная деятельность. Наибольшее количество взрывов производится на угольном карьере Каражыра. Три станции IMS, расположенные в Казахстане, ведут регистрацию этих взрывов. Это станции Маканчи (PS23), Боровое (AS057), Курчатов-Крест (AS058). Расстояния до карьера от этих станций составляют 452 км, 668 км, 68 км соответственно. Всего за 19 лет наблюдений зарегистрировано около 2800 взрывов.

Анализ результатов рутинной обработки по автоматическому и интерактивному бюллетеню Казахстанского NDC показал, что поле полученных эпицентров взрывов намного превышает размеры карьера. Проведена детальная обработка волновых форм взрывов для выяснения причин такого разброса. Для обработки и анализа волновых форм использовано программное обеспечение Geotool и DTK – GPMCC, входящие в пакет NDC-in-a Box. Установлено, что значения азимутов по разным региональным фазам Pn, Pg, Sn, Lg отличаются друг от друга и имеют разную дисперсию. Существуют систематические отклонения азимутов для некоторых фаз от истинного. Отмечена четкая зависимость точности определения эпицентра от энергии (мощности) взрыва. Найдены и субъективные факторы в работе аналитиков, влияющие на точность оценок. Даны рекомендации в проведении обработки в KNDC для повышения точности.

Исследованы критерии распознавания взрывов карьера Каражыра от других сейсмических событий. Одним из таких критериев является наличие инфразвукового сигнала на записях станции KURIS.

КОМПЛЕКС АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УРАНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ

А. Ж. Сериков, В. С. Моренко, П. В. Харкин, М. В. Краснопёрова,
Д. А. Желтов, А. Т. Кошжанов, А. Наби

РГП «Институт ядерной физики», г. Алматы, Республика Казахстан

В Республике Казахстан существует развитый комплекс по добыче и переработке сырья, содержащего природный уран. В связи с этим в РК назрела необходимость создания ядерно-криминалистической базы данных с информацией о ядерных материалах, имеющихся в стране, в т.ч. на основе природного урана. Как и во всем мире, компетентным органам РК необходимо вести учет ядерных материалов в целях идентификации и установления происхождения изъятых материалов из незаконного оборота, в результате имея соответствующую базу данных.

Одной из основных составляющих базы данных являются радионуклидные и элементные «портреты» образцов ядерных материалов.

В ИЯФ при поддержке МНТЦ отрабатывалась технология проведения экспертизы ядерных материалов, включая приемку образцов на экспертизу, проведение аналитических исследований, формирование библиотеки ядерных материалов, анализ результатов аналитических исследований с помощью методов математической статистики, а также выдачи экспертных заключений.

Поскольку ИЯФ не имел достаточного опыта в проведении аналитических исследований образцов ядерных материалов, то в рамках проекта МНТЦ К-2400 «Развитие материально-технического и нормативно-методического обеспечения экспертизы ядерных и радиоактивных материалов в Республике Казахстан» была проведена соответствующая работа по расширению аппаратной и методической базы аналитических лабораторий, а также повышению квалификации персонала.

В рамках проекта приобретен растровый электронный микроскоп HITACHI TN4000Plus. Разработаны две методические инструкции по определению массовой доли и изотопного состава урана различными аналитическими методами, а также отработана технология использования методов математической статистики для решения задач ядерной криминалистики.

На базе ИЯФ Комитетом атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики РК в сотрудничестве с Национальной администрацией по ядерной безопасности Министерства энергетики США проведен учебный курс по теме «Принципы создания национальной базы данных по ядерной криминалистике».

Участники Проекта принимали участие в таких мероприятиях, как двухмесячная стажировка в Институте теоретической и экспериментальной физики, Москва, Россия, мероприятии МАГАТЭ «Региональные учения по судебно-медицинской экспертизе вещественных доказательств и следовых количеств ядерных материалов с мест радиологических преступлений» (Москва, Россия), работе технической встречи МАГАТЭ по ядерной криминалистике в г. Вена, Австрия; в учебном курсе «Подготовка специалистов по радиационному обнаружению и радиационной защите, и безопасности», проходившем в г. Карлсруэ (Германия) и международном симпозиуме «Безопасная транспортировка ядерных материалов», проходившем в г. Токио (Япония).

Таким образом, группа специалистов, созданная на базе ИЯФ, может способствовать борьбе с незаконным оборотом ядерных или других радиоактивных материалов. Это особенно важно с учетом перехода мирового сообщества на новый уровень угроз, связанных с международным и локальным терроризмом.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ



STS-2023

AUTHORS INDEX

A

Akaev A., 22, 30, 32
Akbaev A., 79
Aoyagi M., 30
Aslanova G. F., 109

B

Bagramova A. A., 83
Baigazinov Z., 22
Baklanov V., 22, 30, 32
Baklanova Yu., 138
Bátor G., 22
Bigaliyev A. B., 79
Bochkov V. S., 39
Buitkenov D. B., 38

C

Christensen J. M., 21
Cleave D., 21
Csordás A., 22, 84

D

Dosmagambet Zh., 79

E

Endo S., 83

F

Florou H., 24
Fujimoto N., 102, 103

G

Ganbaatar T., 84
Gordienko Yu. N., 39

H

Hegedűs M., 22, 84
Hoshi M., 83, 102, 103
Humbatov F. Y., 109

I

Ibrahimov Q. I., 109
Ilinykh S., 138
Imaizumi Y., 22, 30
Islamov R., 138
Ivannikov A., 83
Izosimov I. N., 111

K

Kajimoto T., 83
Kamiyama K., 22, 30, 32

Kato S., 22, 32
Kawano N., 83
Khasenov M. U., 39
Kotlyar A. N., 39
Kovács T., 22, 84
Kozhahmetova A. N., 79

M

Matsuba K., 22, 30, 32
Mavrokefalou G., 24
Mikisha A., 30
Miller A. A., 39
Mukhamedov N., 22, 32
Myrzatay A. M., 79

N

Naimankumaruly E., 38
Nauryzbaev R., 138

P

Pakhnits A., 22, 32
Ponkratov Yu. V., 39

R

Rakhadilov B. K., 38

S

Saidullaev B. D., 111
Sakaguchi A., 83
Samarkhanov K. K., 39
Sambayev E. K., 83
Sapataev E., 138
Sato Y., 94
Shahrokhi A., 84
Shanker D., 126
Skakov M. K., 39
Sluyanov A. N., 39
Stepanenko V., 83
Strashnov I., 111
Sykioti O., 24
Sysaletin A., 138

T

Tanaka K., 83
Terasaka Y., 121
Tolmachev S. V., 39
Tóth-Bodrogi E., 22, 84
Toyoda Sh., 83
Tulubayev Ye. Yu., 39

V

Vasidov A., 111
Vurim A., 22, 30, 32

Y

Yermakov V., 138

Z

Zhumadilov K. Sh., 83
Zhumalina A. G., 83

A

Абдаминов А. Б., 31
Абишев Ж. Ж., 102, 103
Абишева М. Т., 106
Азат С., 33
Азбергенов М. Н., 132
Азимханов А. С., 102, 103, 132, 134
Айдарханов А. О., 77, 87, 88, 101, 115, 123
Айдарханова А. К., 77, 87, 98, 99, 101, 110, 116, 119, 120, 121, 123
Айтбаева Ж. Б., 95
Акаев А. С., 44, 52
Александрович И. А., 91
Алексеев Д. И., 65, 68
Аллаяров С. Р., 31
Амантаева Г. К., 102, 103
Аникин М. Н., 33, 40, 106
Антонов А. В., 117
Антонов В. И., 117
Апсаликов К. Н., 114
Арипова М. Х., 73
Аристова И. Л., 139
Арынгазы Е. Б., 44, 70
Аскербекоев С., 57, 67
Асминг В. Э., 137
Аумаликова М. Н., 78, 94
Ахметов К. К., 90, 107

Б

Базарбаева А. Б., 91
Байгазы С. А., 91
Бакланов В. В., 41, 44, 56, 131
Бакланова Ю. В., 81
Бакланова Ю. Ю., 37, 52, 131, 132
Барбатенков Р. К., 132
Батырбеков Э. Г., 131, 137
Бахарев Н. Н., 71
Бахтин М. М., 78
Бачурина И. А., 108
Бедельбекова К. А., 97
Бекмулдин М. К., 44, 73
Березин С. А., 132, 135, 137
Бияхметова Д. Б., 112
Блынский П. А., 80
Божко В. В., 81
Большаков М. Н., 61
Бочков В. С., 66, 69, 70
Брайт Ю. Ю., 114

Бредихин И. С., 81
Букина О. С., 69, 131, 132

В

Васильев В. А., 55, 61
Великанов А. Е., 133, 139
Верхуша Ю. А., 108
Витюк В. А., 48, 51
Витюк Г. А., 48
Вурим А. Д., 37

Г

Герваш А. А., 55, 61
Гныря В. С., 102, 103, 131, 134
Гордиенко Ю. Н., 66, 69, 70
Горлачев И. Д., 85, 124
Градобоев А. В., 56, 72
Гузов В. Д., 108, 113
Гулькин А. В., 71
Гуринович В. И., 113

Д

Даулетханов Е. Д., 29, 44
Дашук А. Л., 89, 101
Демидов В. А., 101
Демкова К. Ю., 99
Дербышев И. К., 134
Джанабаев Д. Д., 78, 94
Дженбаев Б. М., 96
Долголенко Г. В., 25
Должиков С. А., 45
Донцов В. И., 135
Дорожкин И. П., 81
Дубровин В. И., 139
Дүйсен А. Ж., 55, 58
Дюсембаева М. Т., 89, 112, 116, 126
Дюсупов А. А., 102, 103

Е

Еділұлы Ә., 41, 73
Екидин А. А., 113
Ермакова Р. Г., 77, 99, 110

Ж

Жанболатова Ғ. Қ., 68
Жаксыбаева А. А., 58
Жамалдинов Ф. Ф., 112, 119
Жанболатов О. М., 46, 51
Жанболатова Ғ. Қ., 56, 59, 72
Жапабаев К. А., 40
Желтов Д. А., 85, 124, 140
Женіс Қ., 71
Живулько А. М., 42, 73
Жидков Д. А., 110
Жирнов А. П., 37
Жолболдиев Б. К., 96
Жолдыбаев Т. К., 46
Жумадилов К. Ш., 102, 103

Жүнісбек С. А., 55, 58

З

Загуменнов В. С., 29
Заурбекова Ж., 57, 67
Зукау В. В., 101

И

Иванов Б. В., 57
Иванова А. Р., 93
Иванюта А. Н., 37
Игибаев У. А., 135
Избасханова А. Т., 47
Изместьев А. А., 29
Иркимбеков Р. А., 46, 51, 134
Иса Ж., 78
Исламов Р. С., 37
Исмаев Н. Б., 31

К

Кабдуалиева Н. Б., 95
Кабдыракова А. М., 87
Кабирова Г. М., 97, 127
Казымбет П. К., 78, 94
Кайырханова И., 102
Карпишин М. В., 65, 68
Кашикбаев Е. А., 55, 58
Кашкинбаев Е. Т., 78, 94
Келсингазина Р. Е., 48
Кенжина И., 57, 67
Кенжина Л. Б., 112
Киселев Д. А., 55
Кожахметов Е. А., 56, 59, 63, 66
Кожемякин В. А., 108
Колбин В. В., 89, 112, 126
Колесник М. С., 55, 58, 60
Комар Д. И., 113, 117
Комаров И. И., 135
Комекбаев Д. К., 139
Комлев А. В., 135
Коновалова Ф. В., 114
Коровиков А. Г., 47
Коровин В. А., 85
Коровина О. Ю., 85
Котляр А. Н., 132
Кошжанов А. Т., 140
Коянбаев Е. Т., 52, 131, 132
Красильщиков К. С., 115
Краснопеев С. А., 23
Красноперова М. В., 85, 124, 140
Кривицкий П. Е., 87, 115
Кривцов П. Ю., 135
Крестова Н. В., 86
Кропачева М. Ю., 125
Круглыхин А. А., 89, 101, 116, 123
Кудайбергенов К. К., 33
Кузнецов В. Е., 61
Кукса М. А., 132
Кукушкин И. М., 52, 132
Кульсартов Т., 57, 67

Кунарбекова М. С., 33
Кундузбаева А. Е., 87
Курбанов Н. М., 25
Кусаинов А. Т., 71

Қ

Қайырбекова Ә. Ж., 68

Л

Лагуцкий И. А., 113, 117
Лазаренко С. В., 108
Ларионова Н. В., 77, 87, 98, 108, 115, 120, 122
Ластовский С. Б., 42
Латманизова Ю. Н., 65, 68
Лебедев И. И., 33, 40, 106
Левичев В. В., 61
Лемехов В. В., 37
Ленник С. Г., 96, 97, 127
Леончик А. И., 25
Лещенко Н. А., 122
Липихина А. В., 114
Литуновский Н. В., 60
Лукашенко С. Н., 23, 87, 104

М

Мадиянова Ә. Н., 58
Мазаев С. Н., 55
Мазуль И. В., 55, 58, 60, 61
Макарова И. В., 125
Макоед И. И., 42, 73
Мамырбаева А. Н., 112
Мамырбаева А. С., 77, 99, 110, 117, 119, 121
Манекенова К. Б., 95
Манзук М. В., 65, 68
Мансарина А. Е., 114
Мартыненко Е. А., 44, 66, 69
Марченко И. О., 136
Марченко О. О., 136
Маслов А. П., 132, 134
Матиенко Л. Д., 85
Маханьков А. Н., 55, 60
Межина Е. Р., 37
Мельгунов М. С., 125
Меншарапов Р. М., 57
Меркель А. И., 119
Микляев С. М., 65, 68
Мильц О. С., 85
Минаев В. Б., 71
Миниязов А. Ж., 56, 59, 62, 63, 66, 68, 72
Минкенова К. С., 118
Михайлов А. В., 23, 87
Михайлова Н. Н., 135, 139
Моисеев А. В., 37
Монаенко В. Н., 106
Моренко В. С., 140
Мукамбаев А. С., 137, 139
Мустафина Е. В., 81, 88, 137

Мустафина К. Т., 119
 Мухамедиев А. К., 49, 50
 Мухамедияров Н. Ж., 89, 112, 116, 126
 Мухамедов Н. Е., 45, 48
 Мухамедова Н. М., 37, 63, 66

Н

Наби А., 140
 Нагманов А. С., 66
 Наймушин А. Г., 33, 40, 106
 Наурызбаев Р., 72
 Немытова Л. А., 118
 Нестеров Е. А., 101
 Ниязбекова К. К., 95
 Нургайсинова Н. К., 89, 112, 126
 Нурпаисова Г. С., 41

О

Овсенёв А. Е., 106
 Омаров М. С., 90
 Омарова К. М., 90
 Оразбекова А. А., 107
 Оразгалиев Н. А., 29, 69, 70
 Оразымбеков Б. Т., 70
 Орлов К. Е., 29
 Осинцев А. Ю., 88, 137

П

Павлюк А. Е., 29
 Пайзуллаханов М. С., 73
 Паницкий А. В., 87, 91, 93, 97
 Пахниц А. В., 45
 Петрова Е. А., 80
 Пискарев П. Ю., 55, 58, 60, 61
 Подойников М. А., 91
 Покровский И. В., 92
 Поливкина Е. Н., 93, 97
 Понкратов Ю. В., 66, 69, 70
 Попов Ю. А., 50, 52
 Прозоров А. А., 50
 Прозорова И. В., 49, 50, 134
 Пулинец А. А., 37
 Пышкина М. Д., 113

Р

Ражаматов О. Т., 73
 Раимканова А. М., 119
 Рождественский И. М., 37
 Романенко Е. В., 93, 119
 Рошаль А. Г., 65, 68
 Рузанов В. В., 55, 58, 61
 Рулёв Р. В., 58, 61
 Русланова Б., 102, 103

С

Сабитова Р. Р., 50, 52
 Савчин В. В., 25
 Садыков Б. М., 46
 Сайфулина Е. А., 94, 95
 Сальменбаев С. Е., 119
 Самарханов К. К., 69
 Сапарбек Э., 69, 70
 Сапатаев Е. Е., 29, 44
 Сатибеков А. Н., 71
 Сахаров Н. В., 71
 Светачев С. Н., 50, 52
 Севериненко М., 96
 Сегеда Т. А., 73
 Седукова Г. В., 86
 Семенов А. И., 65, 68
 Сенгер Л. И., 126
 Сериков А. Ж., 140
 Серов В. Г., 61
 Синяков М. В., 57
 Скавыш В. С., 25
 Скаков М. К., 41, 44, 56, 59, 62, 63, 66, 72
 Служанов А. Н., 66
 Смағұлова А. Ғ., 58
 Смольников Н. В., 33, 40, 106
 Соболев В. Р., 42, 73
 Соколенко Е. К., 97
 Соколов И. А., 56, 59, 62, 63, 69, 72
 Соколова И. Н., 139
 Солёный А. А., 65, 68
 Солодухин В. П., 96, 127
 Сомин В. А., 85
 Степанова О. А., 68
 Степаненко В. Ф., 102, 103
 Субботин С. Б., 120, 136
 Субботина Л. Ф., 93, 122
 Суздальцева Т. В., 127
 Сураев А. С., 46, 51
 Суюндуков Ж. Ж., 89, 112, 126
 Сысалетин А. В., 37
 Сысоева Е. С., 93, 97

Т

Тажибаева Д. С., 95
 Тажибаева И. Л., 66
 Таниев Д. М., 71
 Ташекова А. Ж., 89, 112, 126
 Ташметов М. Ю., 31
 Темиржанов А., 46
 Темиржанова А. Е., 89
 Тимонов А. В., 134
 Тимонова Л. В., 98
 Тлеуканова Ж. Е., 77, 99, 110, 120, 121
 Токсанбаев Б. Ж., 40
 Токтаушев Э. Ж., 52

Токтаганов Т. Ш., 121
 Толеубеков К. О., 41
 Томсон А. В., 23, 87
 Топорова А. В., 108, 122
 Тохаева М. Б., 95
 Тузова Т. В., 100
 Туленбергенов Т. Р., 56, 59, 62, 63, 68, 69, 72
 Тулеуов Т. Н., 95
 Тулубаев Е. Ю., 66, 69, 70
 Туркач А. А., 44, 73
 Турченко Д. В., 101, 116, 123

У

Узбеков Д. Е., 103
 Уркунбай А. С., 63
 Усабаева Г., 46
 Ушаков И. А., 101

Ф

Файзрахманов Ф. Ф., 123

Х

Харкин П. В., 85, 124, 140
 Хведчин И. В., 25
 Хлебникова И. А., 91

Ч

Чайжунусова Н. Ж., 102, 103
 Чектыбаев Б. Ж., 55, 58, 71, 72
 Черепнин Ю. С., 37
 Чихрай Е., 57, 67
 Чугуевский А. В., 125

Ш

Шабдарбаева Д. М., 102, 103
 Шаймерденов А., 57, 67
 Шакенов Е. З., 89, 112, 119, 126
 Шерматов Ж. З., 42, 73
 Шульгин К. Л., 91

Ы

Ыдырышева С. К., 127

Э

Эдомская М. А., 23, 104

Я

Яковлев В. В., 47
 Янкаускас А. Б., 118
 Янушкевич К. И., 42, 73

Ответственные за выпуск:

Утенкова Н. О., Абишева М. Т., Кошненко Н. В., Игибаев У. А.

Технический редактор:

Перепелкин И. Г.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии

Национального ядерного центра Республики Казахстан.
071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б.

ISBN 978-601-08-3440-8



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»



Издание осуществлено
при финансовой поддержке
Международного научно-
технического центра



Институт геофизических
исследований
29 октября 1993 г.



Институт радиационной
безопасности и экологии
29 октября 1993 г.

◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆ ТЕЗИСЫ ◆ ABSTRACTS ◆

✉ nnc@nnc.kz

🌐 <http://www.nnc.kz>