



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



XI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН:

наследие и перспективы развития научно-технического потенциала
6–10 октября 2025 г.

XI INTERNATIONAL CONFERENCE

SEMIPALATINSK TEST SITE:

Legacy and Prospects for Scientific-Technical Potential Development

October 6–10, 2025

✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦

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

АГЕНТСТВО РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»



STS-2025

XI международная конференция

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

6–10 октября 2025 г., г. Курчатов, Республика Казахстан

ТЕЗИСЫ

XI International Conference

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

October 6–10, 2025, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

ABSTRACTS

г. Курчатов – 2025

УДК 502/504 (574)
ББК 20.18 (5Қаз)
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 XI междунар. конф. (6–10 окт. 2025 г.)=
Semipalatinsk Test Site: XI International conference
(October 6–10, 2025). – г. Курчатов: РГП НЯЦ РК, 2025. – 144 с.

ISBN 978-601-80839-1-4

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 (574)
ББК 20.18 (5Қаз)

ISBN 978-601-80839-1-4

© РГП «Национальный ядерный центр
Республики Казахстан», 2025

Dear colleagues!

Over the years, our conference is become a traditional platform for addressing current topical issues on development of atomic science and technologies, sharing of experience and research findings results among lead scientists and international specialists.

The Semipalatinsk Test Site occupies a distinctive position in the annals of both Kazakhstan and the global community. For several decades, nuclear tests were conducted in this location which on the one hand played a role in maintaining global balance of power and promoting peace, they also presented significant environmental and health concerns for the local population. Presently, the legacy of the test site serves as a foundational element in the development of scientific potential that is exclusively directed towards peaceful applications. This territory functions as a distinctive research base for scientific studies in the domains of nuclear science, radiation ecology, and non-proliferation.

The conference subject encompasses a broad spectrum of advanced scientific directions, including the development of nuclear and hydrogen energy, controlled thermonuclear fusion, radiation ecology, until of medicine and it addresses pressing global concerns such as reinforcing the nuclear non-proliferation regime and mitigating risks, support for CTBT.

*This conference program places special emphasis that taken by the round table **“Modern nuclear power: technologies, safety, partnership”**, which allows to discuss current challenges and prospects of industrial development in the context of safety of the global energy.*

Abstracts included in the collection, display a diverse range of research, highlight the accomplishments of scientists and specialists, and outline promising avenues for future work and international collaboration.

We extend our gratitude to all the authors and conference participants for their contribution to the advancement of scientific knowledge and hope that these proceedings will become a valuable source of knowledge, platform for discussion, and a foundation for future collaborative projects.



*Erlan Batyrbekov, Director General
of the National Nuclear Center of the
Republic of Kazakhstan, Academician
of the National Academy of Sciences of
RK under the President of the Republic
of Kazakhstan*

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Агентство Республики Казахстан по атомной энергии
- Национальная академия наук РК при Президенте РК
- РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» с филиалами:
 - «Институт радиационной безопасности и экологии»
 - «Институт атомной энергии»
 - «Институт геофизических исследований»
- Национальная инженерная академия РК
- АО «НАК «Казатомпром»
- РГП «Институт ядерной физики»
- ТОО «Казахстанские атомные электрические станции»
- АО «Парк ядерных технологий»
- Казахстанское физическое общество
- Ассоциация «Ядерное общество Казахстана»

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: **Саткалиев А. М.** – Председатель Агентства Республики Казахстан по атомной энергии

Зам. Председателя: **Батырбеков Э. Г.** – Генеральный директор РГП НЯЦ РК

Члены комитета:

Абишев М. Е. – член Правления Казахстанского физического общества

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

Байгазинов Ж. А. – председатель правления АО «Парк ядерных технологий»

Бакланов В. В. – директор филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК

Бердигулов Е. К. – генеральный директор ТОО «КАЭС»

Березин С. А. – заместитель генерального директора РГП НЯЦ РК

Витюк В. А. – заместитель генерального директора по науке РГП НЯЦ РК

Омирғали А. К. – директор департамента науки, РМ и РЗМ АО «НАК «Казатомпром»

Рамазанов Т. С. – профессор НАО «Казахский Национальный университет имени Аль-Фараби»

Сахиев С. К. – генеральный директор РГП ИЯФ

Серикканов А. С. – вице-президент Национальной академии наук РК при Президенте РК

Скаков М. К. – главный научный сотрудник РГП НЯЦ РК

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ

Председатель: **Жантикин Т. М.** – Зам. председателя Агентства Республики Казахстан по атомной энергии

Akehashi K. (Япония)

Bolshinsky I. M. (США)

Evers L. (Нидерланды)

Florou H. (Греция)

Hecker S. (США)

Hou X. (Дания)

Hulka J. (Чехия)

Koguchi M. (Япония)

Kotake Sh. (Япония)

Mackey K. (США)

McCormack D. (Канада)

Meral Ö. (Австрия)

Merola M. (Франция)

Nagase T. (Япония)

Salbu B. (Норвегия)

Stevens J. (США)

Stohr P. (Франция)

Taiwo T. (США)

Usui H. (Япония)

Wieleba W. (Польша)

Yusan S. (Турция)

Zhao H. (Китай)

Габдуллин М. Т. (Казахстан)

Гарибов А. А. (Азербайджан)

Зайцев П. А. (Россия)

Ибраев Б. М. (Казахстан)

Ильющенко А. Ф. (Беларусь)

Кадыржанов К. К. (Казахстан)

Карпенко Е. И. (Россия)

Киевицкая А. И. (Беларусь)

Кожамкулов Т. А. (Казахстан)

Копничев Ю. Ф. (Россия)

Куришбаев А. К. (Казахстан)

Рахими Ф. (Таджикистан)

Родин И. Ю. (Россия)

Садиков И. И. (Узбекистан)

Санжарова Н. И. (Россия)

Спаский Н. Н. (Россия)

Тухватулин Ш. Т. (Россия)

Школьник В. С. (Казахстан)

Юсупов М. Б. – (Казахстан)

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

- Agency of the Republic of Kazakhstan for Atomic Energy
- National Academy of Sciences of RK under the President 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”
- National Engineering Academy of RK
- JSC NAC “Kazatomprom”
- RSE “Institute of Nuclear Physics”
- “Kazakhstan atomic power plants” LLP
- JSC “Park of Nuclear Technologies”
- Kazakh Physical Society
- Association “Nuclear Society of Kazakhstan”

PROGRAM COMMITTEE

Chairman: **A. M. Satkaliyev** – *Chairman of the Agency of the Republic of Kazakhstan for Atomic Energy,*

Vice-Chairman: **E. G. Batyrbekov** – *Director General of RSE NNC RK*

Committee Members:

V. A. Vityuk – *Deputy Director General for Science of RSE NNC RK*

S. A. Berezin – *Deputy Director General of RSE NNC RK*

A. O. Aidarkhanov – *Director of IRSE Branch of RSE NNC RK*

V. V. Baklanov – *Director of LAE Branch of RSE NNC RK*

A. S. Serikkanov – *Vice-President of the National Academy of Sciences of RK under the President of RK*

M. E. Abishev – *Board Member of the Kazakh Physical Society*

I. L. Tazhibaeva – *Board Chairman of the “Nuclear Society of Kazakhstan” Association*

S. K. Sakhiev – *Director General of RSE INP*

E. K. Berdigulov – *Director General of “KNPP” LLP*
T. S. Ramazanov – *Professor, NCJSC “Al-Farabi Kazakh National University”*

M. K. Skakov – *Chief research scientist of RSE NNC RK*

Zh. A. Baigazinov – *Chairman of the Board of JSC “Park of Nuclear Technologies”*

A. K. Omirgali – *Director for Science, RM and REM Department of JSC NAK “Kazatomprom”*

INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

Chairman: **T. M. Zhantikin** – *Deputy Chairman of the Agency of the Republic of Kazakhstan for Atomic Energy*

K. Akehashi (Japan)

I. M. Bolshinsky (USA)

L. Evers (Netherlands)

H. Florou (Greece)

S. Hecker (USA)

X. Hou (Denmark)

J. Hulka (Czech Republic)

M. Koguchi (Japan)

Sh. Kotake (Japan)

K. Mackey (USA)

D. McCormack (Canada)

Ö. Meral (Austria)

M. Merola (France)

T. Nagase (Japan)

B. Salbu (Norway)

J. Stevens (USA)

P. Stohr (France)

T. Taiwo (USA)

H. Usui (Japan)

W. Wieleba (Poland)

S. Yusan (Turkey)

H. Zhao (China)

M. T. Gabdullin (Kazakhstan)

A. A. Garibov (Azerbaijan)

B. M. Ibrayev (Kazakhstan)

A. F. Ilyushchenko (Belarus)

K. K. Kadyrzhanov (Kazakhstan)

E. I. Karpenko (Russia)

A. I. Kiyevitskaya (Belarus)

T. A. Kozhamkulov (Kazakhstan)

Yu. F. Kopnichev (Russia)

A. K. Kurishbaev (Kazakhstan)

F. Rakhimi (Tajikistan)

I. Yu. Rodin (Russia)

I. I. Sadikov (Uzbekistan)

N. I. Sanzharova (Russia)

V. S. Shkolnik (Kazakhstan)

N. N. Spasskiy (Russia)

Sh. T. Tukhvatulin (Russia)

M. B. Yusupov (Kazakhstan)

P. A. Zaitsev (Russia)

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

Секция 1 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	
Section 1 CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF NUCLEAR POWER DEVELOPMENT	21
RESEARCH PROGRESS IN TESTING AND EVALUATION OF POST-IRRADIATED NATIONAL ENERGY POLICY AND FAST REACTOR DEVELOPMENT IN JAPAN Masato Ando	23
INTERNATIONAL RESEARCH CENTRE BASED ON THE MULTIPURPOSE FAST NEUTRON RESEARCH REACTOR MBIR Vasily Konstantinov	23
CEA's CONTRIBUTION TO FRANCE'S ENERGY TRANSITION, WITH A FOCUS ON NUCLEAR ENERGY AND THE STRATEGY OF CLOSING THE FUEL CYCLE Frédéric Payot and Philippe Bossis	24
MATERIALS PERFORMANCE OF CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY HE Xinfu	25
PREDICTING AND TRACING RADIONUCLIDE BEHAVIOR: ADVANCES IN REPOSITORY SAFETY AND NUCLEAR FORENSICS SHANG Chengming, YAN Taihong.....	26
SAFETY REQUIREMENTS AND TYPICAL ACCIDENT ENVIRONMENT IMPACT ASSESSMENT FOR FUSION EXPERIMENTAL REACTOR IN CHINA ZHOU Bing, WU Xinghua.....	26
ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ А. С. Арбуз, Н. А. Лутченко, Ф. Е. Попов, С. Н. Лежнев, И. Е. Волокитина	26
МЕТОДОЛОГИЯ И ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ Е. В. Беспала, С. С. Мешков, Д. А. Ижойкин, А. О. Павлюк, С. Г. Котляревский, Р. И. Кан.....	27
NiCr-Al ДЕТОНАЦИОННО-ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТЕУ С. Болатов, Л. Сулюбаева	28
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» Б. Б. Буркурманов	29
ЭЛЕКТРОЛИТТІК-ПЛАЗМАЛЫҚ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ БОЛАТТЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ Л. Г. Сулюбаева, А. Мәуліт, Т. Әлімбекұлы.....	30
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ РЕАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ Е. А. Қабдылқақов, А. С. Сураев	31

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 45 Н. С. Райсов.....	31
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ БЕРИЛЛИДА ХРОМА CrBe ₁₂ М. А. Подойников	32
РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОЦЕССЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ ВОУ ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР И. В. Прозорова, А. К. Мухамедиев, И. Н. Богомоллова, Ю. А. Попов, А. А. Прозоров.....	32
РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕСТ ОБЛУЧЕНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ИВГ.1М Р. Р. Сабитова, И. В. Прозорова	33
ОБЪЕМНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА КАК МЕТОД ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ Е. Е. Сапатаев, Ю. Ю. Бакланова, Е. Б. Арынгазы.....	33
РАСЧЕТ НАКОПЛЕНИЯ РАО В ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ПОСЛЕ ОДНОГО ГОДА РАБОТЫ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ Д. М. Секен, А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, Р. А. Иркимбеков, О. М. Жанболатов.....	34
ПЕРВИЧНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, С. А. Должиков.....	35
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА Б. Ж. Токсанбаев, А. С. Тимаков.....	35
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА НЕЙТРОНОПОГЛОЩАТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ СВМПЭ В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ Б. Т. Туякбаев, М. К. Скаков	36
РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БЛОКА ИЗ БЕРИЛЛИДА ТИТАНА TiBe ₁₂ В УСЛОВИЯХ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМАМ БЛАНКЕТА РЕАКТОРА ДЕМО С. В. Ударцев, М. К. Кылышканов, В. Н. Нестеров.....	37
ОПЫТ ДЕЗАКТИВАЦИИ В АО «УМЗ» РАДИОАКТИВНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗ-ИЗЛУЧЕНИЯ И. А. Хлебникова.....	37
МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: НОВЫЕ ДАННЫЕ А. А. Ширяев, В. О. Япаскурт, Б. Е. Бураков.....	38
РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В. И. Яковлев, А. В. Собачкин, А. А. Ситников, М. В. Логинова, В. Ю. Филимонов, А. В. Градобоев, А. Ю. Мясликов.....	39

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	41
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DECOMMISSIONING TECHNOLOGIES FOR SODIUM-COOLED FAST REACTORS DONG Jingya, PIAO Jun, WANG Rongdong, ZHU Qingfu.....	41
MODELING OF THE INTERACTION BETWEEN FAST NUCLEAR REACTOR CORIUM PROTOTYPE AND SODIUM COOLANT AT THE “EAGLE” TEST BENCH K. O. Toleubekov, M. K. Bekmuldin, A. S. Akaev, E. A. Martynenko	41
МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИНИАТЮРНЫХ ОБРАЗЦОВ Е. Е. Сапатаев, А. Н. Айтқұмаров, Е. Б. Арынғазы, Б. Т. Оразымбеков	42
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ МИНИАТЮРНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ СВАРНОГО ШВА Е. Б. Арынғазы, Е. Е. Сапатаев, А. Н. Айтқұмаров, Е. Ж. Ақболатов.....	42
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА КОРИУМА С КЕРАМИКОЙ Al_2O_3 И ВСТАВКОЙ ИЗ Sb М. К. Бекмулдин, А. С. Акаев, А. В. Микиша, К. О. Толеубеков.....	43
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА РАЗЛИЧНЫХ МАРОК МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ В. С. Бочков, Ю. Н. Гордиенко, Ю. Ю. Бакланова, Қ. Қ. Самарханов, Ю. В. Понкратов	44
МЕТОД ICP-MS ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ МАТРИЦ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ О. С. Букина, Р. Р. Сабитова, С. Н. Светачев, Ю. Ю. Бакланова, В. В. Бакланов	45
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАНДАРТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАННОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ИГР Н. Е. Мухамедов, Г. А. Витюк, Д. Т. Жеңіс, О. М. Жанболатов.....	45
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ДЛЯ ИХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С. А. Должиков, Н. Е. Мухамедов, А. В. Пахниц, К. О. Толеубеков, Г. А. Витюк, А. С. Сураев	46
КОНСЕКВЕНЦИЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗА ПЕРИОД С 2021 ГОДА ПО 2025 ГОД В РЕЗУЛЬТАТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ УСТАНОВКИ ТОКАМАК КТМ А. Т. Избасханова, А. Г. Коровиков, В. В. Яковлев, А. А. Круглыхин	46
ПРИМЕНЕНИЕ ТУК-19 ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОЯТ ИВГ.1М: РАСЧЕТНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ Г. А. Витюк, Н.Е. Мухамедов, В. А. Витюк, Р. А. Иркимбеков, О. М. Жанболатов, А. А. Куздеубай, А. К. Мухамедиев	47
РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ И КОДЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ», ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОГО ДЛИТЕЛЬНОГО СУХОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ В. В. Лиханский, О. В. Хоружий, В. Г. Зборовский, Т. Н. Алиев, К. Е. Улыбышев, Н. Н. Елкин.....	48

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОЙ СБОРКИ РЕАКТОРА ИВГ.1М ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ Е. А. Мартыненко, М. К. Скаков, М. К. Бекмулдин, А. С. Акаев, К. О. Толеубеков.....	48
СТРУКТУРНО-ФАЗОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДУО СТАЛИ ПОСЛЕ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ Л. А. Ерыгина, Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, О. Өкен, А. А. Сабыртаева, К. С. Шайкиева	49
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЖРО В НЕТЕКУЧЕЕ СОСТОЯНИЕ Ә. Д. Ноқанова, О. С. Букина, Ю. Ю. Бакланова, Е. Т. Коянбаев, В. В. Бакланов.....	50
МЕХАНИЗМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ КОРИУМА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ Ә. Д. Ноқанова, О. С. Букина, Ю. Ю. Бакланова, А. С. Акаев, В. В. Бакланов.....	51
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ Ю. А. Попов, И. В. Прозорова, Р. Р. Сабитова	52
ИССЛЕДОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИНАА БЕТОНОВ НА РЕАКТОРЕ ИГР С. Н. Светачев, Б. С. Медетбеков, И. В. Прозорова	52
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПРОПИТКИ ГРАФИТА СОЛЯМИ УРАНА Ә. Ж.Тоқтаушев, И. М. Кукушкин, О. С. Букина, Ю. Ю. Бакланова	53
Секция 2 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА Section 2 PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY AND CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION DEVELOPMENT	55
PROGRESS OF ACCIDENT ANALYSIS FOR ITER CN HCCB TBS HU B., WANG Y., YE X., ZHAO F., CAO Q.....	57
HYDROGEN ISOTOPE RETENTION IN PLASMA FACING COMPONENTS OF FUSION DEVICES Yu. Gasparyan, V. Efimov, S. Krat, V. Kulagin, N. Ostojic, T. Solarevic, A. Umerenkova.....	57
DIAGNOSTICS OF THE ELECTRON COMPONENT OF PLASMA BY THE THOMSON SCATTERING METHOD FOR THE KTM TOKAMAK Ye. Kashikbayev, B. Chektybayev, G. Kurskiev, I. Tazhibayeva, D. Olkhovik, O. Stepanova, A. Duisen, S. S. Khamitov.....	58
CURRENT STATUS OF ICRF HEATING SYSTEM COMMISSIONING ON THE KTM TOKAMAK A. Kusainov, B. Chektybayev, A. Gulkin, D. Olkhovik, V. Savkin, S. Kotov, K. Zhenis.....	58
STATUS OF RESEARCH ON THE KTM TOKAMAK B. Chektybayev, E. Batyrbekov, I. Tazhibayeva, D. Olkhovik, D. Zarva, Ye. Kashikbayev, A. Duisen, A. Zhaksybayeva, S. Khamitov	59
ADVANCING INTERMEDIATE-TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELLS WITH RARE EARTH-BASED MATERIALS Konstantin V. Ivanovskikh, Vladislav A. Dybov, Vadim A. Eremin.....	60

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО РАЗВИТИЮ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ В КТМ К. И. Байструков, В. М. Павлов, А. М. Ли, Ю. Н. Голобоков, А. А. Дериглазов, С. В. Меркулов, А. А. Мезенцев.....	60
ВЛИЯНИЕ Ar^+ НА УДЕРЖАНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В ВОЛЬФРАМЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ПЛАЗМЕННОМ ОБЛУЧЕНИИ А. Ж. Миниязов, Ғ. Қ. Жанболатова, Н. М. Мухамедова, И. А. Соколов.....	61
РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Ю. А. Ходыко, О. О. Кузнечик, Б. Ж. Чектыбаев, А. Ж. Миниязов, И. Л. Тажибаева.....	62
ПРОБЛЕМАТИКА РАСЧЁТА ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИИ СМЕЩЕНИЯ АТОМОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКЕ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТЫ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Ю. А. Ходыко, О. О. Кузнечик.....	63
ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАГНОСТИКИ ДОППЛЕРОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ НА СФЕРИЧЕСКОМ ТОКАМАКЕ ГЛОБУС-М2 А. Ю. Токарев, А. Ю. Яшин, А. М. Пономаренко, Н. С. Жильцов, Е. О. Киселев, Г. С. Курскиев, В. Б. Минаев, Ю. В. Петров, Н. В. Сахаров	63
АНАЛИЗ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕТАНА В УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОГО ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, Т. Р. Туленбергенев, И. А. Соколов, А. А. Агатапова	64
ТЕХНОЛОГИИ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» – ОСНОВА БУДУЩИХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ К. А. Джусь, Е. С. Сафонов, В. Л. Константинов, Ю. А. Добровольский.....	65
КОМПОЗИТЫ $LaNi_5/MXene$: НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АНОДОВ ДЛЯ $Ni-MH$ АККУМУЛЯТОРОВ С. Д. Мәлік, М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, Ф. И. Мальчик	66
РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ $LaNi_5$ ДЛЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ М. К. Скаков, Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, А. А. Сабыртаева, О. Өкен, Ж. Н. Оспанова, Р. Е. Жақия	67
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СИСТЕМЕ $Mg-Al$ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА А. Ж. Миниязов, Н. М. Мухамедова, Г.К. Уазырханова, Ж. Н. Оспанова.....	68
МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ $Mg-Ni-Ce$ Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, А. А. Сабыртаева, О. Өкен, И. А. Соколов	68
ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЛАЗМЕННО- ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ М. К. Скаков, И. А. Соколов, А. В. Градобоев	69
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ОТКЛОНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКЕ М. К. Скаков, Т. Р. Туленбергенев, А. Ж. Миниязов, Б. Ж. Чектыбаев, И. А. Соколов, А. В. Градобоев.....	70

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНЕ: ОТ СИНТЕЗА К ИНТЕГРАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ К. К. Тургунова, Д. Өтеген, А. Н. Шадыкулова, С. Е. Жолдаякова.....	71
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	72
MEASUREMENT OF THE FIRST WALL SURFACE TEMPERATURE OF THE KTM TOKAMAK DURING EXPERIMENTS A. Duisen, B. Chektybayev, Ye. Kashikbayev.....	72
IMPROVEMENT OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HIGH-VACUUM GAUGES UNDER CONDITIONS OF USE AT THE KTM TOKAMAK K. Zhenis, B. Chektybayev, A. Kusainov, V. Polkovnikov	72
FEATURES OF PREPARING THE KTM VACUUM CHAMBER FOR EXPERIMENTS A. T. Saparov, B. Zh. Chektybayev, D. A. Olkhovik, V. S. Polkovnikov, V. I. Savkin	73
FEATURES OF CURRENT MEASUREMENT AND PLASMA SHAPE RECONSTRUCTION USING ELECTROMAGNETIC DIAGNOSTIC SENSORS ON THE KTM TOKAMAK S. S. Khamitov, B. Zh. Chektybayev, A. M. Li, V. M. Pavlov, Ye. A. Kashikbayev, A. Zh. Duisen, D. A. Olkhovik	73
NEW STRATEGY TO ENHANCE THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF METAL HYDRIDE ANODES BY 2D MXene MATERIAL F. I. Malchik, S. D. Malik, M. K. Skakov, A. Zh. Miniyazov.....	74
МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЛАВА Pb(15,7at.%)Li С АКТИВНЫМИ ГАЗАМИ И ВОДЯНЫМ ПАРОМ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ Ю. Н. Гордиенко, Ю. В. Понкратов, Т. В. Кульсартов, Э. Сапарбек, В. С. Бочков, Е. Ю. Тулубаев, И. М. Кукушкин.....	75
АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ППУ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ТРОЙНЫМ ЗОНДОМ ЛЕНГМЮРА И. А. Соколов, Э. Ж. Қайырбекова, Т. Р. Туленбергенов, Ғ. Қ. Жанболатова	76
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОГО ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА Sn70Li30 С ВОДОРОДОМ ПРИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ Э. Сапарбек, Ю. В. Понкратов, В. С. Бочков, Ю. Н. Гордиенко, Е. Ю. Тулубаев	77
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ МАКЕТА МЛД В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ Е. Ю. Тулубаев, И. Л. Тажибаева, Ю. Н. Гордиенко, Ю. В. Понкратов, В. С. Бочков, А. Н. Служанов, В. Н. Вертков, М. Ю. Жарков.....	77
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЛАЗМЫ Т. Р. Туленбергенов, И. А. Соколов, А. А. Агатаanova	78
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ La-Ni-Mn ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОРОДОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, Н. М. Мухамедова, И. А. Соколов, Б. Е. Бекмагамбетова, Ж. Н. Оспанова	79

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА С БЕРИЛЛИДОМ НИОБИЯ Be_2Nb_3 МЕТОДОМ СИВЕРТСА А. Б. Елишенков, Е. В. Чихрай, Т. В. Кульсартов, И. Е. Кенжина, Ж. А. Заурбекова, С. Қ. Әскербек, Е. А. Кенжин, С. В. Ударцев	80
ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ LaNi_5 М. К. Скаков, А. Ж. Миниязов, Н. М. Мухамедова, Ф. Қ. Қайырды, Р. Е. Жакия, А. А. Сабыртаева, О. Өкен	80
ҰШҚЫН ПЛАЗМАЛЫҚ ПІСІРУ ӘДІСІМЕН LaNi_5 НЕГІЗІНДЕГІ СУТЕГІ САҚТАУ МАТЕРИАЛЫН АЛУ А. Ж. Миниязов, М. Қ. Сқақов, Н. М. Мухамедова, О. Өкен, М. Е. Скопченко	81
Секция 3 РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА Section 3 RADIATION ECOLOGY AND MEDICINE.....	83
POTENTIAL BURDEN ON LOCAL GOVERNMENT BUDGETS RESULTING FROM EXCESSIVE NATURAL RADIATION. CASE STUDY A. Babczuk	85
BETWEEN PRECAUTION AND PRAGMATISM: A COMPARATIVE LEGAL ANALYSIS OF RADON AND NORM EXPOSURE STANDARDS IN THE UNITED STATES AND UNDER THE EURATOM FRAMEWORK Robert Bobkier, Ewa Katarzyna Czech, Konstantin Kovler	85
ECONOMIC MONITORING OF RADIOACTIVE ANOMALIES: CONSUMER-GRADE MONITORS AND DRONE-BORNE SURVEYS P. Bossew, P. Kuča, J. Helebrant, R. Luff, K. Maaß, R. Dambach, H. Alberti, N. Da Silva	86
SIMULATING TRITIUM RELEASES FROM THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT, JAPAN Maksym Gusev, Alexandre Cauquoin, Kateryna Korepanova.....	87
ANALYSIS OF $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ AND $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ RATIOS BY ICP-MS I. N. Izosimov	87
14 YEARS AFTER THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT Kenji Nanba, Maksym Gusev, and Hiroko Nagata	88
INFLUENCE OF NATURAL BACKGROUND RADIATION ON ECOLOGY AND ENVIRONMENT IN SOUTHERN TAMIL NADU Daya Shanker.....	89
КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА. СОЗДАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ А. О. Айдарханов.....	89
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ТЕРРИТОРИИ СИП А. К. Айдарханова, Ж. Е. Тлеуканова, Н. В. Ларионова, А. С. Мамырбаева, Р. Г. Ермакова.....	90

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РАМКАХ ПРОЕКТА NATO № G5684 «NOVEL BIOLOGICAL AND PHYSICAL METHODS FOR TRIAGE IN RADIOLOGICAL AND NUCLEAR (R/N) EMERGENCIES» Д. Б. Бияхметова, Л. Б. Кенжина, А. Н. Мамырбаева	91
ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА» В. В. Божко, С. П. Левченко	91
ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД Р. Г. Ермакова, Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева	92
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СКОРОСТИ СЧЁТА ФОНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ И УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ МИНИМАЛЬНОЙ ИЗМЕРЯЕМОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОМЕТРА СУММАРНОЙ АЛЬФА- И БЕТА-АКТИВНОСТИ РКС-АТ1329 Д. А. Зайцев, Ю. Е. Турончик, И. А. Лагуцкий, Д. С. Данилевич.....	93
ОСОБЕННОСТИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ СУБЛИМАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА Ю. Н. Зозуль, В. В. Шлыгин, С. В. Ахромеев, М. А. Эдомская.....	94
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДЕ, ПОЧВЕ И ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ, С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ Н. М. Салихов, Б. А. Искаков, Г. Д. Пак	95
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ, ГРУНТОВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНЕ ОБЪЕКТА «АТОМНОЕ ОЗЕРО» НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ А. М. Кабдыракова, А. Т. Меньдубаев, Н. В. Ларионова, А. Е. Кундузбаева, С. Н. Лукашенко, С. К. Кабдрахманова	95
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ДЛЯ ОСТРЫХ СЦЕНАРИЕВ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ Л. Б. Кенжина, А. Н. Мамырбаева, Д. Б. Бияхметова	96
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННОЙ И НЕРАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С. М. Киселев, Н. К. Шандала, Л. П. Сычева, С. А. Гераськин	97
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА ЭКОЛОГИЮ И НАСЕЛЕНИЕ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ М. В. Краснопёрова, П. В. Харкин, И. Д. Горлачев, Д. А. Желтов, М. А. Севериненко, О. С. Мильц, Т. В. Подгузова	98
РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ (ПЛОЩАДКА «САРЫ-УЗЕНЬ») П. Е. Кривицкий, Н. В. Ларионова, А. О. Айдарханов	98
ПОДВИЖНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ А. Е. Кундузбаева	99

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СИП, ПЛАНИРУЕМОЙ К ПЕРЕДАЧЕ В НАРОДНО- ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ	
Н. В. Ларионова, П. Е. Кривицкий, А. К. Айдарханова, А. В. Топорова, В. Н. Монаенко, М. Т. Абишева, И. А. Бачурина, А. В. Паницкий, А. О. Айдарханов.....	100
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В ЭКОСИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА	
С. Н. Лукашенко, А. В. Михайлов, Ж. А. Байгазинов, Д. Н. Курбаков, С. А. Байгазы, А. В. Томсон, Е. В. Федунова, Е. Р. Степанянц, М. А. Эдомская	101
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	
А. С. Мамырбаева, А. К. Айдарханова, А. М. Надеева, Ж. Е. Тлеуканова	101
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ГОРНОМ МАССИВЕ ДЕГЕЛЕН	
К. С. Минкенова, А. В. Паницкий.....	102
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОТОПНЫХ СООТНОШЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ	
А. М. Надеева, А. С. Мамырбаева, А. К. Айдарханова.....	103
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	
А. В. Паницкий, С. А. Байгазы, И. А. Александрович, А. Р. Кожабекова	104
ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ESAP АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» 2019-2024 гг.	
Ю. Г. Перменев, О. А. Агапов, Н. А. Большакова.....	104
ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРОЧНОСВЯЗАННОГО ТРИТИЯ В ПОЧВЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	
Е. Н. Поливкина, Л. В. Тимонова, Е. В. Романенко, А. В. Паницкий	106
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ АЭС: ИНЖЕНЕРНО- ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ	
Н. И. Санжарова, С. В. Фесенко.....	107
ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	
А. А. Сарсенова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева, Ж. Е. Тлеуканова.....	108
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАЛЫХ РЕК г. РИДДЕР	
С. Д. Смирнов, А. Ж. Ташекова	108
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ПОСЕЛКА САУМАЛКОЛЬ СЕВЕРО- КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	
С. Б. Субботин, П. Е. Кривицкий, Н. В. Ларионова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева, Ж. Е. Тлеуканова, И. А. Александрович, М. В. Скрипников, И. А. Бачурина, Р. Г. Ермакова.....	109
ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ <i>PHASEOLUS VULGARIS</i> В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА	
Е. С. Сысоева, Е. Н. Поливкина	110

ТРИТИЙ В ПОЧВЕННОЙ СРЕДЕ СИП

Л. В. Тимонова, Н. В. Ларионова, А. К. Айдарханова111

МЕМБРАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ, КАК МЕТОД ОЧИСТКИ ВОД ОТ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, Р. Г. Ермакова, А. С. Мамырбаева, А. Г. Захарьянова, Б. Е. Мәден111

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ КОМПЛЕКСОМ РАДИАЦИОННОГО СКАНИРОВАНИЯ МКГ-АТ6111, ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

А. Н. Толкачёв, А. А. Загороднюк, А. О. Ничипорчук, О. А. Нахайчук112

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ ПРОЖИВАНИИ И ВЕДЕНИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УЧАСТКАХ СИП, ПЛАНИРУЕМЫХ К ПЕРЕДАЧЕ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ

А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, И. А. Бачурина, В. Н. Монаенко113

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ УРАНОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРА

Т. В. Тузова, С. А. Ерохин114

МОНИТОРИНГ ТЕКУЩЕГО РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, Л. В. Тимонова, С. А. Ермаков115

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов115

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТЕ ОБЪЕКТА «ЛИРА»

П. В. Харкин, М. В. Краснощёрова, Д. А. Желтов, О. С. Мильц, А. В. Новозенко, С. Н. Лукашенко, Н. В. Белая116

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТИНА ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА МОЛОДЫХ ОСОБЕЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА МОДЕЛЬНЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ, ИМИТИРУЮЩИМИ ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

С. Г. Шаповалов117

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЯДЕРНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ

С. М. Шинкарев, В. Ф. Степаненко, М. Хоши, Ю. Д. Удалов118

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS..... 119**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЖНОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР МКС-АТ6104ДМ С ФУНКЦИЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ**

А. А. Алексеев, А. О. Ничипорчук, Е. В. Быстров, В. А. Кожемякин, М. В. Масюкович, С. В. Прибылев, В. А. Чирикало119

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА УЧАСТКАХ БЫВШЕГО СИП, ПЛАНИРУЕМЫХ К ВОВЛЕЧЕНИЮ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ И. А. Бачурина, В. Н. Монаенко, Н. В. Ларионова, А. В. Топорова.....	119
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНЫХ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ: ЭФФЕКТИВНАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ К. А. Кадирбеков, У. Ж. Джусипбеков, М. Т. Ошакбаев, Е. А. Тусупкалиев.....	120
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА CO ₂ -ГАЗООБМЕН В СВЕТЛО- И ТЕМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВАХ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ Е. В. Корнилаев, Е. Н. Поливкина, Е. С. Сысоева, А. Т. Меньдубаев, А. О. Айдарханов.....	121
ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК М. В. Краснопёрова, П. В. Харкин, О. С. Мильц, В. А. Макарова, А. Н. Сейдинаби, Т. В. Подгузова	122
РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ НА ТЕРРИТОРИИ САРЖАЛСКОГО СЕЛЬСКОГО ОКРУГА И В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ с. САРЖАЛ О. А. Лавриненко, Н. В. Ларионова, В. В. Полевик, А. В. Топорова	123
ПРОГНОЗ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА НАСЕЛЕНИЕ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ РАБОТЕ АЭС В ШТАТНОМ РЕЖИМЕ С. П. Левченко, В. В. Божко, П. Е. Кривицкий.....	123
ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ С ПОДЗЕМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТРИТИЯ А. В. Михайлов, С. Н. Лукашенко, Ж. А. Байгазинов, С. А. Байгазинов, А. В. Томсон, Е. В. Федунова, А. Н. Мурзакасимова, М. А. Эдомская.....	124
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ЭПИЦЕНТРОВ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В. Н. Монаенко, П. Е. Кривицкий, М. Т. Абишева, Н. В. Ларионова	125
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТҮРҒЫН ҮЙЛЕРДЕ РАДОН АКТИВТІЛІГІН БАҒАЛАУ ҮШІН CR-39 ТРЕКТІК ДОЗИМЕТРЛЕРІН ҚОЛДАНУ Ж. О. Насилов, К. Ш. Жумадилов, Ж. А. Байгазинов, Н. Нурсултанова, А. И. Иванников, В. Ф. Степаненко, М. Хоши.....	126
Секция 4 УКРЕПЛЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ Section 4 STRENGTHENING THE NUCLEAR NONPROLIFERATION REGIME.....	127
VERIFICATION OF THE CTBT Láslo Evers	129
CTBTO LINK TO THE ISC DATABASE AND THE GROUND TRUTH LIST Ryan Gallacher and Dmitry A. Storchak.....	129
PROGRESS IN RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL SAMPLING ANALYSIS AT CIAE WANG Chen, SHEN Yan, HE Ming, BAI Lei, ZHAO Yong-gang	129

ELIMINATION OF INFRASTRUCTURE AND CONSEQUENCES OF NUCLEAR TESTS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE Sergey Berezin.....	130
ON THE NEED TO ESTABLISH A NEW SEISMIC ARRAY IN WESTERN KAZAKHSTAN A. A. Issagali	130
SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF SHORT-PERIOD S WAVE ATTENUATION FIELD STRUCTURE IN THE REGION OF NORTH-KOREAN PUNGGYE-RI NUCLEAR TEST SITE Yu. F. Kopnichev, I. N. Sokolova	131
CONTRIBUTION OF KAZAKHSTAN'S STATIONS OF THE NATIONAL NUCLEAR CENTER INTO GLOBAL AND REGIONAL MONITORING Aidyn Mukambayev, Natalya Mikhailova	131
SCIENCE DIPLOMACY AND NUCLEAR ENERGY: THE CASE OF KAZAKSTAN K. S. Velichkov	132
ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ И СЕЙСМОГЕННЫХ СТРУКТУР, ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В РАЙОНЕ СИП А. Е. Великанов	132
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРО-КОРЕЙСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПУНГЕРИ И. П. Габсатарова, И. Н. Соколова.....	133
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ КАЗАХСТАНА В ОБЛАСТИ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ П. Ю. Кривцов, С. А. Березин, У. А. Игибаев, В. И. Донцов, Н. Н. Михайлова	134
МИРНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ ИЗ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ (АЗГИР, ВЕГА) И. Н. Соколова, И. Л. Аристова, Д. К. Комекбаев.....	134
СОЗДАНИЕ КОНЦЕПТА НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ ПО ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН КАК СИСТЕМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯДЕРНЫХ И ДРУГИХ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ А. В. Сысалетин, Ю. Ю. Бакланова, Е. Е. Сапатаев, В. А. Ермаков, Р. С. Исламов, Р. Ж. Наурызбаев, С. А. Ильиных	135
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS.....	137
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА В ЭКРАНИРОВАННЫХ ТВЭЛАХ МЕТОДОМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ (КОАКСИАЛЬНЫЙ HPGE) С АНАЛИЗОМ СПЕКТРОВ В FRAM Б. С. Медетбеков, Ю. А. Попов, И. В. Прозорова	137
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ / AUTHORS INDEX.....	139

Секция 1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



STS-2025

Section 1

CURRENT TRENDS AND PROSPECTS OF NUCLEAR POWER DEVELOPMENT

RESEARCH PROGRESS IN TESTING AND EVALUATION OF POST-IRRADIATED NATIONAL ENERGY POLICY AND FAST REACTOR DEVELOPMENT IN JAPAN

Masato Ando

Fast Reactor Cycle Project Promotion Office, Japan Atomic Energy Agency

Japan is not blessed with natural resources for energy supply and is surrounded by deep seas. Therefore, from the perspective of achieving both sustainable energy supply and decarbonisation, Japan has established as its basic energy policy, in which the maximisation of renewable energy as the main electric power source while aiming for a balanced power supply structure that does not overly rely on specific power sources or fuel sources. To achieve a resilient energy supply structure capable of withstanding energy crises, Japan is promoting thorough energy saving, fuel conversion in manufacturing industry, and maximizing the use of power sources that contribute to energy security and have high decarbonisation effects, such as renewable energy and nuclear power.

Regarding the use of nuclear power, existing nuclear power plants, that meet the new safety standards established in response to the 2011 accident at the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants, are being restarted in a phased manner. Going forward, we will promote the development of next-generation innovative reactors (innovative light water reactors, small light water reactors, fast reactors, high-temperature gas reactors, and fusion energy) incorporating new safety mechanisms and will concretise plans to replace older nuclear power plants decided to decommission with next-generation innovative reactors within the same sites owned by electric power companies.

Fast reactors, which maintain nuclear fission reactions using fast neutrons, can significantly increase the utilisation rate of uranium resources and solve resource problems when combined with the nuclear fuel cycle. They can also reduce the volume of radioactive waste and its potential toxicity, thereby enabling the sustainable use of nuclear power. In particular, by reprocessing spent fuel from light water reactors (including plutonium utilization in existing light water reactors) and using it as fuel for fast reactors, it will be possible to close the nuclear fuel cycle and ensure resource recyclability. In addition, fast reactor technology has already been tested in Japan with the experimental reactor "Joyo" and the prototype reactor "Monju", and overseas countries are also advancing commercial development of fast reactors, making its technical feasibility highly promising. The Strategic Roadmap, which outlines the Japanese government's approach to fast reactor development, presents a work plan for future fast reactor development with the aim of starting operation of a demonstration reactor in the mid-21st century, leading to commercial application in the latter half of the 21st century. Currently, research and development necessary for conceptual design of the reactor plant and characterization of equipment and material performance etc., is underway.

Among the development issues for the demonstration reactor, ensuring safety, particularly severe accident countermeasures, is extremely important in order to satisfy the new safety standards. JAEA has been conducting the EAGLE project since the 1990s, utilising Kazakhstan's test facilities to resolve the re-criticality issue in severe accidents based on the characteristics of fast reactors. The EAGLE project has been realised through close cooperation between Japan and Kazakhstan, including personnel exchanges, and has established test technologies at Kurchatov to understand the behavior of molten fast reactor fuel in a sodium environment. This has provided a significant amount of experimental data to evaluate the effectiveness of design measures to avoid re-criticality in fast reactor core design. Additional data is required for the safety review of future fast reactor demonstration reactors, and cooperation with Kazakhstan in this field is essential.

INTERNATIONAL RESEARCH CENTRE BASED ON THE MULTIPURPOSE FAST NEUTRON RESEARCH REACTOR MBIR

Vasily Konstantinov

*Director of International Scientific and Technical Projects of the State Atomic Energy Corporation Rosatom,
CEO of Consortium Leader of MBIR Reactor International Research Centre, LLC, Moscow, Russia*

The Multipurpose Fast Neutron Research Reactor MBIR is the largest scientific facility of global significance, which will provide the nuclear industry with a modern, technologically advanced research infrastructure for the next 50 years. The reactor is under construction in the city of Dimitrovgrad, Ulyanovsk Region (Russia) on the basis of the Research Institute of Atomic Reactors (JSC "SSC RIAR"), which is the part of the scientific division of the State Atomic Energy Corporation Rosatom.

MBIR is a 150 MW fast neutron nuclear research facility with sodium coolant. Such thermal power will ensure an integral neutron flux density of $5.3 \cdot 10^{15} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (fast neutron flux density of $3.7 \cdot 10^{15} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and will allow high-dose irradiation of structural and fuel materials in the reactor core and side screen.

The technological potential of the MBIR reactor opens up new vistas for conducting comprehensive tests of innovative materials for Generation IV nuclear power systems, including fast neutron reactors operating in a closed nuclear fuel cycle with thermal reactors, including low- and medium-power ones. Its exceptional characteristics are best suited for conducting materials science experiments and testing fuel compositions, developing new technologies for the production of radioisotopes and advanced materials, and much more.

MBIR is initially designed as a facility for the broad international scientific cooperation. Its design includes extensive capabilities for conducting experiments not only on programs for the development of the Russian nuclear industry, but also for performing works for foreign customers.

The concept of the International Research Centre gives a global dimension to the project. This format of cooperation is aimed at collective solutions of global challenges: developing of closed nuclear fuel cycle technologies to expand the fuel base and minimize radioactive waste, creating materials and fuel for safe and economical Generation IV reactors, improving nuclear safety standards and developing nuclear medicine.

Advanced Scientific Research National Program at MBIR reactor covering the period from 2028 to 2040 was approved in 2021, and its international extended version is now in the detailed development. Partners – foreign laboratories, universities, industrial companies – will have an opportunity to offer and implement their own experimental programs, and the joint use of the expensive MBIR infrastructure will allow them to reduce significantly the costs of conducting complex tests, avoiding duplication of efforts.

The International Research Centre will not only become a venue for research that brings us to the science of the future, but also a platform for extensive knowledge exchange and training of highly qualified personnel. It is to provide generations of scientists with access to the synergistic effect for several decades and take advantage of the power of cooperation in solving the most complex issues faced the international scientific community.

CEA's CONTRIBUTION TO FRANCE'S ENERGY TRANSITION, WITH A FOCUS ON NUCLEAR ENERGY AND THE STRATEGY OF CLOSING THE FUEL CYCLE

Frédéric Payot and Philippe Bossis

*CEA/DES/DPE Saclay, France
Division of Energy Programs and International Relations*

Faced with contemporary climate challenges, the French energy model is evolving. Historically, it has been structured around industrial concerns and national independence since the 1970s, linked in particular to the development of civil nuclear power. Today, it is based on three main principles:

- achieving the goal of carbon neutrality by 2050. French energy policy is part of a context of energy transition and ambitious environmental and climate goals;
- ensuring energy independence, i.e., limiting dependence on energy imports, particularly fossil fuels;
- ensuring France's economic competitiveness by strengthening its capacity to produce its own energy – particularly electricity – at competitive prices, while optimizing energy consumption in order to reduce the impact of energy purchases on the trade balance.

Through legislation and various planning tools, the French public authorities define the means by which France can reconcile these three challenges in the short, medium, and long term.

To achieve its objectives, the French government is focusing on two priority areas: energy production and energy consumption.

For energy production, the priorities are to:

- Stop using fossil fuels (oil, coal, and gas);
- Develop renewable energies;
- Nuclear power as a pillar of carbon-free electricity supply. Multi-annual energy plan (PPE 2024-2033) demonstrates the need to accelerate procedures for new build of nuclear facilities near existing nuclear sites and for operation of existing facilities;

- Changing usage patterns to favor the use of electricity. The share of electricity in the energy mix – i.e., in all the means used in France to produce energy – would thus increase from 25% currently to 55% in 2050.

A roadmap is being drafted by French nuclear industry stakeholders to define the development path for new nuclear systems (i.e., nuclear power reactors and fuel cycle nuclear plants) in order to achieve fuel cycle closure objectives in France. In its roadmap, a part of the CEA's efforts is based on Gen-IV nuclear reactors in especially those dedicated to this to the Sodium Fast Reactors (SFRs) development technology.

France has been capitalizing on decades of experience in designing and operating SFR while maintaining a long-term goal of closing the fuel cycle by means of a fleet of fast reactors. SFR is the French reference reactor technology for long term nuclear energy production with closed fuel cycle (e.g. spent fuel reprocessing and uranium/plutonium recycling). In the decade 2010 to 2019, the ASTRID industrial project was the backbone of this program. Since 2020, CEA R&D program continues with renewed objectives.

The mains tracks of this CEA R&D program are:

- ✓ Simulation tools – continuous development and validation of best estimate computer codes;
- ✓ MOX fuel performances;
- ✓ Consolidation of standardization construction code and related material data;
- ✓ Development of reactor components, in service inspection technics;
- ✓ CEA R&D related to SFR safety requirements, in particular the acquisition of data in the field of severe accidents in order to extend the experimental base, i.e. the SAIGA program on the MOx fuel fusion and relocation in mitigation test device operated by NNC-RK in IGR reactor.

MATERIALS PERFORMANCE OF CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY

HE Xinfu

China Institute of Atomic Energy, China

The core structural materials of nuclear reactors will undergo high temperature and fast neutron irradiation, leading to the degradation of mechanical properties. If their mechanical properties degrade sufficiently, they can be the life-limiting feature of nuclear reactors. Neutron irradiation induced degradation of mechanical properties plays an important role on the reactor material selection, service performance evaluation, and life prediction.

Since 1958, China Institute of Atomic Energy has been conducting research on material irradiation effects, focusing on the mechanical degradation of metal and steels after neutron irradiation. This presentation will give a brief introduction on research reactors (Swimming pool research reactor, China Advanced Research Reactor and China Experimental Fast Reactor) for materials irradiation and post irradiation examination facilities of China Institute of Atomic Energy. Then the research progress on mechanical properties degradation after neutron irradiation studied by experiment and multiscale modeling will be introduced.

In recent years, CIAE developed experimental devices and testing methods for mechanical properties testing of high irradiation dose materials and cladding tube, and have successfully applied them to the mechanical properties (Internal pressure creep, internal pressure fatigue, internal pressure yielding, etc.) testing and analysis of zirconium alloy cladding tubes and austenitic stainless-steel cladding tubes. At meanwhile, we are developing small sample testing techniques for testing the mechanical properties of highly radioactive samples, especially for fusion materials, which is supported by national key research and development projects.

In order to gain a deeper understanding of the generation of radiation defects, the evolution of microstructures under neutron irradiation, and their impact on mechanical properties, we have established a multi-scale simulation method (including first principle calculation, Molecular Dynamics, Atomic Kinetic Monte Carlo, Cluster Dynamics and Dislocation Dynamics) for radiation damage, especially for radiation damage in BCC and FCC metals.

The combination of multi-scale simulation and experiments has deepened our understanding on the mechanism of radiation damage, and has preliminarily acquired the ability to predict the mechanical properties of materials after neutron irradiation.

PREDICTING AND TRACING RADIONUCLIDE BEHAVIOR: ADVANCES IN REPOSITORY SAFETY AND NUCLEAR FORENSICS

SHANG Chengming^{*}, YAN Taihong

Department of Radiochemistry, China Institute of Atomic Energy (CIAE-DRC)

^{*} E-mail: shangchengming@ciae.ac.cn

Reliable prediction of radionuclide transport is essential for ensuring the long-term safety of radioactive waste disposal and for evaluating legacy contamination in nuclear test environments. In China, detailed characterization of spent fuel and high-level waste provides the foundation for repository design, safety assessment, and the development of multi-field coupled models that integrate thermal, hydrological, mechanical, and chemical processes. Reactive transport modelling, supported by laboratory and in situ experiments, enables quantitative evaluation of radionuclide release and migration in geological barriers over extended timescales.

Complementing these subsurface studies, investigations of radionuclide transport in near-surface environments yield critical insights into migration under dynamic hydrological and geochemical conditions, where fracture flow and environmental fluctuations strongly influence transport pathways. Such studies are essential for defining the spatial extent of contamination, understanding long-term environmental impacts, and benchmarking predictive models.

Analytical methodologies from nuclear forensics – including environmental sampling, isotopic characterization, non-destructive analysis (NDA), and destructive analysis (DA) – provide complementary tools for identifying radionuclide signatures and reconstructing migration histories. Integrating these approaches enhances predictive modelling, strengthens source attribution, and improves confidence in both repository safety assessments and environmental evaluations.

SAFETY REQUIREMENTS AND TYPICAL ACCIDENT ENVIRONMENT IMPACT ASSESSMENT FOR FUSION EXPERIMENTAL REACTOR IN CHINA

ZHOU Bing^{*}, WU Xinghua

Southwestern Institute of Physics, Chengdu, China

^{*} Email: zhoub@swip.ac.cn

Safety assessment is an important part of the design of nuclear power reactor. It is a necessary step of nuclear safety review and a key requirement for the reactor operation permit. In the Fusion Facility (FF) preliminary design, the main contents of accident analysis include two aspects: verification of FF system and safety control function design to ensure that the consequences of nuclear accidents can be controlled and mitigated; optimization of FF systems design according to the thermal hydraulic transient analysis. Currently, the preliminary systems designs of fusion experimental reactor in Tokamak building are completed. The initial events, accidents list and safety functions are carried out. The environment impact assessment of the site hypothetical accident can be analysed. The consequences of Safety assessment can be used to prove the ability of safety control and optimize the systems design.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

А. С. Арбуз¹, Н. А. Лутченко¹, Ф. Е. Попов¹, С. Н. Лежнев², И. Е. Волокитина²

¹ АОО «Назарбаев университет», г. Астана, Казахстан

² НАО «Рудненский индустриальный университет», г. Рудный, Казахстан

Циркониевые сплавы являются базовыми конструкционными материалами ядерной энергетики, применяемыми для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), каналов и других деталей активной зоны реакторов. От их микроструктуры зависят прочностные характеристики, коррозионная стойкость и радиационная стойкость, что определяет надёжность и ресурс эксплуатации реакторных установок.

В представленной работе исследовано влияние обработки методом радиально-сдвиговой прокатки (РСП) на изменение структуры и свойств циркониевых сплавов.

В рамках проведённой работы выполнена серия экспериментов на трёхвалковом стане, направленных на изучение распределения деформации по сечению циркониевых заготовок. Установлено, что процесс сопровождается интенсивным закручиванием потока металла и формированием выраженного радиального градиента: в приповерхностных слоях накопленная деформация достигала значений $\varepsilon \approx 40\text{--}46$, тогда как в осевой зоне её уровень составлял порядка $\varepsilon \approx 15\text{--}25$. Такое соотношение обеспечило образование функционально-градиентной микроструктуры по радиусу прутка.

Металлографические, SEM/EBSD- и TEM-исследования подтвердили образование в приповерхностных слоях ультрамелкозернистой равноосной структуры с размером зерна 300–800 нм и высокой долей границ большой разориентировки. Глубина зоны устойчивого ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния составила не менее 2 мм от 13–20 мм прутка. Центральная часть заготовок сохраняла вытянутую текстурированную структуру с размерами зерна 5–10 мкм, однако при увеличении степени деформации наблюдалось её заметное измельчение и перераспределение. В промежуточной зоне выявлено сочетание вытянутых и рекристаллизованных фрагментов, что указывает на постепенный переход к УМЗ-структуре.

Анализ микротвёрдости выявили закономерный рост значений от 180–200 HV в центральной зоне до 270–300 HV на периферии, что отражает прямую зависимость между степенью локальной деформации, глубиной измельчения структуры и уровнем упрочнения материала. Результаты численного моделирования (FEM) показали наличие кольцевых зон максимальных эквивалентных деформаций и полностью согласуются с экспериментальными наблюдениями.

Таким образом, проведённые исследования показали, что радиально-сдвиговая прокатка обеспечивает уменьшение среднего размера зерна на два порядка по сравнению с изначальным состоянием, формирование развитой сети высокоугловых границ и перераспределение плотности дефектов по радиусу заготовки. Полученная градиентная микроструктура сочетает повышенную прочность и достаточную пластичность, а высокая плотность межзеренных границ создаёт эффективные стоки для радиационных дефектов. В совокупности эти результаты подтверждают, что РСП является эффективным методом модификации циркониевых сплавов, обеспечивающим улучшение их эксплуатационных характеристик и расширяющим возможности их применения в ядерной энергетике.

МЕТОДОЛОГИЯ И ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ

Е. В. Беспала, С. С. Мешков, Д. А. Ижойкин, А. О. Павлюк, С. Г. Котляревский, Р. И. Кан

АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов», г. Северск, Россия

** E-mail: seversknet@rambler.ru*

Практически все хранилища УГР, относящихся к ядерному наследию, находятся в стадии консервации до решения вопросов по их окончательной ликвидации. Как показал опыт АО «ОДЦ УГР» при выполнении работ на площадках АО «ОДЦ УГР» и ПО «Маяк» по обследованию хранилищ РАО промышленных уран-графитовых реакторов, относящихся к ядерному наследию, наибольшие затруднения возникают из-за дефицита или полного отсутствия информации о содержимом, конструкции и местоположении. Эта проблема была обусловлена высокой интенсивностью образования РАО, интенсивным расширением производства, совершенствованием технологического реакторного оборудования и процессов, отсутствием нормативной базы в период становления атомной промышленности СССР. В хранилищах было накоплено значительное количество радиоактивных отходов, включающих в себя облученный графит, различные типы металлических отходов и др.

С учетом накопленного опыта обследования таких хранилищ был разработан и общий алгоритм обследования, который может быть взят за основу при разработке индивидуального подхода к обследованию любого типа хранилища (рисунок 1).

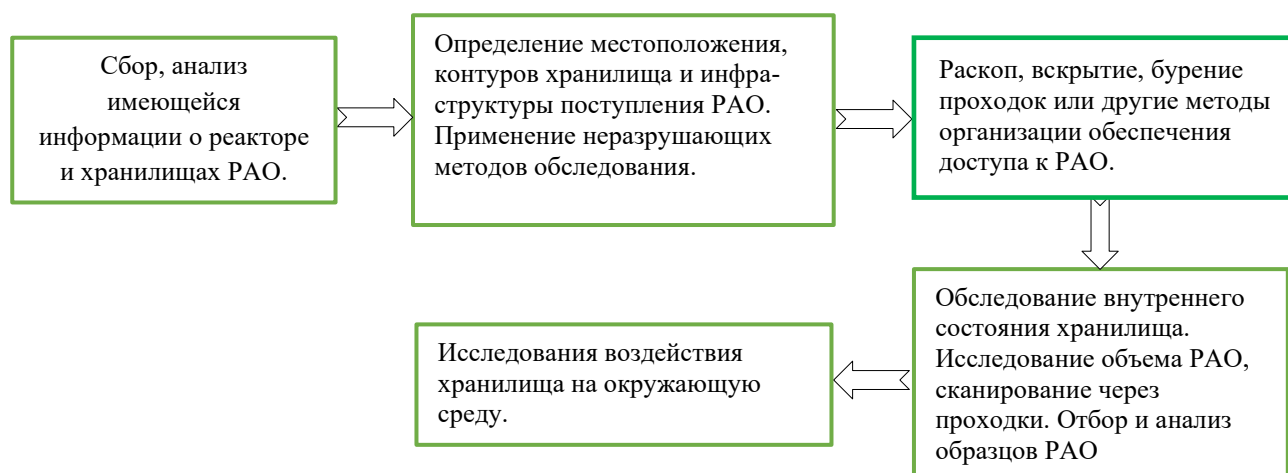


Рисунок 1. Алгоритм обследования хранилищ УГР, относящихся к ядерному наследию

В докладе представлены результаты применения различных методов при реализации общего алгоритма обследования хранилищ радиоактивных отходов (рисунок 1), образовавшихся в ходе эксплуатации уран-графитовых реакторов. Описаны основные направления совершенствования методов обследования, включая результаты макетных испытаний различных способов организации проходок в объеме радиоактивных отходов для обеспечения доступа к нижним слоям отходов. Представленные в статье подходы могут быть адаптированы для обследования хранилищ других типов радиационно-опасных объектов. Методы обследования и практический способ их применения являются показательными в части решения наиболее часто решаемых задач. Опыт, полученный в ходе обследования каждого из хранилищ должен подвергаться глубокому анализу, результаты которого должны быть положены в разработку новых и совершенствование существующих методов и аппаратурно-технической базы.

NiCr-Al ДЕТОНАЦИЯЛЫҚ ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТЕУ

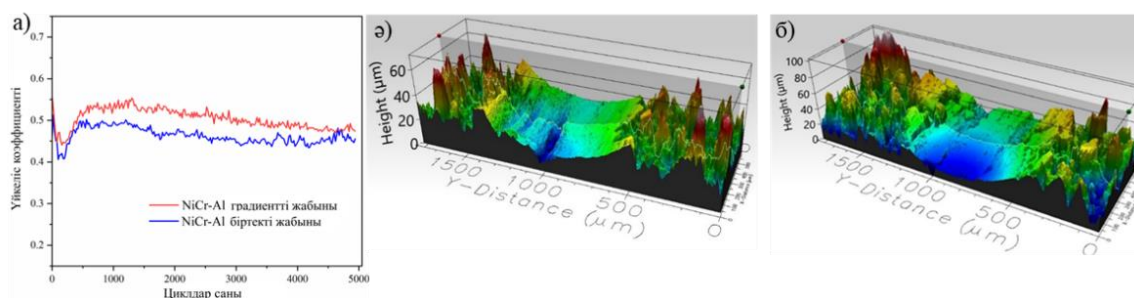
С. Болатов*, Л. Сулюбаева

Сарсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан

* E-mail: sanzharbolatov94@gmail.com

NiCr-Al негізіндегі жабындар жоғары температураға төзімділігіне байланысты энергетикалық сектордағы газ турбиналары, клапандар және жылу өндіру жүйелері сияқты құрылғыларда кеңінен қолданылады [1]. NiCr-Al негізіндегі детонациялық жабындардың қасиеттеріне байланысты біраз зерттеулер жүргізілген [2–3]. Бұл жұмыста NiCr-Al детонациялық жабындарының жоғары температуралық трибологиялық қасиеттері зерттелді.

NiCr-Al градиентті және біртекті жабындарының жоғары температуралық трибологиялық сынаудан кейінгі үйкеліс коэффициенті нәтижесі 1а-суретте көрсетілген. NiCr-Al градиентті жабының үйкеліс коэффициентінің біршама жоғары болуы жабын бетіндегі алюминий-дің көп болуымен түсіндіріледі. Жоғары температуралық трибологиялық сынақтан кейінгі үш өлшемді NiCr-Al жабындарының тозу профилдері 1ә, б-суреттерде көрсетілген. Градиентті жабынның орташа тозу көлемі $W_{vt} = (202 \pm 15) \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$ және үш өлшемді профиль тозу ізінің терең және тар екенін көрсетеді, сонымен қатар жабын бетінің перифериялық бөліктерінде жоғары микро сызаттар сақталады, бұл жабынның абразивті тозуын көрсетеді (сурет 1ә). Ал біртекті жабынның орташа тозу көлемі $W_{vt} = (512 \pm 25) \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, яғни градиентті жабынмен салыстырғанда екі есе жоғары. Үш өлшемді профиль (сурет 1б) тозған аймақта тегіс-телген немесе жалпақ ойықтарды анықталды, бұл адгезия нәтижесінде микроқабаттардың бөлінуін көрсетеді.



Сурет 1. Жоғары температуралы трибологиялық сынақтан кейінгі NiCr-Al жабындарының үйкеліс коэффициенті және тозу жолдарының профилдері

Осылайша, жоғары температуралы трибологиялық сынақ нәтижелері бойынша NiCr-Al градиентті жабынының жоғары температуралық трибологиялық қасиеттерінің жақсы екені анықталды.

Зерттеу Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім Министрлігі Ғылым коми-тетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант № AP23490355).

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Seraffon, M.; Simms, N.J.; Sumner, J.; Nicholls, J.R. Oxidation Behaviour of NiCrAl and NiCoCrAl Bond Coatings Under Industrial Gas Turbine Conditions // Oxidation of Metal. – 2013. – Vol. 81. – P. 203–215.
- [2] Rakhadilov, B.; Sulyubayeva, L.; Maulet, M.; Sagdoldina, Z.; Buitkenov, D.; Issova, A. Investigation of High-Temperature Oxidation of Homogeneous and Gradient Ni-Cr-Al Coatings Obtained by Detonation Spraying // Coatings. – 2024. – Vol. 14. – P 11.
- [3] Sagdoldina, Z.; Rakhadilov, B.; Maulet, M.; Sulyubayeva, L.; Drenda, C.; Bolatov, S. Comprehensive Study of the Mechanical and Tribological Properties of NiCr-Al Detonation Coatings // Applied Sciences. – 2025. –Vol. 15. – P. 7513.

«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

Б. Б. Буркурманов

АО «НАК «Казатомпром», г. Астана, Казахстан

Миссия научно-технической деятельности - это реализация Политики научно-технического развития Казатомпром посредством НИОКР, рационализаторской деятельности, управления знаниями, коммерциализацией объекта интеллектуальной собственности и развития кадрового резерва научно-технических кадров.

Администрирование и координация научной деятельности, формирование новых направлений научных исследований/разработок, управление знаниями, коммерциализация ОИС и трансферт технологий координируются Департаментом науки, редких и редкоземельных металлов.

АО «НАК «Казатомпром» проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по следующим приоритетным направлениям развития:

- Добыча и переработка продуктивных растворов, получение ЗОУ;
- Геология, геотехнология и горно-подготовительные работы, ремонтно-восстановительные работы скважин и попутное извлечение РМ и РЗМ на урановых месторождениях;
- Высокие технологии ЯТЦ, получение и переработка РМ и РЗМ.

В состав АО «НАК «Казатомпром» входят три крупных научных центра:

- 1) Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Институт высоких технологий»;
- 2) Научный центр АО «Ульбинский металлургический завод»;
- 3) Центральная опытно-методическая экспедиция АО «Волковгеология».

Всего в научно-технической деятельности задействовано порядка 450 человек.

Проводимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы можно разделить на 3 типа:

- 1) Работы, направленные на снижение себестоимости уже существующих продуктов и услуг и оптимизацию производственных процессов;

- 2) Работы, направленные на создание новых технологий, услуг и продуктов в существующих сферах бизнеса;
- 3) Работы, направленные на диверсификацию бизнеса (создание новых переделов и производств).

Общество на постоянной основе прорабатывает и инициирует новые проекты НИОКР. Некоторые ключевые проекты, которые планируется к реализации в ближайшее время:

- Исследования по получению кондиционного тетрафторида урана из урановых растворов подземного скважинного выщелачивания.
- Разработка технологии бессорбционной переработки урановых растворов для получения химического концентрата природного урана.
- Разработка технологии получения радиоизотопов медицинского назначения.

Еще важный момент, на который Казатомпром уделяет внимание, это коммерциализация научной деятельности. Ежегодно оформляются ОИС, заключаются лицензионные договора. Общество является правообладателем около 170 охраняемых документов на объекты интеллектуальной собственности.

ЭЛЕКТРОЛИТТИК-ПЛАЗМАЛЫҚ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ БОЛАТТЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Л. Г. Сулюбаева, А. Мәуліт, Т. Әлімбекұлы*

*Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
«Беттік инженерия және трибология» Ғылыми зерттеу орталығы, Өскемен қ., Қазақстан*

** E-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com*

Машина бөлшектерінің (ось, білік, штифт, бұлғақ, тістегершік және т.б.) тозуға төзімді-лігі мен жұмыс қабілетін арттыруда беттік модификация әдістерінің маңызы зор. Осындай перспективалы тәсілдердің бірі – электролиттік-плазмалық нитроцементация. Бұл әдіс азот пен көміртегі атомдарының плазмалық-диффузиялық қанығуы есебінен болат бетінде берік және тозуға төзімді қабат түзуге мүмкіндік береді.

Жұмыс барысында төмен көміртекті болаттарға жасалған электролиттік-плазмалық нитроцементация кезінде байқалатын физикалық процесстер қарастырылады. Сондай процесстің бірінде кернеу шекті мәннен жоғары болған кезде (~250–400 В) жоғары температуралы плазманы ($T > 800\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) құратын микро разрядтар режиміне өтетін тұрақты бугаз қабығы пайда болады. Сонымен қатар, беттік қабатта қалыңдығы 50–300 мкм болатын көп фазалы құрылым түзіледі, оның құрамына $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{-}_3\text{N}$, $\gamma\text{'-Fe}_4\text{N}$ нитридтері, Fe_3C карбидтері және $\text{Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C})$ карбонитридтері кіреді. Мұндай модификация болаттың беттік микроқаттылығын 700–1100 HV-қа дейін арттырады (бастапқы болаттағы 150–200 HV-қа қарағанда), сонымен қатар қаттылықтың айқын градиенті байқалады. Қатты фазалардың және мартенситтік астыңғы қабатының түзілуі нәтижесінде тозуға төзімділік шамамен 40%-ға артады, ал тозу механизмі нитридтік қосылыстардың майда дисперсті бөлшектерінің шаршаулық бұзылуымен сипатталады.

Зерттеуде 20 маркалы болат үлгілері әртүрлі электролиттерде және температуралық ре-жимдерде (650 $^{\circ}\text{C}$, 750 $^{\circ}\text{C}$, 850 $^{\circ}\text{C}$) өңделді. Жоғары ажыратымдылықты оптикалық спектрометр және жоғары жылдамдықты бейнетіркеу арқылы плазмалық разрядтардың табиғаты анықталды. SEM және EDS әдістерімен үлгілердің морфологиясы, фазалық аймақтары мен химиялық элементтердің таралуы, қаттылығы және трибологиялық қасиеттері зерттелді. Нәтижесінде әуелгі үлгіге қарағанда 750 $^{\circ}\text{C}$ -та өңделген үлгінің бетіндегі қаттылықтың мәні 4 есе арты, үйкеліс коэффициентінің мәні 1,25 есе азайды.

Осылайша, электролиттік-плазмалық нитроцементация машина жасау, құрылыс, энергетика және т.б. салаларда шикізат ретінде қолданылатын төменкөміртекті болаттардың беткі қабатын берік қылатын оңтайлы әдіс-тәсілдердің бірі.

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант № BR24992879).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РЕАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Е. А. Кабдылкаков, А. С. Сураев

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

Исследовательский импульсный графитовый реактор (ИГР) благодаря уникальным нейтронно-физическим характеристикам и особенностям конструкции экспериментальных каналов предоставляет широкие возможности для проведения исследований в области изучения тяжелых аварий ядерных реакторов.

В настоящее время на реакторе ИГР реализуются эксперименты, направленные на изучение физических процессов, протекающих в ходе развития тяжелых аварий на полноразмерных тепловыделяющих сборках (ТВС). В условиях данных экспериментов возможно полное плавление топлива ТВС и последующее взаимодействие расплава с конструктивными элементами экспериментального устройства (ЭУ). Процесс плавления и перемещения расплава внутри объема ЭУ сопровождается его взаимодействием с различными конструкционными материалами. Для исследователей особую важность представляет прогнозирование теплофизических процессов, происходящих в объеме ЭУ. Это необходимо как с точки зрения обеспечения безопасности реакторных экспериментов, так и для соблюдения заданных режимов испытаний ядерного топлива.

Для решения указанных задач применяется высокопроизводительное вычислительное оборудование и современные лицензированные программные продукты, в частности программный комплекс ANSYS, реализующий метод конечных элементов для моделирования сложных физических процессов.

Сотрудники филиала Института атомной энергии НЯЦ РК на протяжении многих лет используют программный комплекс ANSYS для моделирования процессов теплофизики, гидродинамики и прочности материалов. За это время был пройден путь от расчетов теплового состояния двухмерных моделей простых экспериментальных устройств до моделирования тепловых процессов с учетом фазовых переходов в материалах. В последние годы были получены результаты по моделированию теплового состояния активной зоны реактора ИГР, подтвердившие возможность его конверсии на низкообогащенное топливо. Достоверность расчетов неоднократно подтверждалась экспериментальными данными.

Дополнительная разработка прикладных программных модулей позволяет успешно интегрировать результаты нейтронно-физических расчетов в теплофизические модели ANSYS, что существенно повышает точность моделирования теплового состояния ЭУ.

Рост вычислительных мощностей Института атомной энергии в сочетании с накопленным опытом специалистов обеспечивает возможность построения более точных расчетных моделей, оперативного проведения численных экспериментов для различных вариантов конструкции, а также применения разнообразных расчетных методов.

В перспективе планируется дальнейшее наращивание вычислительных ресурсов, внедрение высокопроизводительных серверов, что позволит существенно расширить возможности по совершенствованию методов моделирования теплового состояния экспериментальных устройств.

ГАЗОПЛАМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ САМОФЛЮСЮЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 45

Н. С. Райсов

*НАО «Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Научный руководитель: Д. Б. Буйткенов, PhD*

** E-mail: nurmakhanbetraisov@gmail.com*

Покрытия из самофлюсующихся никелевых сплавов нашли широкое применение в различных сферах машиностроения [1, 2]. Газотермические (в том числе плазменные) покрытия на основе Ni-Cr-Fe-B-Si используются для повышения износостойкости машинных деталей. NiCrFeBSi активно применяются для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях интенсивного трения – таких, как элементы турбин, инструмента, экструдеров, плунжеров, валков прокатных станов, а также сельскохозяйственных машин.

В данной работе исследовано влияние параметров газопламенного напыления и последующей термической обработки на структуру, микротвердость и трибологические свойства покрытий на основе

самофлюсующихся никелевых сплавов системы Ni-Cr-Fe-B-Si. В качестве материала подложки использовалась конструкционная углеродистая сталь марки 45. Покрываются наносились методом газопламенного напыления с последующим термическим воздействием в печи и пламенем пистолета.

Оптимизация режимов предварительного нагрева подложки в диапазоне 200–250 °С позволила повысить микротвердость покрытий за счёт снятия внутренних напряжений. Термическая обработка при 1025 °С способствовала снижению пористости, увеличению плотности покрытия и улучшению его структуры, что подтверждается результатами морфологических исследований. Дополнительно выявлено формирование фаз Cr₇C₃, положительно влияющих на износостойкость покрытий.

По результатам трибологических испытаний установлено значительное снижение коэффициента трения после термообработки, особенно при нагреве в печи. Наиболее стабильные характеристики трения наблюдались у покрытий, подвергнутых термообработке в печи. Разработанная технология газопламенного напыления с последующим оплавлением обеспечивает повышение ресурса эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного износа, термических и механических нагрузок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992876).

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ БЕРИЛЛИДА ХРОМА CrBe₁₂

М. А. Подойников

АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан.

Бериллид хрома CrBe₁₂ может рассматриваться в качестве альтернативного бериллию функционального материала замедлителя/размножителя нейтронов в перспективных реакторах деления и синтеза, а также альтернативы материалам, эксплуатирующимся в условиях высокотемпературного коррозионного воздействия окислительных сред.

Вместе с тем, до настоящего момента опыт получения бездефектных моноструктурных заготовок из этого материала отсутствовал.

В докладе представлена информация о результатах проведенных исследований по получению слитков бериллида хрома CrBe₁₂ методами сплавления, а также методами порошковой металлургии.

Показано, что в процессе нагрева уплотненной смеси порошков бериллия и хрома, взятых в мольном соотношении 12:1, при температуре 1100 °С происходит формирование монофазной интерметаллической структуры CrBe₁₂. Компактные заготовки указанного соединения могут быть получены методом вакуумного горячего прессования с плотностью не менее 99% от теоретического значения.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОЦЕССЕ ИММОБИЛИЗАЦИИ ВОУ ТОПЛИВА РЕАКТОРА ИГР

И. В. Прозорова*, А. К. Мухамедиев, И. Н. Богомолова, Ю. А. Попов, А. А. Прозоров

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

** E-mail: prozorova@nnc.kz*

На текущий момент на комплексе исследовательского реактора (далее КИР) ИГР хранится облученное ВОУ топливо, выгруженное из активной зоны реактора в 1966 году. Топливо реактора ИГР представляет собой графитовые блоки и стрержни, пропитанные уранилдинитратом (UO₂(NO₃)₂). Обогащение по ²³⁵U составляет 90% (ВОУ топливо). Для его утилизации специалистами НЯЦ РК была разработана и предложена уникальная концептуальная технология сухого смешивания, получившая активную поддержку после представления специалистам Национальной лаборатории Айдахо (США), экспертам международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), а также специалистам атомного комплекса Селлафилд (Великобритания).

По данной технологии на первом этапе предполагается произвести переработку облученного ВОУ топлива исследовательского реактора ИГР на проектируемом участке разбавления. Участок разбавления будет располагаться на территории КИР «Байкал-1» на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне в 70 км к югу от города Курчатова.

Конечным продуктом технологического процесса на участке разбавления будет являться иммобилизованные в цементную матрицу измельченные и разбавленные природным (обедненным) ураном до концентрации 5% по ^{235}U ВОУ топливо. Смешивание и цементирование будет производиться в бочках из углеродистой стали емкостью 200 литров, которые также используются для хранения полученной цементной матрицы.

В рамках настоящей работы рассмотрен сценарий радиационной обстановки, описывающий полный технологический цикл переработки: от загрузки графитового блока в дробилку до помещения цементированного НОУ топлива в контейнер. На всех этапах цикла: измельчения, смешивания, цементирования и упаковки - материал сохраняет радиоактивность, а возникающие мелкодисперсные фракции распыляются в пределах установки, формируя локальную радиоактивную среду.

При проведении анализа безопасности участка разбавления выполнены нейтронно-физические расчеты. Расчеты были выполнены в 3D геометрии с использованием кода MCNP6. При постановке задач расчетов и построении расчетных моделей использовались консервативные подходы и оценки. Расчеты проведены для переработки графитовых блоков ВОУ топлива реактора ИГР с учетом предварительной схемы расположения оборудования.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕСТ ОБЛУЧЕНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ИВГ.1М

Р. Р. Сабитова, И. В. Прозорова

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

Конверсия исследовательского реактора ИВГ.1М на топливо пониженного обогащения по U-235 способствовала увеличению запаса реактивности и длительности кампании реактора. В связи с этим появилась возможность расширить функционал реактора за счет реализации долговременного облучения небольших образцов в месте расположения графитовых вкладышей в головке технологических каналов. Данное решение предусмотрено проектом реактора ИВГ.1М и до настоящего времени не использовалось. Для обоснования возможности использования дополнительных мест облучения были проведены нейтронно-физические расчеты с помощью кода MCNP6 и модели реактора ИВГ.1М. Для этого была расширена существующая модель с внесением в нее конструктивных элементов выше активной зоны: крышки реактора, верхней части технологических каналов, экранов. Полученные с помощью расширенной модели расчетные данные позволяют оценить характеристики мест дополнительного облучения и дать соответствующие рекомендации.

ОБЪЕМНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА КАК МЕТОД ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

Е. Е. Сапатаев*, Ю. Ю. Бакланова, Е. Б. Арынгазы

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

** E-mail: sapatajev@nnc.kz*

В 2023 году успешно был завершен процесс перевода исследовательского реактора ИВГ.1М (НЯЦ РК, г. Курчатова) на низкообогащенное топливо. На сегодняшний день начаты НИОКР по разработке технологии разбавления отработавшего топлива. Технология обращения с ОЯТ реактора ИВГ.1М, предполагает соблюдение таких требований, как: разбавление высокообогащенного урана (ВОУ) обедненным ураном до обогащения по ^{235}U <20%, при этом фазовый состав двух видов урана в процессе разбавления должны быть идентичными; концентрация ^{235}U в матрице инкапсулирования не должна превышать 50 ppm.

На этапе технико-экономического обоснования по обращению с ОЯТ в качестве разбавления ВОУ топлива был выбран способ термического окисления с переводом металлического твэла в оксидный порошок. Что требует также выполнение предварительной подготовки путем извлечения твэлов из ТВС механическим способом.

Отработавшее топливо реактора ИВГ.1М представляет собой фрагменты водоохлаждаемого технологического канала (ВОТК) и фрагменты отработавших ТВС, размещенные в 33 пеналах. ВОТК выполнен в виде цилиндрической капсулы из алюминий-магниевого сплава общей длиной около 5 м. Твэл представляет форму стержня спиральным профилем длиной 600 и 200 мм. В качестве топливного сердечника использовалась уран-циркониевый сплав с массовым содержанием урана около 5%. Защитной оболочкой служит цирконий-ниобиевый сплав марки Э110. В целом в отработавшем топливе содержится 4,9 кг ^{235}U , а суммарная масса изотопов Pu составляет менее 1 г.

В процессе выполнения НИР были определены оптимальные температуры объемного окисления без урановых имитаторов твэла из цирконий-ниобиевого сплава. Установлено что, полное окисление интенсивно происходит при температуре 1000 °С в течение 3 часов в атмосфере воздуха. Эти параметры были применены для небольших фрагментов свежего твэла с ВОУ и экспериментально подтвержден переход металлического урана в оксидное соединение U_3O_8 .

Таким образом, полученные результаты и знания будут применены на этапе НИОКР по разработке технологии разбавления отработавшего топлива исследовательского реактора ИВГ.1М.

Настоящая работа выполнена в рамках программы по снижению обогащения для исследовательских и испытательных реакторов «RERTR» (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors).

РАСЧЕТ НАКОПЛЕНИЯ РАО В ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ПОСЛЕ ОДНОГО ГОДА РАБОТЫ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Д. М. Секен, А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, Р. А. Иркимбеков, О. М. Жанболатов

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

Развитие ядерной энергетики как устойчивого источника электроэнергии требует особого внимания к вопросам экологической безопасности, в частности к обращению с образующимися радиоактивными отходами. Одним из ключевых факторов, определяющих потенциальную опасность атомных электростанций, является накопление радионуклидов в процессе эксплуатации ядерных реакторов. Особое внимание следует уделить долгоживущим нуклидам, образующимся в результате деления, захвата и активации, так как они сохраняют радиотоксичность на протяжении сотен и тысяч лет и требуют длительного контроля на всех этапах – от выгорания топлива до его окончательной изоляции.

В условиях активной зоны реакторов типа ВВЭР-1000 накапливаются не только продукты деления, но и актиниды, благородные газы, аэрозольные нуклиды, а также изотопы йода и лантаноиды. Многие из них оказывают влияние на нейтронно-физические характеристики реактора, тепловыделение после выгрузки топлива и обоснование параметров долговременного хранения. К примеру, изотопы ксенона и самария являются мощными нейтронными поглотителями, а технеций-99 и йод-129 – высокомобильны в окружающей среде и радиотоксичны даже в малых концентрациях.

Настоящая работа направлена на исследование накопления радионуклидов в реакторе ВВЭР-1000 по завершении топливного цикла. Использование современных кодов, таких как MCNP6 с библиотеками ENDF/B-VII, позволяет рассчитать изотопный состав топлива после его выгорания с высокой степенью достоверности.

В работе представлено нейтронно-физическое моделирование накопления радионуклидов в реакторе ВВЭР-1000 после первого топливного цикла с использованием кода MCNP6 [1] и библиотек ENDF/B-VII [2]. Проведены расчёты по образованию основных долгоживущих продуктов деления (^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{137}Cs , ^{129}I и др.), актинидов (Np, Pu, Am), благородных газов (Kr, Xe), а также аэрозольных и йодсодержащих радионуклидов. Особое внимание уделено оценке остаточной активности и влияния накопленных изотопов на радиационную безопасность. Исследование имеет прикладное значение для разработки стратегий обращения с ОЯТ и ТРО, проектирования хранилищ, оценки экологических рисков и развития атомной энергетики в Республике Казахстан.

Работа была выполнена в рамках проекта НИР по обоснованию выбора и реализации технологии переработки твердых радиоактивных отходов (BR24993118)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] MCNP6 Monte Carlo NeParticle Transport Code System, MCNP 6.1, LANL, 2013.

- [2] ENDF/B-VII.0: next generation evaluated nuclear data library for nuclear science and technology. Nuclear Data Sheets (2006).

ПЕРВИЧНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, С. А. Должиков

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

Реакторная установка БН-350 (быстрый натриевый реактор) была построена по проекту ОКБ «Гидропресс» и введена в эксплуатацию в 1973 году на территории производственного объединения Мангистауский атомный энергетический комбинат (МАЭК), расположенного в г. Актау, Казахстан. БН-350 стал первым в мире промышленным реактором на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, совмещавшим функции выработки электроэнергии, опреснения морской воды и теплоснабжения. Установка имела уникальное тройное назначение: производство электроэнергии, опреснение морской воды и теплоснабжение региона [1]. Проектная тепловая мощность реактора составляла 350 МВт, электрическая – 150 МВт, а производительность по опреснению — до 120 тыс. м³ пресной воды в сутки. Реактор работал на смешанном уран-плутониевом топливе с замкнутым топливным циклом. Его конструкция включала три контура теплоносителя: натриевый первый и второй контуры и пароводяной третий контур [2, 3].

В 2025 году НЯЦ РК получил партию образцов ТРО с ТОО «МАЭК», после чего начались работы по первичной характеристике. В рамках этих работ были проведены фотофиксация образцов и их взвешивание, измерена мощность эквивалентной дозы гамма излучения от каждого образца, выполнена идентификация радиоизотопа, вносящего наибольший вклад в активность образцов. Полученные данные соотнесены с критериями классификации отходов, установленными в нормативных документах Республики Казахстан, включая санитарные правила, правила радиационной безопасности и требования к безопасности при обращении с РАО. Полученные результаты первичных исследований ТРО, поступивших с РУ БН-350, необходимы для выбора и обоснования правильной технологии их переработки и кондиционирования [4].

В настоящей работе представлены результаты первичной характеристики 15 образцов ТРО. Данные образцы представляют собой фрагменты систем специальной вентиляции, канализации, водоочистки, элементы трубопроводов, ручной и электрический инструмент, применявшийся во время демонтажных работ, отрезки листового металла и фланцев, а также фрагменты бетонных конструкций.

По результатам проведенных исследований был получен набор данных, характеризующих данные образцы по видам материала, пригодности к переработке (очистке) и способам их захоронения.

Данная работа выполнена в рамках проекта программно-целевого финансирования Комитета науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24993118).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кайров Б.К. и др. Реактор БН-350 и опыт его эксплуатации, Вестник НЯЦ РК, 2001.
- [2] Troyanov, V. M., & Kamaev, A. A. (2024). Evolution of fast reactors. The role of a BN-350 reactor. Atomic Energy, 136(5–6), 222–232. <https://doi.org/10.1007/s10512-024-01155-y>
- [3] Mukhamedov, N.; Toleubekov, K.; Vityuk, G.; Bekmudlin, M.; Dolzhikov, S. Decommissioning of the BN-350 Fast Neutron Reactor: History Review and Current Status. Energies 2025, 18, 3486. <https://doi.org/10.3390/en18133486>
- [4] IAEA Safety Standards Series No. GSG-1: Classification of Radioactive Waste.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Б. Ж. Токсанбаев, А. С. Тимаков

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

Добыча и переработка природного урана методом подземного скважинного выщелачивания сопровождаются образованием как твердых, так и жидких радиоактивных отходов. Одним из таких отходов является разрушенный ионит, также известный как отработанная ионообменная смола. По завершении срока

эксплуатации данный вид отходов подлежит захоронению на специализированных полигонах для твердых радиоактивных отходов (НРО). Годовой объем образования отработанной смолы сопоставим с объемом ежегодных закупок новой смолы на уранодобывающих предприятиях и может превышать сотню тонн. При этом расходы на захоронение НРО на действующих объектах постоянно возрастают.

Переработка ионообменных смол представляет собой одну из наиболее технологически сложных и экономически затратных операций среди всех видов обращения с НРО. На сегодняшний день существует ряд подходов к утилизации отработанных ионообменных смол. Анализ современных методов показал, что наиболее перспективными с точки зрения реализации принципа минимизации образования РАО являются технологии термической обработки и глубокой дезактивации. В то же время в настоящее время отсутствуют серийные установки, готовые к промышленному внедрению для указанных целей. Проектирование оборудования осуществляется индивидуально, с учетом специфики состава и свойств отработанных смол.

В рамках настоящего исследования проведены комплексные лабораторные испытания, направленные на изучение процессов термодеструкции отработанных ионообменных смол. В частности, осуществлена термохимическая обработка ионитов с целью снижения объемов образующихся при сушке и сжигании твердых и газообразных продуктов.

В результате глубокой сушки масса ионообменного материала уменьшается более чем в два раза, при этом материал утрачивает способность к повторному поглощению влаги.

Выполнен анализ состава газов, выделяющихся в процессе глубокой сушки и последующего сжигания ионитов в диапазоне температур от 100 до 900 °С. Экспериментальные работы включали сжигание смолы в лабораторной трубчатой печи как с подачей воздуха, так и в инертной атмосфере. Объем остаточного огарка после сжигания составил от 5 до 12% от исходной массы ионита.

Дополнительно были проведены эксперименты по кислотному выщелачиванию остаточного огарка с использованием сернокислотных растворов, в результате чего достигнуто извлечение до 80% остаточного урана, содержащегося в отработанной смоле.

Установлена принципиальная возможность эффективного сжигания отработанных смол в трубчатой печи, определены оптимальные параметры процесса: скорость подачи смолы в зону горения и расход воздуха. Ключевым условием обеспечения полноты окисления продуктов термического разложения является равномерная подача ионита в высокотемпературную зону печи.

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА НЕЙТРОНОПОГЛОЩАТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ СВМПЭ В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Б. Т. Туякбаев*, М. К. Скаков

НАО «Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

** E-mail: tu_baur1980@mail.ru*

Актуальной задачей является защита персонала, работающего в радиационно-опасных условиях, связанных как с потоками излучения «закрытых» источников: радиоактивные препараты, реакторы, рентгеновские и ускорительные установки, так и с радиоактивными веществами от «открытых» радиоактивных источников. В качестве защиты от быстрых нейтронов используют элементы с малыми атомными массами, которые замедляют их до тепловых энергий, например, водород, и элементы с большим сечением их поглощения, в том числе бор, содержащий природный изотоп ^{10}B , имеющий большое сечение захвата тепловых нейтронов и не обладающий наведенной радиацией после облучения нейтронами. Поэтому целью данной работы является разработать материал на основе СВМПЭ с наполнителями из В, W, Pb и исследовать радиационно-защитные свойства.

Материалом исследования был выбран СВМПЭ, произведенное Nantong Yangba Polyethylene Co., Ltd., Китай, плотность составляет 930 кг/м^3 , с молекулярной массой $2 \cdot 10^6 \text{ моль}^{-1}$, представляет собой белый порошок со средним размером частиц 150 мкм $T_{\text{пл}} = 135 \text{ °C}$, насыпной плотностью $> 0,4 \text{ г/см}^3$, $\rho \geq 0,933 \text{ г/см}^3$ [1] с добавками в виде H_3BO_3 , WC, Pb_2O с разным содержанием наполнителей по массе (Таблица 1).

Таблица 1. Содержание наполнителей и СВМПЭ в образцах

№ образца	Содержание СВМПЭ, %	Содержание H_3BO_3 , %	Содержание WC, %	Содержание Pb_2O , %
1	70	10	10	10

2	50	20	20	10
3	45	30	5	20

Все образцы были получены по разработанной нами технологии газопламенного нанесения защитного покрытия на основе СВМПЭ [2].

Реакторное облучение проводили на исследовательском реакторе ИВГ-1М филиала «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК.

Определен состав и энергетические характеристики потока реакторного излучения, а также его проникающая способность. Исследована структура образцов после реакторного облучения на растровом электронном микроскопе. Исследованы механические свойства на изгиб до и после реакторного облучения. Определены нейтронопоглощающие способности полученного материала в условиях реакторного облучения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. R. Sanchis, V. Blanes, M. Blanes, D. Garcia, R. Balart, Surface modification of low density polyethylene (LDPE) film by low pressure O₂ plasma treatment // European Polymer. – 2006. – Vol. 42, – P. 1558–1568.
<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.02.001>
- [2] Очередыко И.А., Скаков М.К., Туякбаев Б.Т., Кантай Н., Ананьева Е.С. Способ газопламенного нанесения защитного покрытия на металлическую подложку // Патент на полезную модель Республики Казахстан № 7207 от 03.03.2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ РЕСУРСНЫХ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БЛОКА ИЗ БЕРИЛЛИДА ТИТАНА TiBe₁₂ В УСЛОВИЯХ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМАМ БЛАНКЕТА РЕАКТОРА ДЕМО

С. В. Ударцев^{1,2}, М. К. Кылышканов¹, В. Н. Нестеров²

¹ АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

² Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Бериллид титана TiBe₁₂ рассматривается в качестве альтернативного бериллию функционального материала замедлителя/размножителя нейтронов в концепции охлаждаемого гелием бланкета проектируемого термоядерного реактора ДЕМО.

Одним из этапов испытаний материала является изучение его поведения и эволюции свойств в циклических тепловых режимах, которые соответствуют таковым для бланкетных модулей реактора.

В докладе представлена информация о результатах проведенных экспериментов по долговременным ресурсным термоциклическим испытаниям в количестве 2000 циклов блока из бериллида титана TiBe₁₂, изготовленного и испытанного в АО «УМЗ».

Показано, что термические напряжения, возникающие в процессе нагрева в массивных блоках замкнутой формы, могут привести к их хрупкому разрушению на отдельные фрагменты, длительное термоциклическое воздействие способно приводить к частичному разрушению приповерхностных зон материала, наиболее подвергшихся влиянию температуры, в целом материал сохраняет свою целостность, исходную плотность и структурную однородность и способен выдерживать циклическое воздействие температуры.

ОПЫТ ДЕЗАКТИВАЦИИ В АО «УМЗ» РАДИОАКТИВНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЗ-ИЗЛУЧЕНИЯ

И. А. Хлебникова

АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Процесс вывода из эксплуатации оборудования и технологической оснастки производств, основной деятельностью которых является переработка урансодержащих соединений, неизбежно приводит к образованию и накоплению металлических твердых радиоактивных отходов (ТРО). Основная доля таких отходов, относится к категории низкоактивных РАО и требует обеспечения особых условий хранения. Эффективная дезактивация металлических РАО способствует не только существенной экономии средств, направляемых на окончательную

изоляцию радиоактивных отходов, но и делает возможным вовлечение высококачественного металла в промышленное использование в качестве вторичного сырья.

Известно, что применение ультразвуковой обработки ТРО способствует увеличению коэффициентов дезактивации по сравнению с традиционными методами, при этом продолжительность процесса сокращается [1]. Также следует отметить, что для каждого вида дезактивируемого материала необходимо определить состав дезактивирующего раствора, обеспечивающего следующие требования:

- полное смачивание дезактивируемой поверхности;
- разрушение РАВ на поверхности и перевод их в растворимое состояние;
- исключение повторной сорбции РАВ дезактивируемого материала;
- минимальное разрушение дезактивируемой поверхности материала.

В АО «УМЗ» проведены исследования процесса дезактивации молибденового лома, образующегося в результате потери эксплуатационной надежности оснастки (лодки) для высокотемпературного спекания топливных таблеток. Среднее содержание урана в молибдене после вывода из эксплуатации составляет 0,002–0,004% масс, при этом уран диффундирует на глубину до 0,25 мм [2].

На основании результатов лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний разработана технология дезактивации молибденового лома, предусматривающая предварительное окисление радиоактивно загрязненной поверхности металлического молибдена в специальной среде, интенсифицированное ультразвуковыми колебаниями с регулированием толщины окисленного слоя, с последующим удалением окисленного поверхностного слоя молибдена.

Результатом ультразвуковой дезактивации металлического лома загрязнённого радионуклидами урана явилось достижение критериев, позволяющих отнести данный вид отходов к общепромышленному металлолому и устранить экологические проблемы, обусловленные аспектами его хранения, а также получить дополнительную прибыль при реализации молибденового сырья.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Савкин А.Е., Карлина О.К., Васильев А.П. и др. Испытания ультразвуковой установки для дезактивации металлических радиоактивных отходов // Безопасность окружающей среды. – 2007. – № 3. – С. 38–41.
- [2] Макаров Ф.В., Гузев В.В., Пищулин В.П. и др. Дезактивация молибденового лома производства диоксида урана и разработка фторидной технологии его переработки // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. – № 19. – С. 385–391.

МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС: НОВЫЕ ДАННЫЕ

А. А. Ширяев¹, В. О. Япаскурт², Б. Е. Бураков³

¹ *Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН, Москва, Россия*

² *МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

³ *Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

В ходе тяжелых реакторных аварий происходит взаимодействие ядерного топлива с конструкционными материалами. Эти процессы характеризуются температурами до 2400 °С и выше, для них характерна сложная кинетика и широкий диапазон фазового и химического разнообразия реагирующих материалов. Детальное материаловедческое исследование материалов, сформированных во время активной фазы аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986, необходимо не только для уточнения процессов самого инцидента, но и для разработки подходов к минимизации последствий запроектных реакторных аварий и ликвидации их последствий. Также представляет интерес сравнение с результатами экспериментальных исследований, направленных на моделирование таких инцидентов.

Основные особенности формирования «горячих» частиц и лавоподобных топливо-содержащих материалов (ЛТСМ или чернобыльские «лавы») были изучены в ходе обширных исследований в 90-х годах 20 века. Однако ряд деталей процессов взаимодействия конструкционных материалов и топлива остаются дискуссионными или недостаточно понятными. На протяжении ряда лет нами проводится систематическое изучение структуры и свойств, в частности, спектроскопических, минералоподобных фаз, образовавшихся в ходе аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. [Shiryaev et al., 2016, 2020]. Показано существование нескольких генераций циркона, различающихся содержанием урана и ряда других элементов. Установлено присутствие трех полиморфных модификаций (Zr,U)O₂ – моноклинной, тетрагональной и кубической; стабилизация

высокотемпературных модификаций достигается за счет легирования примесью урана. Во многих случаях наблюдается неоднородность распределения примеси урана и ряда примесей по сечению агрегатов $(Zr,U)O_2$, что позволяет наложить ограничения на температуру и продолжительность процессов их образования в ходе взаимодействия топлива и оболочки. Исследование текстурных соотношений между $(Zr,U)O_2$ и $(Zr,U)SiO_4$ дало возможность реконструировать основные пути формирования циркона с беспрецедентно высокими содержаниями примеси урана в кристаллической решетке.

Впервые установлена фугитивность кислорода в ЛТСМ, показано, что условия являются резко восстановительными. Спектроскопическими методами показано существование включений оксида урана с различными отклонениями от стехиометрии; морфологические исследования таких выделений дают информацию о поведении топливных частиц в расплаве активной зоны.

В докладе будут представлены новые данные по спектроскопии агрегатов богатых ураном циркона и оксида циркония, а также результаты исследования их структуры и особенностей химического состава.

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Яковлев^{1*}, А. В. Собачкин¹, А. А. Ситников¹, М. В. Логинова¹,
В. Ю. Филимонов^{1,2}, А. В. Градобоев³, А. Ю. Мясников^{1,4}

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

⁴ Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

* E-mail: anicpt@rambler.ru

Одними из перспективных материалов для современной промышленности являются соединения на основе алюминидов титана из-за высоких жаропрочности, модуля упругости и сравнительно низкой плотности [1]. Для улучшения свойств алюминиды титана легируют Hf, Mo, Nb, Ta, V, W, Zr и некоторыми другими элементами.

В последние годы активно исследуется метод механически активированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) новых материалов, где порошковая смесь сначала обрабатывается в энергонапряженном аппарате, а затем используется для СВС [2]. Однако механическая активация (МА) является способом «грубого» воздействия на шихту: продолжительность МА измеряется минутами, а при определенной длительности смесь «отравляется» продуктами реакции. Для «тонкого» управления структурой реагентов перспективно использовать γ -облучение, что может привести к дальнейшему развитию СВС технологий [3].

Воздействие γ -облучения изучали для систем Ti–Al, Ti–Al–Nb и Ti–Al–C.

Облучение γ -квантами механоактивированных смесей Ti + Al приводит к частичному отжигу дефектов, при этом наноразмерный масштаб ОКР кристаллитов сохраняется. Радиационно-стимулированная диффузия интенсифицирует растворение титанового компонента в алюминиевой матрице и способствует гомогенизации системы. При определенных условиях (длительность и энергонапряженность МА, мощность дозы и накопленные дозы γ -облучения, длительность выдержки во время СВС) формируется монофазный продукт TiAl с высокой степенью однородности распределения компонентов.

Воздействие γ -облучения на SPS-продукт системы Ti–Al–Nb при сохранении фазового состава (Ti_2AlNb , B2-фаза и Ti_3Al) приводит к расщеплению основных отражений на более ярко выраженные пики Ti_2AlNb , Ti_3Al и B2, повышению их интенсивностей и уменьшению ширины большинства пиков, т.е. γ -облучение способствует формированию особого радиационно-индуцированного состояния. Также наблюдается изменение микро-структуры SPS-продуктов.

Анализ особенностей СВС в подготовленных смесях системы Ti–Al–C позволяет сделать вывод о том, что воздействие γ -квантов приводит к стабилизации продуктов реакции: интенсивность отражений MAX-фаз (Ti_2AlC , Ti_3AlC_2) увеличивается, пики сужаются, уровень диффузного фона уменьшается.

Работа выполнена в рамках государственного Задания FZMM-2023-0003.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Полькин И. С., Колачев Б. А., Ильин А. А. Алюминиды титана и сплавы на их основе // Технология легких сплавов. – 1997. – № 3. – С. 32–39.

- [2] Ляхов Н. З., Талако Т. Л., Григорьева Т. Ф., отв. ред. О. И. Ломовский. Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе : монография. – Новосибирск: Параллель, 2008. – 168 с.
- [3] Собачкин А. В. Стимулированный высокотемпературный синтез в структурно-измененной порошковой смеси на основе системы Ti–Al : дис. ... д-ра тех. наук : 1.3.8 / Собачкин Алексей Викторович. – Барнаул, 2025. – 329 с.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DECOMMISSIONING TECHNOLOGIES
FOR SODIUM-COOLED FAST REACTORSDONG Jingya, PIAO Jun, WANG Rongdong, ZHU Qingfu*Department of Reactor Engineering Technology, China Institute of Atomic Energy, Beijing, China*

Decommissioning is a critical phase in the full life-cycle management of nuclear reactors. Compared to the widely implemented decommissioning projects of water-cooled reactors worldwide, sodium-cooled fast reactors present distinct challenges, including extended timelines, significant costs, and unique technologies for handling alkali metals. This report systematically reviews the current state of sodium-cooled fast reactor decommissioning technologies and the progress China has made in this field, especially in disposal of radioactive sodium and dismantling of sodium contaminated facilities. Drawing on global experience in implementing sodium-cooled fast reactor decommissioning projects, the report summarizes the technical process involved and offers recommendations for the planning and execution of future sodium-cooled fast reactor decommissioning efforts.

MODELING OF THE INTERACTION BETWEEN FAST NUCLEAR REACTOR
CORIUM PROTOTYPE AND SODIUM COOLANT AT THE “EAGLE” TEST BENCHK. O. Toleubekov, M. K. Bekmuldin, A. S. Akaev, E. A. Martynenko*Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

One of the ways to improve safety of the nuclear reactors is to prevent emergencies and reduce the consequences of severe accidents. In particular, in the event of a severe accident in a sodium-cooled reactor, the core may melt to form corium - a melt of nuclear fuel, structural and cladding materials [1].

Several research have been conducted on the “EAGLE” test bench as part of various programs focused at studying processes occurring during severe accidents involving core melting in sodium-cooled fast reactors so far [2]. At the same time, due to the accumulation of experimental data and in order to ensure high-quality research, the development of computational methods for analyzing the interaction between corium and the sodium coolant in fast reactors has become increasingly relevant [3].

In this context, the present study presents the results of numerical modeling of aluminum oxide (Al_2O_3) melt fragmentation in a sodium coolant on the “EAGLE” test bench. The simulation is based on an experimental scenario in which aluminum oxide melt at a temperature of 2500 °C is discharged from the melting crucible into the upper melt trap of the experimental facility. After melting through a 1 mm thick steel wall, the melt flows through a drain pipe into the lower trap, which is fully filled with liquid sodium.

A two-dimensional axisymmetric thermophysical model of the experimental device was developed using the ANSYS software. The “Volume of Fluid” (VOF) and the solidification/melting models were used for modeling. The obtained results demonstrate the feasibility of using the developed methodology for analysis of the interaction between immiscible multicomponent liquids on the “EAGLE” test bench.

Funding

This research has been funded by the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24792713)

REFERENCES

- [1] Bagdasarov Y.E. Unanticipated accidents in sodium-cooled fast reactors // *At Energy*. – 2010. – Vol. 108. – Issue 3. – P. 165–169. <https://doi.org/10.1007/s10512-010-9272-5>
- [2] Imaizumi Yu., Aoyagi M., Kamiyama K. and et. al. Experiment and new analysis model simulating in-place cooling of a degraded core in severe accidents of sodium-cooled fast reactors // *Annals of Nuclear Energy*. – 2023. – Vol. 194. – 110107. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2023.110107>
- [3] Baklanov V.V., Baklanova Yu.Yu., Kukushkin I.M. and et. al. The process of fragmentation of model corium during interaction with the coolant // *NNC RK Bulletin*. – 2025. – Issue 2. – P. 57–63. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-2-57-63>

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИНИАТЮРНЫХ ОБРАЗЦОВ

Е. Е. Сапатаев, А. Н. Айткүмаров, Е. Б. Арынгазы, Б. Т. Оразымбеков

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

E-mail: sapatayev@nnc.kz, aitkumarov@nnc.kz, orazymbekov@nnc.kz, arynغازy@nnc.kz

Миниатюрные образцы представляют особую ценность при оценке свойств конструкционных материалов в ограниченных объемах, например, при анализе шовных соединений, зон локального нагрева или с накопленными радиационными повреждениями. Проведение испытаний на ползучесть с использованием таких образцов особенно актуально для прогнозирования работоспособности материалов в условиях высоких температур.

Длительные испытания на ползучесть аустенитной стали марки 12X18H10T выполнены с использованием миниатюрных образцов дисковой формы ($\varnothing 7,9 \times 0,50 \pm 0,01$ мм) по методу SPCT (Small Punch Creep Test). Основной целью работы была освоение методики определения параметров ползучести и длительной прочности материалов при повышенных температурах с применением миниатюрных образцов.

Для проведения испытаний подготовлено 10 миниатюрных образцов, изготовленных проволочно-вырезным методом с последующей финишной доводкой с помощью держателя Struers Accustop-30 и контроля толщины цифровым микрометром Mitutoyo QuantMike 293-66. Такой подход обеспечивает высокую точность геометрических параметров образцов, что критично для надежности результатов.

Испытания выполнены на испытательной машине HT-1500-S-CR при температурах 700 °C и 800 °C с приложением статической нагрузки 500 Н в атмосфере защитного газа (аргон). В ходе испытаний реализованы методические рекомендации по контролю параметров процесса: давления рабочего газа, перемещения пуансона, и статической нагрузки.

Для снижения влияния упругости нагружателя применены усечённые керамические шары диаметром 2,5 мм, что уменьшило риск повреждений в ходе длительных испытаний. Напряжение в зоне контакта пуансона и образца рассчитано по мембранной модели Chakrabarty и составило 258 МПа, что соответствует заданным условиям испытаний.

Длительные испытания миниатюрных образцов выявили классические три стадии ползучести. Время разрушения образцов составило 31,8 ч при 700 °C и 0,5 ч при 800 °C, что демонстрирует значительное ускорение процесса ползучести с ростом температуры. Средняя скорость ползучести на прямолинейном участке кривой при 700 °C равна 0,0022 мм/ч, при 800 °C – 0,25 мм/ч.

Полученные результаты подтверждают работоспособность методики длительных испытаний на ползучесть с применением миниатюрных образцов для оценки высокотемпературных свойств конструкционных материалов.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН BR24792713), финансируемой ГУ «Министерство энергетики Республики Казахстан».

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ МИНИАТЮРНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ СВАРНОГО ШВА

Е. Б. Арынгазы, Е. Е. Сапатаев, А. Н. Айткүмаров, Е. Ж. Ақболатов

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

Оценка прочностных и пластических свойств сварных соединений в ядерной и энергетической отрасли осложняется ограниченным объемом металла шва и зоны термического влияния. Дополнительную сложность создаёт необходимость исследования облучённых материалов, где работа с крупными образцами приводит к повышенному уровню радиоактивности и росту стоимости эксперимента. В этих условиях применение методики испытания миниатюрных образцов является актуальным и востребованным направлением.

Методика испытания миниатюрных образцов подтверждает свою эффективность для комплексной оценки свойств сварного шва. Она обеспечивает достоверность и сопоставимость данных с результатами стандартных

испытаний, при этом расширяя возможности анализа материалов в условиях ограниченного объема образца и повышенных требований к радиационной безопасности.

В работе для характеристики стыкового сварного соединения разных аустенитных сталей, выполненного аргонодуговой сваркой с неплавящимся электродом, была применен метод испытания на растяжение миниатюрных образцов типоразмера SS-J3 [1]. Испытания миниатюрных образцов на растяжение проводились на базе универсальной испытательной машины Instron 5966 с применением захватных приспособлений [2]. Испытуемые образцы в количестве 12 шт. отобраны из зоны сварного соединения проволоочно-вырезным способом на электроэрозионном станке.

В результате применения испытания миниатюрных образцов для характеристики сварного соединения разных аустенитных сталей удалось установить прочностные и пластические характеристики отдельных зон (шва и ЗТВ) и выявить их изменение поперек сварного соединения.

Разработка методики испытания миниатюрных образцов выполнена при финансовой поддержке ГУ «Министерства энергетики в Республике Казахстан» в рамках научно-технической программы (ИРН BR 24792713), а объект испытания был предоставлен рамках этапа контроля качества сварных соединений по проекту «SAIGA».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gussev M.N., Howard R.H., Terrani K.A., Field K.G. Sub-size tensile specimen design for in-reactor irradiation and post-irradiation testing. Nuclear Engineering and Design, 320 (2017), pp. 298–308.
<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.06.008>
- [2] Патент РК на изобретение №32350. Захват для крепления микрообразцов при испытании на растяжение / В.В. Бакланов, Е.Т. Коянбаев, М.К. Скаков [и др.]. – № 32350; опубл. 31.08.2017, Бюл. №16.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА КОРИУМА С КЕРАМИКОЙ Al_2O_3 И ВСТАВКОЙ ИЗ Sb

М. К. Бекмулдин, А. С. Акаев, А. В. Микиша, К. О. Толеубеков

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

Одним из главных барьеров, препятствующим выходу кориума в окружающую среду, является устройство локализации расплава или ловушка расплава. Ловушка расплава должна принять и не допустить выход параметров кориума за критические значения, обеспечив его охлаждение и удержание в контролируемом объеме [1].

В настоящем исследовании авторами было рассмотрено взаимодействие кандидатного материала ловушки расплава на основе оксида алюминия и металлической сурьмы в условиях физического моделирования внекорпусной стадии развития тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.

Крупномасштабный эксперимент был проведен на установке «Лава-Б» [2–3]. Экспериментальное устройство (ЭУ) для проведения исследований состояло из бетонной ловушки, дисков и цилиндров из оксида алюминия и сурьмы. В бетонной ловушке цилиндры из оксида алюминия устанавливались на диски из оксида алюминия и формировали экспериментальную полость – керамический стакан, внутрь которого на половину диаметра засыпались фрагменты сурьмы в виде кусочков металла.

Получение расплава прототипа кориума проводилось в электроплавильной печи (ЭПП) установки «Лава-Б» и осуществлялось в несколько этапов для обеспечения равномерности нагрева шихты в тигле. Общая масса шихты для получения кориума составила 25,5 кг (UO_2 – 16,5 кг, Zr – 7,5 кг, ZrO_2 – 1,5 кг). Отключение индукционного нагревателя выполнялось после достижения требуемой температуры расплава и количества вложенной энергии к тиглю ЭПП. Далее производился сброс полученного расплава прототипа кориума в бетонную ловушку, оснащенную индукционным нагревателем для имитации остаточного энерговыделения кориума.

В результате проведения эксперимента было установлено, что взаимодействие прототипа кориума и кандидатного материала носит интенсивный характер. Бетонная ловушка после проведения эксперимента была частично разрушена. Разбор ловушки показал, что взаимодействие прототипа кориума и кандидатного материала привело к частичному формированию затвердевшего слитка. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение особенностей структурно-фазового состояния полученного материала.

Данное исследование финансировалось Министерством энергетики Республики Казахстан (НТП № BR24792713).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jungjae Lee, Jihun Kim, Taehoon Kim and et al. Overview of Ex-Vessel Cooling Strategies and Perspectives. Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting. Jeju, Korea, 18-19 May, 2017.
- [2] Nazarbayev N.A., et al. Study of the processes of severe accidents in reactor facilities. Scientific, Technical and Engineering Work to Ensure the Safety of the Former Semipalatinsk Test Site, 2016.
- [3] Bekmoldin M.K., Skakov M.K., Baklanov V. V., Gradoboev A. V., Akaev A. S., Toleubekov K.O. Experimental Simulation of Decay Heat of Corium at the Lava-B Test-Bench // Nuclear Technology. – 2023. – 210(1). – P. 46–54. <https://doi.org/10.1080/00295450.2023.2226539>

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАКТОРНОГО ГРАФИТА РАЗЛИЧНЫХ МАРОК МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

В. С. Бочков*, Ю. Н. Гордиенко, Ю. Ю. Бакланова, Қ. Қ. Самарханов, Ю. В. Понкратов

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

* E-mail: bochkovv@nnc.kz

В рамках Глобальной инициативы по снижению угрозы распространения высокообогащенного уранового топлива, на территории Республики Казахстан ведутся работы по конверсии исследовательских реакторов. Основная цель работы – нераспространение ядерных материалов за счет отказа от использования высокообогащенного урана (ВОУ) и перевода исследовательских реакторов на низкообогащенное урановое (НОУ) топливо.

В настоящее время НЯЦ РК совместно с АНЛ (США) рассматривают возможность перевода реактора ИГР с ВОУ на НОУ топливо с обогащением по U-235 менее 20%. Так, в 2023 году НЯЦ РК продемонстрировал возможность пропитки малогабаритных образцов графита солями урана. Для продолжения научно-исследовательских работ по разработке технологии изготовления НОУ топлива для реактора ИГР немаловажную роль имеет этап входного контроля кандидатного графита в качестве матрицы НОУ топлива.

В данной работе описана методика, а также представлены результаты исследования удельной теплоемкости и энтальпии кандидатных марок графита для изготовления НОУ топлива реактора ИГР – IG-110U и IG-430U (Toyo Tanso Co., Ltd, Япония).

Исследования теплофизических свойств графита различных марок проводились на установке ТиГрА в диапазоне температур от 0 °С до 1130 °С с использованием метода Сапфира. Выбор температурного диапазона продиктован граничными условиями эксплуатационных режимов работы реактора ИГР, при которых суммарное энерговыделение должно соответствовать проектным условиям безопасной эксплуатации реактора. Термогравиметрические эксперименты проводились в тиглях, изготовленных из того же графита, что и исследуемые графиты. Это позволило исключить методическую ошибку, связанную с возникновением паразитного эффекта, возникающего при измерениях с графитом, в области температур выше 600 °С.

В ходе экспериментов были получены временные зависимости теплового потока при линейном нагреве образцов со скоростью 10 °С/мин. Измеренные временные зависимости теплового потока подвергались первичной обработке, после чего были построены температурные зависимости удельной теплоемкости исследуемых образцов в диапазоне от 0 °С до 1130 °С. Интегрированием указанных зависимостей рассчитаны значения удельной энтальпии, с учётом погрешности измерений, составляющей не более 5%.

Полученные экспериментальные данные о теплоёмкости и энтальпии графитов IG-110U и IG-430U позволяют сделать вывод о различиях в термических свойствах этих материалов, что может быть связано с их структурными и технологическими особенностями. Эти результаты могут быть полезны для дальнейшей оценки термического поведения при высокотемпературных режимах эксплуатации. Сравнение с литературными данными, а также согласованность с результатами других исследований, подтверждают достаточную точность проведённых измерений.

Данное исследование проводилось в рамках рабочего задания 0J-30461-0030А «НОУ-топливо для конверсии реактора ИГР: Масштабное исследование», этап 30.1.3: «Входной контроль графита».

МЕТОД ICP-MS ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ МАТРИЦ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

О. С. Букина^{1,2}, Р. Р. Сабитова¹, С. Н. Светачев¹, Ю. Ю. Бакланова¹, В. В. Бакланов¹

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

Оценка химической стойкости матриц для иммобилизации жидких радиоактивных отходов основана на испытаниях выщелачиванием (ГОСТ 29114-91, ASTM C1220), где ключевым параметром является нормированный выход радионуклидов в раствор. Для анализа низких концентраций целевых радионуклидов необходимы высокочувствительные методы. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) является универсальным инструментом, обеспечивающим определение широкого спектра элементов, включая долгоживущие радионуклиды на ультраследовом уровне. В зависимости от анализируемого объекта для проведения такого анализа требуются свои процедуры пробоподготовки и химической сепарации изобарических и полиатомных интерференций.

Цель настоящей работы заключалась в апробации методического подхода к прямому определению долгоживущих радионуклидов в контактных растворах после выщелачивания цементных матриц методом ICP-MS с применением масс-спектрометра NexIon 1000 (PerkinElmer). Растворы представляли собой дистиллированную воду, в которой в течение различного времени (1, 3, 7, 10, 14, 21, 28 суток) выдерживались образцы цементной матрицы, изготовленной для иммобилизации с облученным уран-графитовым топливом высокого обогащения исследовательского реактора ИГР.

Ранее метод ICP-MS был отработан на пробах графита марок IG-110U и IG-430U после термического разложения при 1000–1100 °C по определению микропримесей в графите. Определялись концентрации Al, Mn, Fe, B, Si, Mg и Cu. Показана высокая чувствительность ICP-MS к определяемым микроэлементам. Выявлены аналитические сложности: без использования ячейки с газом некоторые элементы определяются с молекулярным наложением, нестабильность стандартов для Mg и Si, влияние фильтрации проб на результат.

Опыт анализа графита подтверждает потенциал ICP-MS для задач оценки стойкости матриц по результатам выщелачивания. Метод позволяет определять ультраследовые концентрации долгоживущих радионуклидов (Tc-99, I-129, и др.), контролировать миграцию значимых элементов. Использование ICP-MS с реакционной ячейкой и изотопного разбавления повышает точность и чувствительность до пг/л. Результаты ICP-MS исследований позволяют корректно ранжировать составы матриц и обосновать выбор технологии кондиционирования жидких радиоактивных отходов.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАНДАРТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАННОГО РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ИГР

Н. Е. Мухамедов, Г. А. Витюк, Д. Т. Жеңіс*, О. М. Жанболатов

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

* E-mail: zhengis@nnc.kz

В работе представлены результаты нейтронно-физических расчетов, направленных на обоснование параметров нестандартного топлива для проведения внутриреакторного облучения с заданными условиями в исследовательском реакторе ИГР. Цель исследований заключалась в определении режимных характеристик, обеспечивающих достижение требуемого уровня удельной мощности в топливе. Моделирование выполнено с использованием расчетного кода MCNP 6.2 и библиотеки ядерных данных ENDF/B-VII.0. Топливный столб был представлен в виде гомогенизированного объема с разделением на активную и бланкетные части, что позволило учесть основные геометрические и материальные параметры без детализированного описания отдельных таблеток. Обогащение активной части составляет 4,45%, плотность гомогенизированного топлива 6,35 г/см³, что позволяет имитировать плотность упаковки топливных таблеток для расчета энерговыделения.

В расчетах рассмотрены различные варианты эффективной плотности гомогенизированного топлива в диапазоне 6,05–6,35 г/см³, что соответствует различным условиям упаковки топливных таблеток. Установлено, что для достижения удельной мощности топлива 1,56 Вт/г требуется мощность реактора ИГР 5,09 МВт. При этом суммарное энерговыделение в активной зоне составит порядка 3054 МДж. Полученные результаты показывают, что изменение плотности топлива в указанном диапазоне не оказывает существенного влияния на энергетические показатели, а параметры облучения остаются в пределах эксплуатационных возможностей реактора.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ДЛЯ ИХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С. А. Должиков, Н. Е. Мухамедов, А. В. Пахниц, К. О. Толеубеков, Г. А. Витюк, А. С. Сураев

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

В процессе эксплуатации ядерных установок происходит «загрязнение» радионуклидами их технологического оборудования. В связи с этим, при проведении ремонтных работ, модернизации или вывода ядерных установок из эксплуатации образуется значительное количество радиоактивных отходов (РАО).

В настоящее время Казахстан, как и другие страны, обладающие ядерными технологиями, сталкивается с проблемой обращения с РАО. Большой объем РАО был накоплен в результате эксплуатации и вывода из эксплуатации реактора на быстрых нейтронах БН-350. Еще одним источником РАО в Казахстане является использование исследовательских реакторов в научно-технической деятельности, таких как ИВГ.1М, ИГР, РА, а также ВВР-К.

Основную часть накопленных РАО составляют металлические радиоактивные отходы (МРО). Они представляют собой различные металлы и сплавы, которые были использованы в технологическом оборудовании ядерных установок. Например, во временном хранилище реактора БН-350 накоплено большое количество ценных углеродистых и легированных сталей. При этом около 90 % общего количества сталей относят к низко- или среднерadioактивным отходам.

На базе филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК были проведены эксперименты по изучению возможности применения метода электрошлакового переплава для очистки радиоактивно загрязненного металла. Объектом исследования были стальные жаровые трубы экспериментального технологического канала реактора ИВГ.1.

Разработанная установка электрошлакового переплава была использована для проведения экспериментов. В результате проведения исследований были выявлены определенные закономерности и особенности извлечения радионуклидов из состава металлических радиоактивных отходов.

Проведенные исследования показали высокую эффективность очистки стальной радиоактивной трубы от урана и цезия. Уран не был обнаружен в составе исследованных образцов после переплава. Вероятнее всего, его концентрация в образцах была ниже минимально детектируемой величины в использованном гамма-спектрометре. Активность цезия в полученном слитке была значительно ниже исходной. В то же время, активность изотопа Со-60 сохраняется практически на исходном уровне и вероятнее всего обусловлена выбором флюса для электрошлакового переплава. Таким образом, поведение кобальта показало, что он плохо извлекается в выбранных режимах электрошлакового переплава.

Основная часть извлеченных радионуклидов (U-235 и Cs-137) переходит в шлак. Было замечено, что большое количество цезия задерживается с помощью специальных систем фильтрации.

Тем не менее, электрошлаковый переплав жаровых труб привел к снижению общей активности радиоактивных отходов. Это означает, что эксперименты показали принципиальную возможность возврата радиоактивно-загрязненных металлов в повторное использование методом электрошлакового переплава.

КОНСЕКВЕНЦИЯ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗА ПЕРИОД С 2021 ГОДА ПО 2025 ГОД В РЕЗУЛЬТАТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ УСТАНОВКИ ТОКАМАК КТМ

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

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

Токамак КТМ – уникальная научно-исследовательская электрофизическая тороидальная установка, основным назначением которой является получение высокотемпературной водородной плазмы. Плазма в установке удерживается не стенками камеры, а специально создаваемым комбинированным магнитным полем. Экспериментальные и теоретические исследования, проводимые на токамаке КТМ, вносят значимый вклад в процесс изучения физики плазмы и эффектов ее воздействия на кандидатные конструкционные материалы, что делает токамак КТМ важным звеном в мировом процессе развития термоядерной энергетики.

Для обеспечения радиационной безопасности при проведении экспериментальных работ на токамаке КТМ были решены основные инженерные задачи, направленные на исследование распределения и характеристики радиационных полей, что было достигнуто посредством мониторинга, регистрации, обработки и анализа статистических данных систем радиационного контроля, полученных за период с 2021 года по 2025 год.

Для принятия обоснованных решений и выработке рекомендаций согласующихся с законодательными требованиями Республики Казахстан по обеспечению радиационной безопасности для статистических данных были реализованы процессы их сбора, очистки и первичной статистической обработки, структурирования, организации и интерпретации полученной информации. Основные характеристики оперативного набора статистических данных подразумевают их распределение в хронологическом порядке, группировку по установленным контрольным точкам и учитывают динамичные и быстроменяющиеся условия продолжительности пусков и режимы энергетических нагрузок токамака КТМ.

Получение достоверных данных обеспечивалось регистрацией, снятием и обработкой показаний датчиков стационарной автоматизированной системы контроля радиационных полей (СКРП-КТМ) и дублирующей системы дозиметров ДТЛ-02, размещённых согласно закрепленным контрольным точкам измерений в местах с наиболее вероятным жёстким рентгеновским излучением при проведении экспериментов на токамаке КТМ.

Первичная статистическая обработка данных зафиксированных СКРП-КТМ, выявила необходимость регистрации контролируемых параметров как в пусковые, так и в межпусковые периоды работы установки токамака КТМ.

По результатам анализа статистических данных, было повторно подтверждено наличие неравномерности пространственного распределения излучения токамака КТМ. Для наглядной визуализации распределения радиационных полей, статистические данные были представлены в виде векторной диаграммы распределения значений мощности эквивалентной дозы (МЭД). Максимальные значения МЭД независимо от мощности пуска и его продолжительности достигаются в контрольной точке № 4 «17 сектор Z-0», с максимальным значением МЭД равным – 196,48 мЗв, следующие по величине значения МЭД фиксировались в контрольной точке № 3 «15 сектор Z-0» с максимальным значением, равным – 99,40 мЗв.

Консеквенция анализа статистических данных систем радиационного контроля, полученных за период с 2021 года по 2025 год, определяет дальнейшую необходимость в изучении и исследовании вопросов распределения и характеристики радиационных полей установки токамак КТМ для обеспечения радиационной безопасности.

ПРИМЕНЕНИЕ ТУК-19 ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОЯТ ИВГ.1М: РАСЧЕТНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Г. А. Витюк, Н.Е. Мухамедов, В. А. Витюк, Р. А. Иркимбеков,
О. М. Жанболатов, А. А. Куздеубай*, А. К. Мухамедиев

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

* E-mail: kuzdeubay@nnc.kz

В Национальном ядерном центре Республики Казахстан после конверсии исследовательского реактора ИВГ.1М актуализирован вопрос обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Одним из ключевых этапов является его транспортировка в соответствии с «Правилами транспортировки радиоактивных веществ и радиоактивных отходов».

В работе проведено обоснование безопасности транспортировки отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) ИВГ.1М в транспортном упаковочном комплекте (ТУК-19). Нейтронно-физические расчёты в коде MCNP5 показали, что при нормальных условиях и при аварийном затоплении водой эффективный коэффициент размножения не превышает допустимого значения ($k_{эфф} < 0,95$), что гарантирует ядерную безопасность.

Теплогидравлические расчёты с использованием ANSYS Fluent выполнены для оценки остаточного тепловыделения и температурного состояния ОТВС, универсального чехла и ТУК-19. Определено, что через 180 суток после останова реактора тепловой поток на поверхности ТУК-19 снижается ниже норматива (15 Вт/м²), а температура конструктивных элементов не превышает допустимые значения.

Радиационная безопасность оценивалась по мощности эффективной дозы гамма-излучения. Расчёты показали, что к 180-м суткам после останова реактора доза на поверхности ТУК-19 соответствует категории II (желтая) и удовлетворяет требованиям нормативов.

Таким образом, обращение с ОЯТ ИВГ.1М в универсальном чехле для ТУК-19 безопасно при условии выдержки не менее 180 суток после останова реактора. Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по обращению с ОЯТ энергетических реакторов будущих АЭС Казахстана.

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ И КОДЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ», ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОГО ДЛИТЕЛЬНОГО СУХОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ

**В. В. Лиханский, О. В. Хоружий, В. Г. Зборовский,
Т. Н. Алиев, К. Е. Улыбышев, Н. Н. Елкин**

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Согласно требованиям МАГ А ТЭ по условиям обращения с ОЯТ, например [1], необходимо обеспечивать радиационную и экологическую безопасность при обосновании и выборе технологии и технологических режимов. Для применения технологии длительного сухого хранения ОЯТ с выбранными конструкторскими решениями контейнеров и хранилищ нужно учитывать экологические условия местности, где предполагается расположение хранилищ. Требуется также обосновывать радиационную безопасность при обращении с ОЯТ на всех этапах длительного сухого хранения. Радиационная безопасность может быть обеспечена, если установленные условия хранения не допускают разгерметизации оболочек тепловыделяющих элементов – ТВЭЛов и ТВЭГов.

Технология длительного сухого хранения ОЯТ включает целый ряд этапов: «мокрое» хранение в бассейнах выдержки, сушку отработавших ТВС, перегрузку ОТВС, транспортировку в хранилище ОЯТ, длительное сухое хранение и транспортировку ОЯТ на заводы переработки после длительного срока хранения – 60–100 лет, см. например [2, 3].

В представленном докладе приводятся расчетные модели и коды, разработанные специалистами НИЦ «Курчатовский институт» в рамках договоров с АО «ТВЭЛ», по обоснованию безопасного обращения с ОЯТ на всех этапах длительного сухого хранения. Рассмотрены основные процессы, определяющие условия сохранения герметичности топливных элементов и радиационной безопасности при штатных режимах хранения и при нештатных аварийных сценариях. Обсуждаются результаты верификации расчетных кодов и развиваемых моделей и возможность расширения этих результатов на новые топливные композиции. Приводятся результаты аттестации расчетных кодов в надзорных органах РФ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14 (Rev. 1) Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management Vienna, 2022.
- [2] NUREG-1536 Revision 1, Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Systems at a General License Facility Final Repo1i, July 2010.
- [3] Extended dry storage and transportation model for evaluating vacuum drying adequacy, T. Ahn, H. Jung, P. K. Shukla, E. L. Tipton and K. Das, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555, USA, June 2013.

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВНОЙ СБОРКИ РЕАКТОРА ИВГ.1М ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Е. А. Мартыненко^{1,3}, М. К. Скаков², М. К. Бекмулдин¹, А. С. Акаев¹, К. О. Толеубеков¹

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

² Национальный ядерный центр РК, г. Курчатов, Казахстан

³ Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Одним из ключевых параметров, определяющих безопасность, эффективность и долговечность ядерного топлива в реакторе является обеспечение работы ТВЭЛов в заданных температурных режимах. В условиях, когда теплотехнические параметры в конструктивных материалах активной зоны не представляется возможным определить методами прямого измерения, успешно применяются программы, реализующие численные методы вычислительной гидродинамики. Также с помощью специализированных программ, реализующих численные методы, возможно спрогнозировать теплотехническое состояние топливных сборок и элементов активной зоны

при различных условиях работы, включая изменение регламентированных режимов охлаждения, внештатные и аварийные ситуации [1].

В работе представлены результаты моделирования температурного состояния тепловыделяющей сборки исследовательского реактора ИВГ.1М [2] с топливом низкого обогащения. Цель исследования состояла в построении и верификации компьютерной модели, которая позволяет определять распределение температуры теплоносителя и конструкционных материалов топливной сборки в осевом и радиальных направлениях. Исследования проведены с применением программного комплекса ANSYS Fluent [3], позволяющего проводить теплофизические расчеты методом конечно-элементного анализа. Для проведения теплофизических расчетов построена трехмерная расчетная модель, имитирующая сектор топливной сборки реактора. Сравнение полученных результатов моделирования теплового состояния тепловыделяющей сборки на номинальном режиме с экспериментальными данными подтверждает адекватность разработанной расчетной модели. С использованием разработанной компьютерной модели были проведены расчеты распределения температуры в тепловыделяющей сборке на проектных уровнях мощности работы реактора 35 и 60 МВт при консервативном подходе к условиям охлаждения. Получено распределение температуры в ТВЭЛах и теплоносителе. Определено, что при заданных режимах работы реактора температура сердечника и оболочки ТВЭЛов не превышает допустимых значений нормальной эксплуатации.

Разработанная компьютерная модель может быть использована для анализа процессов теплопереноса и гидравлики, а также для определения теплового состояния тепловыделяющей сборки реактора ИВГ.1М при различных режимах работы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Skakov M.K., Martynenko Ye.A., Yerdybayeva N.K., Akayev A.S., Bekmuldin M.K., Prozorova I.V. Thermal technological condition of IVG.1M research reactor core under various operating modes // Eurasian Physical Technical Journal. – 2024. – Volume 21. – No. 3(49). <https://doi.org/10.31489/2024No3/45-53>
- [2] Batyrbekov E., Vityuk V., Baklanov V., Gnyrya V., Azimkhanov A., Sabitova R., Prozorova I., Popov Yu., Irkimbekov R., Martynenko Ye. Power Start-Up of the IVG.1M Reactor with Low-Enriched Uranium Fuel: Main Results // Energies. – 2025. <https://doi.org/10.3390/en18123187>
3. ANSYS Fluent Workbench Tutorial Guide Release 2021 R2. (2021), ANSYS Inc., Southpointe.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ДУО СТАЛИ ПОСЛЕ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Л. А. Ерыгина¹, Н. М. Мухамедова^{1,2}, А. Ж. Миниязов^{1,2}, О. Өкен¹, А. А. Сабыртаева¹,
К. С. Шайкиева¹

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

На сегодняшний день увеличение эффективности работы и срока службы перспективных реакторов на быстрых нейтронах требует, прежде всего, повышения степени выгорания топлива до 18–20% без снижения параметров теплоносителя. Решение этих проблем неразрывно связано с разработкой радиационно-стойких конструкционных материалов, способных работать в активной зоне реакторов на быстрых нейтронах ($E > 0,1$ МэВ) при флюенсах до $2 \cdot 10^{16}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ до повреждающих доз от 160 до 180 сна в диапазоне температур 370–710 °С. В связи с этим, актуальным является разработка высокотехнологичных конкурентоспособных технологий производства радиационно-стойких металлических материалов, упрочненных наночастицами оксидов металлов.

Получение ДУО стали является одной из сложных задач физики твердого тела. Классические методы консолидации порошков приводят к агломерации, а также к укрупнению диспергированных наночастиц и потере прочности соединяемого материала [1].

В последнее время в качестве альтернативного метода консолидации металлических порошков ДУО стали используется метод искрового плазменного спекания (ИПС). В ДУО сталях, спеченных при высокой температуре методом ИПС, может быть достигнута смешанная микроструктура из мелких и крупных зерен [2]. Однако немало важным является исследования влияние ИПС на структурно-фазовое состояние металлических порошков ферритно-мартенситного класса, и в особенности эволюцию иттрия и его оксидов.

В настоящей работе для получения ДУО стали использовались механическая активация, искро-плазменное спекание в диапазоне температур от 1000 до 1500 °С, для анализа морфологии и фазового состава применялись методы SEM, XRD.

При проведении РФА анализа установлено, что основной фазового состава во всех образцах является твердая фаза Fe с ОЦК решеткой (α -Fe, Im-3m), структура матрицы сохраняется ферритной/мартенситной. Частицы упрочнителя Y_2O_3 (C2/m) обнаруживаются во всех образцах; их пики слабые, что согласуется с малым объемным содержанием. Дополнительно фиксируется оксидная фаза Fe_3O_4 (Fd-3m) с кубической кристаллической решеткой в малых количествах и ее вклад варьирует между образцами.

В образце, полученном при температурах 1000–1300 °С, структура не сформирована полностью, наблюдается недостаточная плотность, местами заметны включения, свидетельствующие о локальной неоднородности. При увеличении температуры до 1400 °С поверхность материала плотная, структура зеренная, распределение зерен равномерное. Однако при повышении температуры до 1500 °С происходит рост зерен и наблюдается начало процессов рекристаллизации, что может снижать прочность, но повышать пластичность.

Таким образом, впервые в Казахстане были получены лабораторные образцы ДУО стали методом ИПС. Установлено, что для получения плотной зеренной структуры оптимальным режимом является температура 1400 °С и давление на образец 2 МПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан в рамках проекта научно-технической программы BR 24792713 «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Naimi, F. Approches Scientifiques et Technologiques du frittage et de L'assemblage de Matériaux Métalliques par Frittage Flash. Ph.D. Thesis, Université de Bourgogne, Dijon, France, 26 November 2013.
- [2] B. Mouawad, X. Boulnat, D. Fabrègue, M. Perez, Y. de Carlan, Tailoring the microstructure and the mechanical properties of ultrafine grained high strength ferritic steels by powder metallurgy, J. Nucl. Mater., 465 (2015), P. 54–62

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЖРО В НЕТЕКУЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Э. Д. Ноқанова^{1,2}, О. С. Букина^{1,3}, Ю. Ю. Бакланова¹, Е. Т. Коянбаев¹, В. В. Бакланов¹

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

² НАО «Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) составляют значительную часть накопленных радиоактивных отходов в Республике Казахстан. Их образование связано как с эксплуатацией исследовательских и энергетических реакторов, так и с деятельностью предприятий по переработке урана и обращению с ядерным топливом. Эти отходы отличаются сложным многокомпонентным составом, высокой удельной активностью и представляют потенциальную опасность при длительном хранении в жидкой фазе, особенно в случае нарушения герметичности ёмкостей. В связи с этим актуальной задачей является разработка технологий, позволяющих перевести ЖРО в нетекучее состояние, что обеспечивает минимизацию рисков миграции радионуклидов в окружающую среду и повышение долговременной безопасности хранения.

Одним из наиболее перспективных подходов является применение сорбентов, обладающих высокой способностью к поглощению и удержанию жидких фаз. Использование сорбентов оправдано их доступностью, технологичностью и возможностью адаптации под различные составы ЖРО, варьируя соотношение сорбентов и ЖРО. Несмотря на такие особенности ЖРО, как высокое солесодержание и химическая активность, применение сорбентов показало хорошие результаты, удерживая жидкость и радионуклиды в объеме сорбента.

В работе представлена методика определения сорбционных характеристик материалов, проведены лабораторные испытания с имитаторами ЖРО, а также дана сравнительная оценка эффективности промышленных и опытных сорбентов. Наиболее высокую эффективность показал перлит марки М-100, обладающий значительной абсорбционной способностью и обеспечивающий надёжное удержание жидкости. Применение данного материала позволяет перевести ЖРО в устойчивое нетекучее состояние, что существенно снижает экологические и радиационные риски при их хранении.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования сорбентов при разработке технологий обращения с ЖРО в Республике Казахстан и создают основу для их внедрения в рамках проектов по выводу из эксплуатации ядерных объектов, включая РУ БН-350.

Работа выполнена в рамках ИРН BR24993140 «Научно-исследовательская работа по обоснованию выбора и реализации технологии переработки жидких радиоактивных отходов» при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национальный отчёт Республики Казахстан по Совместной конвенции о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами. – Астана, 2014. – 123 с.
- [2] Отчёт о научно-исследовательской работе по научному обоснованию возможности упрочнения жидких радиоактивных отходов реактора БН-350 с использованием сорбентов. – Курчатов, 2024. – 217 с.

МЕХАНИЗМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ КОРИУМА В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Э. Д. Ноқанова, О. С. Букина, Ю. Ю. Бакланова, А. С. Акаев, В. В. Бакланов

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

Длительное хранение кориума, образовавшегося в результате аварийного расплава активной зоны ядерного реактора, является одной из важнейших задач ядерной энергетики, напрямую связанной с обеспечением радиационной и экологической безопасности. Кориум представляет собой многокомпонентный высокотемпературный расплав, формирующийся при тяжёлых авариях и включающий в себя уран, цирконий, конструкционные материалы реактора, а также продукты их трансформации и распада радиоактивных изотопов. Его сложный состав и многообразие протекающих процессов делают изучение кориума особенно актуальным.

В условиях длительного хранения кориум подвержен естественному старению, сопровождающемуся окислением металлических фаз, фазовыми переходами, перераспределением элементов и изменением физико-химических и механических свойств. Понимание закономерностей этих процессов необходимо для прогнозирования долгосрочной стабильности материала и разработки безопасных стратегий его хранения.

Для исследования процессов старения кориума проведён комплекс экспериментальных и аналитических работ на установке «Лава-Б». В рамках экспериментов INVECOR, FDP, RT и В/С моделировались различные сценарии тяжёлых аварий: от разрушения активной зоны до взаимодействия расплава с бетонными и металлическими ловушками и последующего охлаждения водой. Температуры в опытах достигали 2600 °С, что позволило воспроизвести реальные тепловые нагрузки и процессы тепломассопереноса.

Структурно-фазовый анализ образцов выполнялся методом рентгеновской дифракции на дифрактометре *Empyrean (Panalytical)*. С использованием программного обеспечения *HighScore* и баз данных (*COD*, *PDF-2*) были идентифицированы основные фазы, уточнены параметры кристаллической решётки и выявлены твёрдые растворы сложного состава. Такая методика обеспечивает высокую чувствительность к изменению фазовой структуры при старении и позволяет отслеживать динамику трансформации кориума.

Результаты исследований имеют принципиальное значение для:

- прогнозирования долгосрочной стабильности кориума в условиях хранения;
- обоснования проектных решений по локализации расплава в реакторных установках;
- разработки рекомендаций по радиационной и экологической безопасности;
- верификации расчётных кодов, моделирующих тяжёлые аварии.

Таким образом, выявленные закономерности естественного старения кориума и отработанные методики фазового анализа формируют научную основу для разработки эффективных и безопасных решений по обращению с материалами тяжёлых аварий и минимизации рисков радиоактивного загрязнения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Frontiers – High-Temperature Characterization of Melted Nuclear Core Materials.*
- [2] *Corium (Nuclear Reactor) – an Overview.*

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ

Ю. А. Попов, И. В. Прозорова, Р. Р. Сабитова

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

Гамма-спектрометрический метод определения активности радионуклидов широко применяется в экологических, технологических и прикладных исследованиях, включая активационные методы дозиметрии и нейтронно-активационный анализ. При анализе образцов в стандартной таре (цилиндрические чашки, сосуды Маринелли и др.) калибровка детекторов осуществляется с использованием различных образцовых насыпных источников или жидких радиоактивных растворов (ОРР).

Актуальность исследования связана с тем, что при работе с образцами высокой плотности или нестандартной формы возникают трудности калибровки, из-за самопоглощения и геометрических отличий измеряемых образцов от стандартных источников. В практике активационной дозиметрии применяется калибровка детектора точечными образцовыми спектрометрическими источниками (ОСИ) с последующим введением поправок на самопоглощение и геометрию источника.

В данной работе представлен подход к численному моделированию фотонного источника нестандартной формы – спирально-стержневого твэла с уран-циркониевым сердечником реактора ИВГ.1М с использованием кода MCNP. Моделирование проведено с целью определения содержания урана в твэлах методом гамма-спектрометрии. Были рассчитаны коэффициенты поправки на самопоглощение гамма-квантов для образцов твэлов сложной геометрии, отличающихся поворотами вокруг своей оси и содержанием урана. Результаты моделирования позволяют сделать выводы о том, что различие поправочных коэффициентов самопоглощения для модели с максимальным и минимальным самопоглощением составляет в среднем 0,58% при одинаковом содержании урана и увеличивается по мере его дальнейшего роста.

Данный подход дает возможность моделирования множества ситуаций, встречающихся в практике гамма-спектрометрических измерений, а также позволяет легко оценить влияние изменения того или иного параметра на эффективность детектирования.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИНАА БЕТОНОВ НА РЕАКТОРЕ ИГР

С. Н. Светачев, Б. С. Медетбеков, И. В. Прозорова

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

С развитием атомной энергетики и планированием строительства АЭС в Республике Казахстан актуальной задачей становится предварительная оценка активационных характеристик строительных материалов, в частности, бетонов. При выборе компонентов бетонов такая оценка позволит минимизировать объем долгоживущих радиоактивных отходов, образующихся при выводе из эксплуатации объектов ядерной энергетики. Одним из наиболее точных методов определения содержания долгоживущих радионуклидов, образующихся при активации примесей в бетонах, является инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).

В данной работе представлены результаты облучательного эксперимента, выполненного на импульсном графитовом реакторе ИГР, с использованием сертифицированных стандартных образцов горных пород и осадков. Наведенная активность в образцах измерялась с помощью германиевого детектора (GC1518). Основной целью являлось определение пределов обнаружения и скоростей (n, γ) -реакций для реперных радионуклидов в планируемых условиях при дальнейших исследованиях бетонов.

Полученные пределы обнаружения позволили установить минимально необходимую массу навески для анализа реперных элементов, что важно при планировании экспериментов.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ПРОПИТКИ ГРАФИТА СОЛЯМИ УРАНА

Э. Ж.Токтаушев¹, И. М. Кукушкин¹, О. С. Букина^{1,2}, Ю. Ю. Бакланова¹

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

Реактор ИГР остаётся единственным в Республике Казахстан, не прошедшим конверсию на низкообогащенное урановое (НОУ) топливо. Предложенное ФГУП НПО «Луч» (Россия) НОУ топливо не прошло входной контроль и не было установлено в реактор. С целью создания собственного НОУ топлива для реактора ИГР специалистами филиала «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК используется новый подход к пропитке графитовых блоков соединениями урана. Для контроля процесса необходима методика количественного анализа концентрации и равномерности распределения урана.

Исследование проводится с целью определения концентрации урана в образцах, подвергнутых процессу пропитки, что необходимо для количественной оценки степени удержания урана в материале, оценки равномерности распределения урана в объёме образца и корректировки методики пропитки – уточнения условий (температурный режим, время экспозиции, состав пропитывающего раствора) и порядка выполнения этапов пропитки для минимизации краевого эффекта и достижения равномерного распределения урана в образцах. Равномерность оценивалась через коэффициент неравномерности по формуле:

$$K_n = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{cp}},$$

где C_{max} – максимальная концентрация урана в выборке, C_{min} – минимальная концентрация урана, C_{cp} – средняя концентрация урана. Такой подход позволяет выявить «краевой эффект» и зоны локальной перегрузки ураном.

Анализ проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре Supermini-200. Графитовые блоки (70×50×33,3 мм) разрезали на пластины размером 29×31×4 мм на станке G5000 без охлаждающей жидкости. На каждой пластине выполняли серию измерений с обеих сторон, включая послойное шлифование (0,25–2,5 мм) для выявления краевого эффекта.

Концентрация урана рассчитывалась с учетом углерода как балансного элемента. Обработка спектров велась в программном обеспечении спектрометра для качественного анализа. Для получения статистически значимых результатов расчет концентраций выполнялся с использованием результатов счета интенсивностей в режиме набора счета в фиксированных угловых положениях, соответствующих максимуму и двум фоновым точкам на аналитических участках спектров каждого для анализируемых элементов. Для повышения достоверности использовались повторные измерения с поворотом образца. Оценка количественного содержания производилась в настройках оксидного образца, при которых основной определяемый элемент U присутствовал в образце в виде оксида UO_3 .

Установлено, что уран распределяется как по объёму, так и на поверхности графитовой матрицы. Поверхностные слои характеризуются более высоким содержанием соединений урана. Методика позволяет количественно оценить профиль распределения элемента и глубину его проникновения, что подтверждает возможность использования подхода для исследования однородности пропитки.

Разработанный метод обеспечивает достоверную характеристику распределения урана в графитовых образцах и может применяться для контроля достижения требуемых параметров равномерности или однородности распределения топливного компонента в модельных образцах при отработке режимов и методов импрегнирования соединений урана в графитовые матрицы.

Секция 2

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА



STS-2025

Section 2

PROSPECTS OF HYDROGEN ENERGY AND CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION DEVELOPMENT

PROGRESS OF ACCIDENT ANALYSIS FOR ITER CN HCCB TBS

HU B., WANG Y., YE X., ZHAO F., CAO Q.

Southwestern Institute of Physics, Chengdu, China

Deuterium-tritium fusion reaction is considered the promising solution for the next generation of fusion reactors, necessitating substantial quantities of tritium as fuel. This demands tritium self-sufficiency within the fusion reactor. The tritium breeding blanket installed within the vacuum vessel of the fusion reactor is designed to verify the possibility of the tritium breeding technology and its maturity. In accordance with the local legislation in France, the blanket and its ancillary systems should undergo safety analysis to assess its safety during accident/incident scenarios. Chinese Helium Cooled Ceramic Breeder Test Blanket System, which is developed by scholars in Southwestern Institute of Physics, has been considered as the object of this study. In previous work, scholars within SWIP TBM team have conducted the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for identifying the Postulated Initial Events (PIE). With quantitative analysis, five typical events have been classified as design basis accidents. In this article, these accidents are simulated employing the best estimated code RELAP5/MOD3.4 to analyze the consequence. The results show that all of the accidents could be accepted according to the general acceptance criteria. The results would help scholars developing the design in the preliminary design phase.

HYDROGEN ISOTOPE RETENTION IN PLASMA FACING COMPONENTS OF FUSION DEVICES

Yu. Gasparyan, V. Efimov, S. Krat, V. Kulagin, N. Ostojic, T. Solarevic, A. Umerenkova

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

** E-mail: ymgasparyan@mephi.ru*

A deuterium-tritium mixture will be a fuel for future fusion reactors. Therefore, tritium retention control is a critical issue. The efficiency of long-term hydrogen isotopes retention depends on the material of the plasma-facing components (PFC). The dominant mechanism of hydrogen accumulation may also be different for various materials.

In the case of materials with a low sputtering rate, such as tungsten, direct implantation of particles in PFC with subsequent diffusion deep in the bulk and trapping in lattice defects is expected to be a dominant mechanism. In this case, investigation of hydrogen interaction with radiation defects induced by neutrons is important for correct predictions. Despite the low solubility, the hydrogen concentration in tungsten can be quite high in the presence of radiation defects.

In the case of materials with a small atomic number, the sputtering rate of PFC can be quite high. A large contribution to accumulation of the working gas is made by the process of co-deposition that is trapping in continuously growing films in the zones of preferential deposition. A high concentration of hydrogen can be achieved throughout the film thickness, which leads to a high rate of integral accumulation of the fuel in the walls.

Tritium accumulation should not be a limiting factor in the case of tungsten PFC in the international experimental reactor ITER [1]. However, the design of fusion reactors will require more careful analysis, since the rate of hydrogen accumulation strongly depends on temperature, particle flux, and neutron flux.

The presence of impurities in the plasma can have a significant impact on the accumulation of hydrogen isotopes. Laboratory experiments show that addition of helium and neon reduces the hydrogen retention, while nitrogen and carbon, on the contrary, can lead to increased accumulation [2–4].

Control of tritium accumulation can become a very important issue when using innovative PFC approaches based on liquid lithium. It is known that lithium can accumulate large amounts of hydrogen, therefore it is necessary to develop methods for hydrogen removal. On the other hand, according to [5], a low hydrogen recycling can provide fundamentally new plasma confinement regimes.

REFERENCES

- [1] Roth J et al., J. Nucl. Mater. 390–391 (2009) 1–9.
- [2] Ueda Y et al., Fusion Engineering and design. 87 (2012) 136.
- [3] Ishida M., Lee H.T., Ueda Y. J. Nucl. Mater. 463(2015) 1062.

[4] O.V. Ogorodnikova et al., Phys. Scr. T145 (2011) 014034.

[5] L. Zakharov, Nucl. Fusion 59, 096008 (2019).

DIAGNOSTICS OF THE ELECTRON COMPONENT OF PLASMA BY THE THOMSON SCATTERING METHOD FOR THE KTM TOKAMAK

Ye. Kashikbayev^{1,2}, B. Chektybayev^{1,2}, G. Kurskiev³, I. Tazhibayeva¹,
D. Olkhovik¹, O. Stepanova², A. Duisen¹, S. S. Khamitov¹

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

² NP JSC “Shakarim University”, Semey, Kazakhstan

³ Ioffe Institute, Saint-Petersburg, Russia

In recent decades, research in controlled thermonuclear fusion has been actively advancing worldwide. The Kazakhstan Materials Science Tokamak (KTM) is a unique facility designed for large-scale testing of candidate materials and first-wall components for future fusion reactors. In addition, KTM contributes to international cooperation in support of the ITER experimental reactor program and plays an important role in the development of modern science and high technologies in Kazakhstan.

Among similar installations, KTM is distinguished by several technical and design features, including an aspect ratio of 2 and a movable divertor table with a transport airlock system [1]. These characteristics make it of particular interest for plasma physics research.

Comprehensive experiments on KTM require the use of advanced diagnostic systems. One of the most important is Thomson scattering diagnostics (TSD), which enables high-precision measurements of the spatio-temporal evolution of electron temperature and density profiles. The Thomson scattering method is widely employed on leading tokamaks worldwide [2]; however, its implementation must be tailored to the specific design of each facility. The unique configuration of KTM precludes the direct transfer of ready-made solutions, making the development of an original diagnostic scheme necessary.

This work is devoted to the conceptual design of a Thomson scattering diagnostic system for KTM. Its implementation is expected to provide reliable measurements of plasma temperature and density profiles, including in real time, thereby enabling the acquisition of unique experimental data. Development of the TSD is currently in progress, as it remains the most accurate and reliable method for determining these key plasma parameters.

The work was carried out within the framework of the scientific and technical program BR23891779 “Scientific and technical support of experimental research on the Kazakhstan materials science tokamak KTM” under the program-targeted funding of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] B. Chektybayev, S. Zhunisbek, I. Tazhibayeva, D. Olkhovik, E. Batyrbekov, D. Zarva, A. Korovikov, A. Lee, V. Pavlov, E. Kashikbayev, A. Zhaksybayeva, A. Duisen. Overview of the first experiments at KTM tokamak to obtain plasma discharges // Fusion Engineering and Design. – 2023. – Vol. 194. – 113847.
- [2] Zhiltsov, N. S., Kurskiev, G. S., Tolstyakov, S. Y., Solovey, V. A., Koval, A. N., Tkachenko, E. E., ... & Yashin, A. Y. Thomson scattering diagnostics at the Globus-M2 tokamak // Fusion Engineering and Design. – 2025. – Vol. 211. – 114753.

CURRENT STATUS OF ICRF HEATING SYSTEM COMMISSIONING ON THE KTM TOKAMAK

A. Kusainov¹, B. Chektybayev¹, A. Gulkin², D. Olkhovik¹, V. Savkin¹, S. Kotov¹, K. Zhenis¹

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

² RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan”, Kurchatov, Kazakhstan

The work presents the latest results of research on the commissioning of the additional RF plasma heating system for the KTM tokamak. According to the project specifications, supplementary plasma heating is to be achieved by delivering power in the ion cyclotron resonance (ICR) frequency range [1].

To this end, a dedicated RF heating system has been developed, comprising four identical generator modules. Each module includes an antenna system operating at a fundamental frequency of 13.0 ± 0.5 MHz, a power transmission line (feeder), and an RF generator with an output power of 2 MW.

The implementation of this RF heating system will make it possible to achieve the KTM tokamak's design discharge parameters: plasma current up to 750 kA, pulse duration of 5 s, central plasma temperature up to 3 keV, and divertor heat fluxes of up to 20 MW/m².

This work presents preliminary experiments conducted to test and tune the KTM RF system and to investigate its operating regimes using equivalent loads. The experimental conditions are outlined, and the results are discussed.

The work was carried out within the framework of the scientific and technical program BR23891779 "Scientific and technical support of experimental research on the Kazakhstan materials science tokamak KTM" under the program-targeted funding of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] Gulkin, A. V., Chektybayev, B. Z., Satibekov, A. N., Kusainov, A. T., Zhenis, K., Olkhovik, D. A., ... & Gubin, A. M. Optimization and preparation for the start-up of the plasma ICR heating system at the KTM tokamak // *Fusion Engineering and Design*. – 2024. – Vol. 206. – 114596.

STATUS OF RESEARCH ON THE KTM TOKAMAK

B. Chektybayev¹, E. Batyrbekov², I. Tazhibayeva¹, D. Olkhovik¹, D. Zarva²,
Ye. Kashikbayev¹, A. Duisen¹, A. Zhaksybayeva¹, S. Khamitov¹

¹ Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

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

³ NP JSC "Shakarim University", Semey, Kazakhstan

* E-mail: chektybaev@nnc.kz

One of the main objectives of research at the KTM tokamak is to study the interaction of structural materials with high-temperature plasma and to test candidate materials for key components of future thermonuclear reactors. Full-scale implementation of these tasks is planned once the operating plasma parameters are achieved using auxiliary high-frequency heating [1, 2].

The design parameters of the KTM include: plasma current up to 750 kA, single-null divertor configuration, toroidal magnetic field on axis of 1 T, and discharge duration of about 5 s. This paper presents the results of the latest experiments conducted at the facility. At the current stage, the studies were carried out in ohmic heating mode. To extend the discharge duration, the breakdown conditions were revised by using the nominal inductive magnetic flux of the central solenoid and reversing its current from +25 kA to –25 kA.

For the first time at the KTM, breakdown discharges were achieved starting from 25 kA in the central solenoid, which enabled stable plasma discharges with a divertor configuration in ohmic mode, making full use of the magnetic flux reserve of the solenoid. Discharges close to the nominal values were obtained, providing valuable experimental experience. These results form the basis for further experiments with ICRF plasma heating and for preparing full-scale materials science and plasma physics studies at the KTM complex.

The paper also provides an overview of current work at the KTM, including the development of new diagnostics, which are still at the design stage, but will soon expand the experimental capabilities of the facility.

This work was carried out within the framework of the scientific and technical program BR23891779 "Scientific and Technical Support of Experimental Research at the Kazakhstan Materials Science Tokamak KTM," funded under the program-targeted financing of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] Gulkin, A. V., Chektybayev, B. Z., Satibekov, A. N., Kusainov, A. T., Zhenis, K., Olkhovik, D. A., & Gubin, A. M. et al. Optimization and preparation for the start-up of the plasma ICR heating system at the KTM tokamak // *Fusion Engineering and Design*. – Vol. 206. – 114596.
- [2] Chektybayev, B., Tazhibayeva, I., Batyrbekov, E., Kashikbayev, Y., Olkhovik, D., Zarva, D., Khayrutdinov, R. et al. Improvement of plasma discharge performance at KTM tokamak // *Fusion Engineering and Design*. – Vol. 208. – 114684.

ADVANCING INTERMEDIATE-TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELLS WITH RARE EARTH-BASED MATERIALS

Konstantin V. Ivanovskikh, Vladislav A. Dybov, Vadim A. Eremin

*GIREDMET State Research and Design Institute of Rare Metal Industry, JSC,
ROSATOM State Atomic Energy Corporation, Moscow, Russia*

** E-mail: kvivanovskikh@rosatom.ru*

The global transition towards carbon-neutral energy systems requires the development of advanced and efficient conversion technologies. Among them, solid oxide fuel cells (SOFCs) are regarded as one of the most promising solutions, offering high electrical efficiency, direct fuel flexibility, and the ability to operate in both stationary installations and mobile platforms. However, conventional SOFCs typically operate at 800–1000 °C, which imposes severe limitations: slow start-up times, significant thermal losses, high material degradation rates, and the need for complex insulation systems. To overcome these barriers, a key strategic direction is the shift towards intermediate-temperature SOFCs (600–700 °C), which combine improved durability, simplified balance-of-plant, and dynamic responsiveness demanded by distributed energy networks, transport applications, and hydrogen-based infrastructures.

GIREDMET plays a central role in advancing this technological transition. The institute has decades of experience in the chemistry, metallurgy, and processing of rare and rare earth metals (REMs), which are indispensable in hydrogen energy technologies. Functional materials such as electrolytes, electrodes, interconnects, and catalytic layers rely heavily on REM-based compounds. Leveraging its expertise in producing high-purity rare-earth oxides, nanostructured composites, and specialized alloys, GIREDMET integrates materials science with electrochemical device engineering. This long-standing competence ensures that innovations in SOFC design are directly supported by reliable access to critical materials, positioning the institute at the forefront of the hydrogen economy.

The current project focuses on the development of metal-supported SOFC architecture operating in the intermediate temperature range. Thin-film electrolytes based on lanthanum gallate and gadolinium-doped cerium oxide are combined with nanostructured cathode and anode composites, achieving power densities above 0.8 W cm⁻² at 700 °C. Low-Chromium interconnectors with conductivities exceeding 100 S cm⁻¹ further reduce ohmic losses and enhance system efficiency. Unlike traditional electrolyte- or anode-supported zirconia-based cells, which require elevated operating temperatures and suffer from mass and thermal inertia, the metal-supported design provides superior mechanical robustness, high resistance to thermal shocks, and the best mass-to-power ratio among existing architectures. Such features enable compact, lightweight, and rapidly startable modules with capacities scalable from 100 W to 100 kW, well suited for backup power, mobile systems, and decentralized energy infrastructures.

In conclusion, the integration of advanced functional materials with modern SOFC architectures represents a significant step towards efficient, reliable, and industrially scalable hydrogen energy systems. By combining innovative electrochemical solutions with its unique expertise in rare earth materials, GIREDMET not only advances the state of SOFC technology but also strengthens the foundation for the broader hydrogen economy. This approach ensures that future energy systems will benefit from both higher efficiency and improved sustainability, while consolidating strategic technological competencies within the national scientific and industrial ecosystem.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО РАЗВИТИЮ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ В КТМ

К. И. Байструков^{1*}, В. М. Павлов², А. М. Ли², Ю. Н. Голобоков²,
А. А. Дериглазов², С. В. Меркулов¹, А. А. Мезенцев²

¹ ООО «ТомИУС-ПРОЕКТ», г. Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

** E-mail: baystrukov@list.ru*

Работы, проведенные в период 2023–2024 гг. по развитию и совершенствованию системы управления плазмой (СУП) КТМ, в том числе в рамках Программы АтомСНГ, позволили перейти к полноценным экспериментам с лимитерной и диверторной плазмой и достичь длительности разрядов до 2 секунд без применения источников дополнительного нагрева плазмы. Получены устойчивые диверторные конфигурации плазмы с током 500 кА и вытянутостью 1,7. Структура СУП (см. рисунок 1) включает три ортогональных контура

управления током, радиальным и вертикальным положением плазмы, реализованных на базе ПИД регуляторов. Развязка контуров управления плазмой достигается соответствующим выбором полоидальных обмоток для решения задач управления.

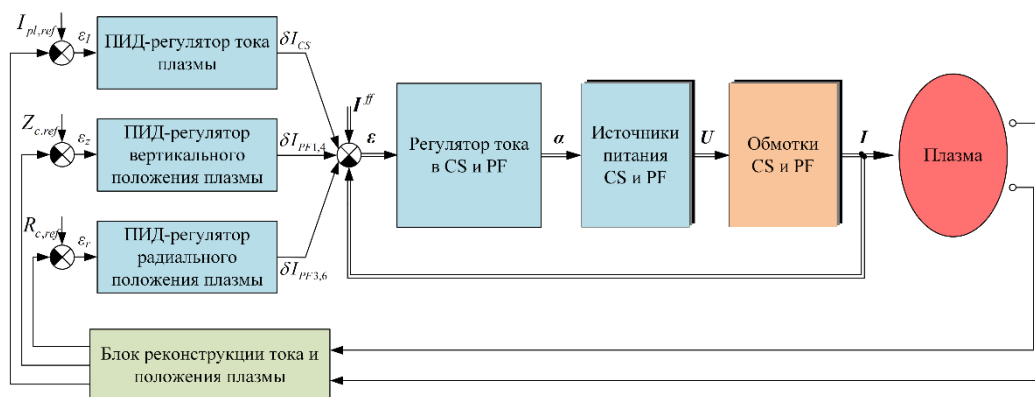


Рисунок 1. Структура системы управления плазмой КТМ

Среди основных результатов работ по развитию СУП можно выделить следующие:

- Реализован алгоритм управления токами в обмотках PF, позволивший повысить точность управления токами и добиться плавного перехода тока через ноль без токовой паузы.
- Проведена калибровка 160-ти измерительных каналов электромагнитной диагностики. Каждый канал калиброван для 16 доступных диапазонов измерения (коэффициентов усиления). Была достигнута точность (приведенная среднеквадратичная погрешность) $<0,1\%$ для большинства диапазонов измерения. Уточнены координаты положения датчиков электромагнитной диагностики и, как результат, повышена точность измерения параметров плазмы в разрядах.
- Выполнена настройка многосвязного регулятора тока в обмотках КТМ, улучшена развязка контуров управления токами в обмотках электромагнитной системы.
- Проведена настройка регуляторов управления плазмой, что позволило добиться высокой повторяемости разрядов с устойчивой диверторной конфигурацией плазмы.

Планируемые в дальнейшем работы сосредоточены на синтезе регулятора формы плазмы с включением его в структуру СУП, на реализации контура управления плотностью плазмы и на усовершенствовании вычислительных процессов в системе.

ВЛИЯНИЕ Ar^+ НА УДЕРЖАНИЕ ДЕЙТЕРИЯ В ВОЛЬФРАМЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ПЛАЗМЕННОМ ОБЛУЧЕНИИ

А. Ж. Миниязов^{1,2}, Ф. К. Жанболатова^{1*}, Н. М. Мухамедова^{1,2}, И. А. Соколов^{1,2}

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

* E-mail: kaiyrdy@nnc.kz

По результатам исследований последнего десятилетия установлено, что наибольший тепловой поток на дивертор в термоядерном реакторе составит $10\text{--}20\text{ МВт/м}^2$ [1]. Данные значения получены с учетом специальных мер по снижению тепловой нагрузки [2]. Одним из широко известных методов снижения тепловой нагрузки в области дивертора является введение примесных (затравочных) инертных газов [3, 4].

В настоящей работе представлены результаты исследования изменений морфологии поверхности W и удержания в нем D после последовательного облучения ионами Ar^+ и D-плазмой. Эксперименты по облучению вольфрама осуществлялись на плазменно-пучковой установке [5]. Анализ модификации поверхности вольфрама проводился методами сканирующей электронной микроскопии и контактной профилометрии. Для исследования удержания D в W применялся метод термодесорбционного анализа, совмещенный с регистрацией выделяемых газов с помощью квадрупольной масс-спектрометрии.

В результате проведенных исследований было установлено, что на поверхности вольфрама после облучения Ar наблюдается «рельеф травления». Предполагается, что формирование рельефа происходит, в основном,

благодаря распылению поверхности за счет высокой энергии ионов по каскадному механизму. После облучения D-плазмой на поверхности вольфрама сохраняется развитый рельеф, характерный после облучения Ar. Установлено, что газовыделение происходит преимущественно в виде молекул HD. В образцах, подвергнутых предварительному воздействию аргоновой плазмы выявлены два типа ловушек: поверхностные с низкотемпературным пиком десорбции (~400 °C, $E_a \sim 166$ кДж/моль) и объемные с высокотемпературным пиком (~800 °C, $E_a \sim 270$ кДж/моль). Это указывает на то, что облучение Ar усиливает удержание слабосвязанного дейтерия на поверхности, но не исключает его проникновение и фиксацию в объеме материала.

Работа выполнена в филиале ИАЭ РГП НЯЦ в рамках научно-технической программы № BR23891779 по теме «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rieth M., Doerner R., Hasegawa A., Ueda Y. and Wirtz M. Behavior of tungsten under irradiation and plasma interaction // J. Nucl. Mater. – 2019. – Vol. 519. – P. 334–68
- [2] А.С. Кукушкин, А.А. Пшенов. Режимы работы традиционного дивертора в TRT // Физика плазмы. – 2021. – Т. 47. – № 12. – С. 1123–1129.
- [3] A. Kallenbach, M. Balden, R. Dux, T. Eich et al. Plasma surface interactions in impurity seeded plasmas // Journal of Nuclear Materials. – 2011. – Vol. 415. – Iss. 1. – P. S19-S26.
- [4] H.D. Pacher, A.S. Kukushkin, G.W. Pacher, V. Kotov, R.A. Pitts, D. Reiter. Impurity seeding in ITER DT plasmas in a carbon-free environment // Journal of Nuclear Materials. – 2015. – Vol. 463. – P. 591–595.
<https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2014.11.104>
- [5] I A Sokolov et al 2025 J. Phys.: Conf. Ser. 2984 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2984/1/012002>

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А. Ф. Ильющенко¹, А. И. Лецко¹, Ю. А. Ходыко¹, О. О. Кузнечик¹,
Б. Ж. Чектыбаев², А. Ж. Миниязов², И. Л. Тажибаева²

¹ Институт порошковой металлургии им. акад. О. В. Романа, г. Минск, Беларусь

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

Генерация больших объёмов энергии для нужд современного общества остаётся одной из важнейших мировых проблем. Одним из перспективных направлений её решения является управляемый термоядерный синтез (УТС), который по сравнению с делением в ядерных реакторах отличается более высоким уровнем безопасности, меньшими экологическими рисками и значительным энергетическим потенциалом. Для координации международных усилий в создании термоядерных установок реализуется проект ITER, объединяющий 35 стран, включая Республику Казахстан. Казахстан принимает участие в этом проекте, располагая уникальным материаловедческим токамаком КТМ.

Для объединения научного потенциала стран СНГ Казахстан инициировал межгосударственную Программу исследований на токамаке КТМ. На данном этапе совместные работы Национального ядерного центра РК и Института порошковой металлургии им. акад. О.В. Романа направлены на разработку перспективных материалов защиты стенок термоядерного реактора, обращённых к плазме. В работе внимание уделяется применению методов порошковой металлургии для получения материалов с заданной капиллярно-пористой структурой, обеспечивающей возможность заполнения жидким металлом.

В числе перспективных материалов рассматриваются соединения TiC, TiB₂ и композиции TiC/TiB₂. Для их получения предлагается сочетание традиционных методов порошковой металлургии (прессование, спекание, термоупрочняющая обработка) с современными технологиями: механоактивацией, самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, электроимпульсным спеканием и горячим изостатическим прессованием. Дополнительно предполагается исследовать возможность аддитивных технологий, в частности металлургической 3D-печати на основе селективного лазерного сплавления, в комбинации с химико-термическим упрочнением, что позволит формировать требуемую капиллярно-пористую структуру и повысить эксплуатационные характеристики материалов защиты.

ПРОБЛЕМАТИКА РАСЧЁТА ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИИ СМЕЩЕНИЯ АТОМОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКЕ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ЗАЩИТЫ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

А. Ф. Ильющенко, А. И. Лецко, Ю. А. Ходыко, О. О. Кузнецик

Институт порошковой металлургии им. акад. О. В. Романа, г. Минск, Беларусь

В рамках программ исследований, реализуемых на токамаке КТМ и в проекте ITER, особое внимание уделяется разработке перспективных материалов защиты стенок, обращённых к плазме. Такие материалы должны обладать высокой радиационной стойкостью, которая во многом определяется пороговой энергией смещения атомов (TDE) в их кристаллических решётках.

В работе рассмотрена проблематика расчёта TDE для материалов защиты. Проанализированы современные материалы (вольфрам, бериллий, углеродсодержащие композиты и др.), их радиационная стойкость и известные значения пороговой энергии смещения. В качестве основы расчёта предложено использовать модель френкелевской пары в рамках теории Кинчина–Пиза, дополненную описанием динамики межузельных атомов по Квасову и введением кулоновоподобной силы, оцениваемой через модуль упругости (по подходу Бадамшина). Такой метод рассматривается как развитие модели Борна для межатомных взаимодействий.

Полученные расчётные значения TDE отличаются от табличных на 5–15%, что связано с допущением о бездефектной решётке исходных материалов. Несмотря на упрощения, подход обладает новизной и позволяет ускорить оценку радиационной стойкости материалов защиты. В дальнейшем планируется разработка инженерной методики расчёта TDE для применения при проектировании перспективных плазменно-обращённых материалов термоядерных реакторов.

ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАГНОСТИКИ ДОПЛЕРОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ НА СФЕРИЧЕСКОМ ТОКАМАКЕ ГЛОБУС-M2

А. Ю. Токарев^{1*}, А. Ю. Яшин¹, А. М. Пономаренко¹, Н. С. Жильцов², Е. О. Киселев²,
Г. С. Курские², В. Б. Минаев², Ю. В. Петров², Н. В. Сахаров²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

² ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

* E-mail: tokarev_ayu@spbstu.ru

В настоящее время остро стоит проблема измерений параметров высокотемпературной плазмы установок с магнитным удержанием с хорошим пространственным и временным разрешением внутри области удержания. Одним из методов, позволяющих проводить такие измерения, является диагностика доплеровского обратного рассеяния (ДОР) [1], установленная на большом количестве установок. Она позволяет измерять скорость вращения плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях и связанное с ней радиальное электрическое поле, а также уровень флуктуаций концентрации. Таким образом, диагностика ДОР позволяет исследовать большое количество плазменных явлений и процессов, в которых участвуют данные параметры.

В докладе представлены результаты, недавно полученные диагностикой доплеровского обратного рассеяния, установленной на сферическом токамаке Глобус-M2 в ФТИ им. Иоффе [2]. Система ДОР позволяет определять параметры плазмы от сепаратрисы до середины малого радиуса установки благодаря использованию многочастотной схемы зондирования. Проведено исследование перехода плазмы в режим улучшенного удержания: обнаружено увеличение шира скорости на периферии плазмы одновременно с сокращением корреляционной длины турбулентности [3]. Исследовано поведение профиля скорости вращения плазмы во время режима работы токамака с периферийными локализованными модами (ELM) - показаны сильные различия между профилями во время и между срывами ELM [4]. Также проведен анализ режимов без ELM, но с развитием краевых гармонических колебаний (ЕНО), во время которых наблюдается смена направления скорости вращения плазмы, определена локализация области развития ЕНО [5]. Во время развития периферийных неустойчивостей наблюдается появление нитевидных структур в районе сепаратрисы – филаментов, которые оказывают влияние на сигналы диагностики ДОР и могут быть исследованы [6]. Приведены результаты обнаружения и локализации по малому радиусу установки альфвеновских колебаний [7]. Приводится одновременный анализ нескольких

частотных каналов диагностики ДОР для определения ширины магнитных островов и области развития тиринг-мод [8].

Настоящая работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере науки по проекту № FSEG-2024-0005.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Conway G.D. et al, Plasma Phys. Control. Fusion, 2004, 46, 951.
- [2] Yashin A.Y. et al, JINST, 2022, 17, C01023.
- [3] A. Ponomarenko et al 2024 Plasma Sci. Technol. 26 105101.
- [4] Tokarev, A.Y. et al. Plasma Phys. Rep. 50, 541–551 (2024).
- [5] Yashin A.Y. et al. #2682, 30th IAEA Fusion Energy Conference, 2025, China.
- [6] Yashin, A. et al. Sensors 2022, 22, 9441.
- [7] Ponomarenko A. M. et al. #2681, 30th IAEA Fusion Energy Conference, 2025, China.
- [8] Yashin, A., et al. Appl. Sci. 2023, 13, 3430.

АНАЛИЗ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕТАНА В УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОГО ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА

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

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

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

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

В условиях перехода к углеродно-нейтральной экономике водород играет ключевую роль, особенно в трудно декарбонизируемых отраслях [1]. Казахстан развивает стратегию низкоуглеродных технологий и расширяет водородное производство [2]. Одним из перспективных методов получения водорода и углеродных материалов является пиролиз метана. Эффективность этой технологии подтверждена нашими предыдущими исследованиями [3, 4].

В настоящей работе исследовался углерод, полученный при пиролизе метана в микроволновом разряде на установке ПМ-6 при мощностях 0,6, 1,0 и 1,4 кВт. Для анализа морфологии и пористости углерода применялись методы SEM, TEM, XRD, а также BET и ВЖН.

При 0,6 кВт получены материалы с высокой удельной поверхностью (~628 м²/г) и мезопористой структурой (до 5 см³/г), обусловленные рыхлой морфологией. Повышение мощности привело к укрупнению частиц, снижению пористости и формированию более упорядоченных, графитоподобных структур.

Таким образом, управление мощностью микроволнового разряда позволяет контролировать свойства углеродных материалов, что важно для создания энергоэффективных технологий, включая применение углеродных порошков в катализаторах, литий-ионных батареях и системах газоочистки, соответствующих стратегии устойчивого развития Казахстана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования проекта BR21882200 «Разработка и исследование инновационных технологий, материалов и устройств для производства, хранения водорода и генерации электроэнергии».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Global Hydrogen Review IEA. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>, (accessed 11 August 2025).
- [2] Strategy for achieving carbon neutrality of the Republic of Kazakhstan until 2060. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (accessed 10 January 2025).
- [3] M. Skakov, A. Miniyazov, T. Tulenbergenov, I. Sokolov, G. Zhanbolatova, A. Kaiyrbekova, A. Agatanova. Hydrogen production by methane pyrolysis in the microwave discharge plasma [J] // AIMS Energy. – 2024. – Vol. 12(3). – P. 548–560. <https://doi.org/10.3934/energy.2024026>
- [4] A. Miniyazov, M. Skakov, T. Tulenbergenov, I. Sokolov, N. Mukhamedova, A. Agatanova, A. Sabyrtaeva, T. Akhmedi, Structural evolution of carbon from methane pyrolysis in microwave plasma // Carbon Trends. – 2025. – Vol. 21. – 100552. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2025.100552>

ТЕХНОЛОГИИ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ» – ОСНОВА БУДУЩИХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ В ОБЛАСТИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

К. А. Джусь^{1*}, Е. С. Сафонов¹, В. Л. Константинов¹, Ю. А. Добровольский²

¹ Частное учреждение по обеспечению научного развития атомной отрасли
«Наука и инновации», Москва, Россия

² ООО «Центр водородной энергетики», Москва, Россия

* E-mail: kadzhus@rosatom.ru

Стратегической целью развития водородной энергетики в Госкорпорации «Росатом» являются реализация отраслевого потенциала в области технологий производства и применения водорода и промышленной продукции для водородной энергетики и способствование вхождению Российской Федерации в число мировых лидеров по использованию и экспорту данных технологий с обеспечением конкурентоспособности экономики страны в условиях глобального энергетического перехода. В настоящее время Госкорпорация «Росатом» обладает заделом и является технологическим лидером в области технологий производства, транспортировки, хранения и применения водорода и является одной из трех Компаний-лидеров в области водородной энергетики в соответствии с Соглашением с Правительством Российской Федерации от 16.01.2022.

Для достижения поставленных целей необходима консолидация усилий законодательных и исполнительных органов государственной власти, органов власти субъектов Российской Федерации, научного, научно-образовательного и предпринимательского сообщества по формированию благоприятного правового, инвестиционного и делового климата. Примером такого взаимодействия может служить сотрудничество двух Компаний-лидеров развития высокотехнологичного направления «Водородная энергетика» – Госкорпорации «Росатом» и ПАО АФК «Система». В рамках научно-технического сотрудничества осуществляется сотрудничество как по направлению реализации совместных НИОКР и запуска пилотных проектов, так и по повышению безопасности эксплуатации разрабатываемого оборудования и его совершенствованию. Кроме того, большое внимание уделяется подготовке инженерных кадров. Целью данного взаимодействия является развитие научно-технического потенциала Российской Федерации в области водородной энергетики для разработки, совершенствования и коммерциализации водородных технологий, обеспечения промышленной безопасности их применения, оценки и снижения негативного воздействия на окружающую среду, удешевления промышленного производства водорода и базового оборудования.

Важной задачей является создание нормативной базы, регулирующей данную деятельность. По вопросам нормативного регулирования ведется работа в рамках деятельности технического комитета 029 «Водородные технологии» (ТК 029). Подготовлены предложения по разработке нормативной документации, готовится методическая база с целью гармонизации документации с международными требованиями. Для минимизации рисков в нормативно-правовом поле и создания комфортных условий для инвестирования в технологии необходимо определение согласованных подходов в области нормативно-правового регулирования со странами-партнерами.

В краткосрочной перспективе основное внимание будет уделено НИОКР, нацеленным на ускоренное импортозамещение оборудования и компонентов, а также реализации пилотных проектов-демонстраторов технологий.

Для дальнейшего формирования долгосрочных инвестиционных предложений и соответствующих механизмов государственно-частного партнерства при реализации пилотных проектов требуется кооперация компаний из различных стран, в частности на базе создаваемой Евразийской технологической платформы по водородной энергетике.

КОМПОЗИТЫ $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$: НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АНОДОВ ДЛЯ Ni-MH АККУМУЛЯТОРОВ

С. Д. Мәлік¹, М. К. Скаков², А. Ж. Миниязов³, Ф. И. Мальчик¹

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

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

³ *Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан*

Никель-металлгидридные (Ni-MH) аккумуляторы сохраняют стратегическое значение в области устойчивой энергетики благодаря своей безопасности, экологичности и устойчивости к перезаряду, находя применение в гибридных электромобилях и портативной электронике. Благодаря высокому уровню безопасности их можно интегрировать в качестве стационарных систем хранения энергии из возобновляемых источников, в том числе для водородной энергетики. Однако их развитие сдерживается ключевыми недостатками анодных материалов, в частности, деградацией и медленной электрохимической кинетикой, свойственной водородаккумулирующим сплавам.

В данной работе представлен подход к улучшению анодов Ni-MH аккумуляторов с использованием двумерного карбида титана $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ (MXene), применение которого для классических водородаккумулирующих сплавов в Ni-MH системах ранее не исследовалось.

MXenes обладают уникальным сочетанием свойств: высокой металлической проводимостью, механической прочностью, гидрофильностью и настраиваемой химией поверхности. Ожидается, что благодаря этим свойствам MXene может одновременно выполнять функции проводящей матрицы и эффективного связующего, обеспечивая стабильность и высокую электрохимическую активность анода.

Наноструктурированные частицы LaNi_5 были синтезированы двухстадийным методом восстановления оксидов и в дальнейшем использованы для изготовления композитных электродов $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$ методом вакуумной фильтрации. Электрохимические характеристики композита $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$ сравнивались с традиционными электродами на основе связующего из политетрафторэтилена (ПТФЭ).

Морфологический анализ показал, что MXene формирует слоистую архитектуру и проводящую сетку, инкапсулируя частицы LaNi_5 . Это улучшает электрический контакт между ними и доступ электролита, в отличие от ПТФЭ, который действует как изолятор и ограничивает полное использование активного материала. Оптимальный состав ($\text{LaNi}_5:\text{MXene} = 80:20$) продемонстрировал разрядную емкость 225 мАч/г при токе 0,5С и 207 мАч/г при 10С. После 100 циклов при 1С было сохранено 43% от начальной емкости (падение с 235 до 100 мАч/г), тогда как аналог на основе ПТФЭ сохранил лишь 12% после 100 циклов (падение с 214 до 25 мАч/г). Анализ методом спектроскопии электрохимического импеданса подтвердил снижение сопротивления переносу заряда и увеличение плотности тока обмена для гибридных электродов $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$ по сравнению с их аналогами на ПТФЭ-связующем. Несмотря на значительное улучшение характеристик, стабильность электрода все еще ограничивается деградацией самой фазы LaNi_5 , в то время как компонент MXene продемонстрировал высокую электрохимическую стабильность в тех же условиях.

Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал систем «MXene–металлгидрид» и позволяет улучшить ключевые характеристики батареи: разрядную емкость, циклическую стабильность и снизить сопротивление переноса заряда. Это открывает путь к разработке высокопроизводительных и надежных водных аккумуляторов, которые могут быть использованы в качестве систем хранения энергии, полученной из возобновляемых источников.

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № BR21882200).

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ LaNi_5 ДЛЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

М. К. Скаков¹, Н. М. Мухамедова^{2,3}, А. Ж. Миниязов^{2,3}, А. А. Сабыртаева², О. Өкен²,
Ж. Н. Оспанова^{2,4}, Р. Е. Жақия^{2,3}

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

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

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

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

Вопросы развития водородных технологий или перехода к водородной энергетике входят в энергетические стратегии всего мира. Одной из основных причин, препятствующих широкому применению водорода в энергетике, является проблема его получения без углеродного следа, мобильного хранения и транспортировки. Одним из перспективных решений этих проблем является использование металлгидридов на основе интерметаллических соединений (ИМС), которые способны обратимо поглощать и выделять водород в зависимости от давления и температуры [1–3].

Сплавы на основе LaNi_5 известны уже давно, однако, получали их за счет легирования и термической обработки. Увеличение массовой доли сорбируемого водорода можно добиться легированием переходными и редкоземельными металлами, обеспечением наноразмерности гидридообразующим порошкам, усовершенствованием методологии синтеза гидридов на основе системы $\text{LaNi}_5\text{-Me}_x$, с учетом современных достижений технологических процессов.

В настоящей работе для получения материалов системы $\text{LaNi}_5\text{-Me}_x$ использовались механическая активация (МА), искро-плазменное спекание (ИПС) и последующее диспергирование, позволяющее разделять материал преимущественно вдоль границ фаз.

Полученные результаты демонстрируют, что комбинированное применение МС и ИПС является передовым инструментом для управления фазовым составом материалов, в частности на основе LaNi_5 . Доказано, что процесс ИПС эффективно способствует формированию интерметаллидных фаз (TiNi , LaNi_4Mn , LaNi_3Mn_2 , LaNi_4Co), обеспечивая их высокую кристалличность и снижение дефектов, накопленных в процессе МС, а диспергирование при 45 минутах обеспечивает тонкодисперсное состояние без изменения фазового состава.

Таким образом, впервые для системы $\text{LaNi}_5\text{-Me}_x$ была реализована комбинация методов МА, ИПС и диспергирования, позволившая определить оптимальные условия получения материалов для хранения H_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования проекта BR21882200 «Разработка и исследование инновационных технологий, материалов и устройств для производства, хранения водорода и генерации электроэнергии».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] I. Arto, I. Capellán-Pérez, R. Lago, G. Bueno, R. Bermejo. The energy requirements of a developed world // Energy Sustain Dev. – 2016. – Vol. 33. – P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>
- [2] D. Wiedenhofer, M. Lenzen, J.K. Steinberger. Energy requirements of consumption: Urban form, climatic and socio-economic factors, rebounds and their policy implications // Energy Policy. – 2013. – Vol. 63. – P. 696–707. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.035>
- [3] Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, О. Өкен, Ж. Н. Оспанова, А. А. Сабыртаева, К. С. Шайкиева, Т. Д. Ахмеди. Магний негізіндегі ұнтақ қоспасының морфологиясына механосинтез параметрлерінің әсерін бағалау // Вестник НЯЦ РК. – 2025. – Вып. 1. – С. 64–71. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-64-71>

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СИСТЕМЕ Mg-Al ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

А. Ж. Миниязов^{1,2,3}, Н. М. Мухамедова^{1,2,3}, Г.К. Уазырханова⁴, Ж. Н. Оспанова^{1,2,4}

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

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

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

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

В условиях глобального энергоперехода и формирования углеродно-нейтральной экономики особое внимание уделяется развитию водородной энергетики и созданию эффективных материалов для хранения водорода. Магний и его интерметаллиды представляют собой перспективный класс материалов, обладающий высокой водородной емкостью до 7,6% масс., экологической безопасностью и возможностью многократного использования [1]. Однако высокая термодинамическая стабильность гидрида магния (MgH_2) ограничивает скорость процессов гидрирования и дегидрирования. Одним из решений данной проблемы является легирование магния алюминием, что позволяет модифицировать фазовый состав, снизить энтальпию реакции и улучшить кинетику высвобождения водорода.

В настоящей работе исследовались интерметаллидные соединения системы Mg-Al, полученные методами механосинтеза в планетарной шаровой мельнице и искрового плазменного спекания [2]. Установлено, что алюминий существенно влияет на структурно-фазовое состояние образцов: определены температурные диапазоны стабильности фаз $Mg_{17}Al_{12}$ и Mg_2Al_3 , выявлено формирование субзеренной структуры и снижение размеров частиц до менее 100 нм при оптимальных параметрах синтеза массовое соотношение шаров к порошку 20:1 [3, 4].

Таким образом, легирование алюминием обеспечивает формирование наноструктурированных интерметаллидов Mg-Al с улучшенными термодинамическими и кинетическими характеристиками, что открывает возможности для их применения в водородной энергетике в соответствии с задачами устойчивого развития.

Исследование выполнено при поддержке грантового финансирования МНВО РК проекта AP19574566 по теме «Разработка материалов-аккумуляторов водорода на основе Mg-Ni-Ce» и стипендии Генерального директора НЯЦ РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Skakov, M.; Kozhakhmetov, Y.; Mukhamedova, N.; Miniyazov, A.; et al. Effect of high-temperature treatment on structural-phase state and mechanical properties of Ti-25Al-25Nb alloys // *Materials*. – 2022. – Vol. 15(16). – P. 5560. <https://doi.org/10.3390/ma15165560>
- [2] Mukhamedova N. M., Miniyazov A. Zh., Zhanbolatova G. K., Ospanova Zh. N., Sabyrtayeva A. A., Shaikieva K. S. Evolution of phase transformations in the Mg–Ni–Ce system after mechanical synthesis and spark plasma sintering // *Materials*. – 2025. – Т. 18. – № 9. – С. 2131. <https://doi.org/10.3390/ma18092131>
- [3] Kudiiarov, V.N. et al. Defect structure evolution in MgH_2 -EENi composites during hydrogen sorption/desorption // *Metals*. – 2025. – Vol. 15(1). – P. 72. <https://doi.org/10.3390/met15010072>
- [4] Мухамедова Н. М., Миниязов А. Ж., Өкен О., Оспанова Ж. Н., Сабыртаева А. А., Шайкиева К. С., Ахмеди Т. Д. Магний негізіндегі ұнтақ қоспасының морфологиясына механосинтез параметрлерінің әсерін бағалау // *Вестник НЯЦ РК*. – 2025. – Вып. 1. – С. 64–71. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-64-71>

МЕХАНИЗМЫ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ ДИСПЕРГИРОВАНИИ Mg-Ni-Ce

Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, А. А. Сабыртаева, О. Өкен, И. А. Соколов

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

Водородная энергетика рассматривается как одно из перспективных направлений развития «зеленой» энергетики, однако ее практическое применение ограничено проблемами эффективного и безопасного хранения водорода. Одним из перспективных решений этих проблем является использование металлгидридов на основе интерметаллических соединений (ИМС), которые способны обратимо поглощать и выделять водород в зависимости от давления и температуры. Среди ИМС особый интерес представляет магний благодаря низкой молекулярной массе и высокой гравиметрической емкости (~7,6 масс. %) [1].

В настоящей работе для получения материалов системы Mg-Ni-Ce использовались механический синтез (МС) и искро-плазменное спекание (ИПС), обеспечивающие формирование плотной микроструктуры с высоким содержанием интерметаллической фазы Mg_2Ni [2, 3]. Однако вследствие уплотнения материала при ИПС снижается его удельная поверхность взаимодействия, что отрицательно сказывается на кинетике сорбции. Для ее увеличения применялась технология диспергирования, позволяющая разделять материал преимущественно вдоль границ фаз.

Структурно-фазовые состояния спеченных и диспергированных материалов системы Mg-Ni-Ce исследовали методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Определение удельной поверхности и кинетических характеристик проводили с использованием анализаторов сорбции.

В результате диспергирования в течение 1 часа спеченный материал был переведен в тонкодисперсное состояние без изменения фазового состава. Увеличение длительности диспергирования до 2 часов привело к образованию крупных агломератов, изменению фазового состава и разрушению структуры материала [4].

Таким образом, впервые для системы Mg-Ni-Ce была реализована комбинация методов МС, ИПС и диспергирования, позволившая определить оптимальные условия получения материалов для хранения H_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP19574566 «Разработка материалов-аккумуляторов водорода на основе Mg-Ni-Ce»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Moradi and K. M. Growth. Hydrogen storage and delivery: review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis // Int. J. Hydrogen Energy. – 2019. – Vol. 44(23). – P. 12254–12269. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>
- [2] Nuriya Mukhamedova, Arman Miniyafov, Gainiya Zhanbolatova, Zhanna Ospanova, Aisara Sabyrtayeva, Karina Shaikieva. Evolution of Phase Transformations in the Mg-Ni-Ce System After Mechanical Synthesis and Spark Plasma Sintering // Materials. – 2025. – Vol. 18. <https://doi.org/10.3390/ma18092131>.
- [3] Н. М. Мухамедова, А. Ж. Миниязов, О. Окең, Ж. Н. Оспанова, А. А. Сабыртайева, К. С. Шайкиева, Т. Д. Ахмеді Мағнний негізіндегі ұнтақ қоспасының морфологиясына механосинтез параметрлерінің әсерін бағалау // Вестник НЯЦ РК. – 2025. – Вып. 1. – С. 64–71. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-64-71>
- [4] Mukhamedova, N., Miniyafov, A., Sabyrtayeva, A., Tulenbergenov, T., Oken, O. Dispersion of Sintered Mg-Ni-Ce Materials for Efficient Hydrogen Storage // Crystals. – 2025. – Vol. 15. – P. 743. <https://doi.org/10.3390/cryst15080743>.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

М. К. Скаков¹, И. А. Соколов^{2,3}, А. В. Градобоев⁴

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

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

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

⁴ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В термоядерных реакторах материалы первой стенки испытывают воздействие тепловых потоков до 5 МВт/м², нейтронного и ионного облучения [1]. Бериллий марки ТГП-56 рассматривается как перспективное покрытие панелей первой стенки благодаря своим эксплуатационным свойствам.

Цель работы является разработка физической модели для испытаний материалов и оценка ресурса бериллиевого покрытия при термическом и плазменном воздействии. На основе тепловых расчётов установлены диапазоны рабочих температур: ~360 °C при 2 МВт/м², ~800 °C при 4,7 МВт/м² и до 1200 °C при критических нагрузках. Эксперименты выполнены на плазменно-пучковой установке с электронным нагревом [2] и воздействием водородной плазмы при 10 и 100 импульсах продолжительностью 500 с.

Показано, что при температурах до 800 °C бериллий сохраняет стабильность поверхности и структуры, в то время как при 1200 °C наблюдаются эрозия, образование пористой структуры и существенная деградация. Фазовый состав не изменяется, основой остаётся гексагональная фаза бериллия [3].

Сделан вывод, что бериллий ТГП-56 обладает высокой стойкостью к термическому и плазменному воздействию и может эффективно применяться в качестве плазмообращённого материала первой стенки термоядерного реактора в рабочих режимах эксплуатации.

Работа выполнена в рамках реализации проекта грантового финансирования «Комитета науки МОН РК» AP08856026 «Экспериментальное исследование влияния критических тепловых нагрузок и плазменно-пучковых воздействий на облицовочный материал первой стенки ИТЭР».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Raffray A.R., Calcagno B., Chappuis P., Zhang Fu, Furmanek A., Jiming Chen [et al.] The ITER blanket system design challenge // Nuclear Fusion. – 2014. – Vol. 54. – No. 3. <https://doi.org/10.1088/0029-5515/54/3/033004>
- [2] Скаков М.К., Миниязов А.Ж., Бакланов В.В., Коянбаев Е.Т., Туленбергенев Т.Р., Соколов И.А., Жанболатова Г.К. Способ высокотемпературного отжига металлов и сплавов методом электронно-лучевого воздействия в вакуумной и газовой среде // Патент на изобретение №35911, бюллетень №42 опубликован 21.10.2022.
- [3] M. Skakov, E. Battybekov, I. Sokolov, A. Miniyazov, T. Tulenbergenov, Y. Sapataev, N. Orazgaliyev, O. Bukin, G. Zhanbolatova, Y. Kozhakhmetov / Influence of Hydrogen Plasma on the Surface Structure of Beryllium // Materials. – September 2022. – Vol. 15 (6340). <https://doi.org/10.3390/ma15186340>

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ОТКЛОНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКЕ

М. К. Скаков¹, Т. Р. Туленбергенев^{2,3}, А. Ж. Миниязов^{2,3},
Б. Ж. Чектыбаев², И. А. Соколов^{2,3}, А. В. Градобоев⁴

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

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

³НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

⁴Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В поддержку исследований на токамаке КТМ для проведения маломасштабных экспериментальных работ в области взаимодействия плазмы с поверхностью кандидатных материалов, а также тестирования диагностического оборудования в НЯЦ РК создана специализированная плазменно-пучковая установка (ППУ) [1–4].

Работа посвящена разработке электромагнитной системы отклонения первичного электронного пучка на ППУ. Система, состоящая из двух пар взаимно перпендикулярных катушек, обеспечивает двухмерное управление положением пучка, что позволяет снизить удельную тепловую мощность, увеличить общую мощность пучково-плазменного разряда (ППР), проводить нагрев и рекристаллизационный отжиг с минимальным градиентом температуры. Рассчитаны параметры катушек для создания магнитной индукции до 62,66 мТл. Визуально подтверждено отклонение электронного пучка на поверхности металлической пластины, подтверждающее работоспособность и функциональную гибкость электромагнитной системы при управлении.

Эксперименты в режиме ППР с применением системы отклонения электронного пучка и метода дифференциального коллектора (апертурный зонд) показали увеличение ионного тока с 9 мА до 12 мА при ускоряющем напряжении электронного пучка 5 кВ, давлении дейтерия 1 мТорр и амплитуде развертки 27,95 дБ.

Работа выполнена в Национальном ядерном центре Республики Казахстан в рамках научно-технической программы №BR23891779 по теме «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kazakhstan Material Testing Tokamak KTM Construction [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://www.nnc.kz/ru/news/show/348> (дата обращения: 22.03.2025 г.).
- [2] Патент РК на полезную модель № 2080. Имитационный стенд с плазменно-пучковой установкой / Колодешников А.А., Зуев В.А., Гановичев Д.А., Туленбергенев Т.Р. и др. – опубл. 15.03.2017. – Бюл. № 5.
- [3] Chektybayev B.Zh., Skakov M.K., Tulenbergenov T.R., Sokolov I.A., Miniyazov A.Zh., Zhanbolatova G.K., Nauryzbayev R.Zh. Measurement of plasma parameters in the PBI using the Langmuir probe // Fusion Engineering and Design. – August 2024. – Vol. 205. – 114546. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2024.114546>
- [4] Chektybayev B., Zhunisbek S., Kashikbayev Ye, Duisen A., Sokolov I., Tulenbergenov T. First spectroscopic studies in the plasma-beam installation // AIP Advances. – September 2024. – Vol. 14. – 095218. <https://doi.org/10.1063/5.0224254>

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНЕ: ОТ СИНТЕЗА К ИНТЕГРАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

К. К. Тургунова, Д. Өтеген, А. Н. Шадыкулова, С. Е. Жолдаякова

Атырауский филиал ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Атырау, Казахстан

Для достижения целей Парижского соглашения мировое сообщество активно разрабатывает технологические решения, способствующие энергетическому переходу к углеродной нейтральности. Развитие и внедрение «зелёных» технологий – на сегодняшний день, одна из главных и перспективных стратегий развития Республики Казахстан. Это поможет не только диверсифицировать экономику страны в разрезе углеводородного сектора, ликвидировать её зависимость от ископаемого топлива, улучшить основные социально-экономические показатели развития нашей Республики, но и продемонстрировать свои достижения мировому экономическому сообществу и научному миру.

Китай и Европа станут крупнейшими рынками водорода к 2050 году с совокупным спросом свыше 300 млн тонн (что составляет 45% от мирового спроса). Как известно, Казахстан расположен на пересечении Европы и Азии – это делает нас стратегически выгодной площадкой для экспорта водорода и водородных технологий в страны с высоким спросом на чистую энергию — включая Китай, Японию и государства Европейского союза, и особенно Германию. Для реализации этой цели была разработана и утверждена Концепция развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2030 года.

С 2022 года в ТОО «КМГ Инжиниринг» функционирует Департамент альтернативной энергетики, координирующий исследования в области водородной энергетики, включая производство, хранение, транспортировку и применение водорода в различных секторах экономики, а на базе Атырауского филиала была создана и введена в работу Лаборатория по исследованию водородных технологий.

Хранение водорода остаётся серьёзной научно-технической задачей, особенно с учётом требований к высокой плотности, безопасности и минимальным энергозатратам. Новый и перспективный метод хранения водорода является его абсорбция и десорбция в сплавах металлов при комнатных температурах и давлении. В лаборатории водородных технологий были разработаны и получены сплавы TiFe с использованием метода механического легирования. Эти материалы демонстрируют обратимую гравиметрическую плотность водорода на уровне 1,8 мас.%, а также хорошую сорбционно-десорбционную кинетику при температуре, близкой к комнатной.

В рамках исследований проводятся рентгенофазовый анализ, термогравиметрия, сканирующая электронная микроскопия и измерение РСІ-кривых. Параллельно ведётся подбор оптимальных условий синтеза с использованием планетарных мельниц и анализ параметров частиц в широком диапазоне размеров – от 17 нм до 2500 мкм.

Предлагаемый метод хранения водорода демонстрирует перспективность для эффективной абсорбции в металлические сплавы с низкими потерями при транспортировке в крупнотоннажных масштабах, в том числе с использованием железнодорожного транспорта. Экономическая обоснованность данного подхода обусловлена высокой обратимой ёмкостью и стабильностью материала при циклической нагрузке. Продолжение исследований в этом направлении позволит уточнить и оптимизировать термодинамические и кинетические характеристики системы, что создаст предпосылки для её масштабного внедрения в промышленную водородную инфраструктуру.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

MEASUREMENT OF THE FIRST WALL SURFACE TEMPERATURE
OF THE KTM TOKAMAK DURING EXPERIMENTSA. Duisen¹, B. Chektybayev^{1,2}, Ye. Kashikbayev^{1,2}¹ Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan² NP JSC "Shakarim University", Semey, Kazakhstan

One of the key challenges in developing fusion reactors is the selection of structural materials capable of withstanding the extreme conditions inside the vacuum chamber. The first wall of the reactor is subjected to powerful, non-uniform heat fluxes from high-temperature plasma, reaching tens of megawatts per square meter. These conditions place stringent demands on materials and pose a serious risk to the reliability of the entire facility.

To address this materials science challenge, the specialized research tokamak KTM was built and is now operational in Kazakhstan. It is designed both for plasma physics studies and for testing candidate materials for the first wall and divertor. It is expected that the facility will enable the reproduction of heat loads up to 20 MW/m² on material surfaces, thus simulating the operating conditions of future fusion reactors.

For temperature measurements of testing materials at KTM, Metis M318 and Metis M322 fiber-optic pyrometers are employed, along with a FLIR A655SC thermal imaging camera. The pyrometers operate in the near-infrared range, providing temperature measurements in the intervals of 150–1200 °C and 350–1300 °C. They are used primarily to monitor the heating of graphite tiles installed on the central column. The thermal imaging camera, installed in a upper vertical port of the vacuum chamber, is used to measure temperature distribution on the divertor surface. Operating in the far-infrared range, it records temperatures from –20 °C to +2000 °C with a resolution of 640×480 pixels and a frame rate of 200 Hz [1, 2].

This paper presents the first experimental results of temperature measurements of the KTM tokamak vacuum chamber plasma-facing materials obtained with IR diagnostics, as well as an assessment of the heat flux power on the surface of the divertor plates.

The work was carried out within the framework of the scientific and technical program BR23891779 "Scientific and technical support of experimental research on the Kazakhstan materials science tokamak KTM" under the program-targeted funding of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] Batyrbekov, E., Chektybayev, B., Sadykov, A., Skakov, M., Kashikbayev, E., Olkhovik, D., & Zhunisbek, S. Test Results of Active Thermography Method for Plasma-Wall Interaction Studies on the KTM Tokamak // Fusion Engineering and Design. – 2020. – Vol. 161. – P. 112014.
- [2] Chektybayev, B. Zh., Batyrbekov, E. G., Skakov, M. K., Sadykov, A. D., & Kashikbayev, E. A. On the possibility of improving the accuracy of thermal imaging measurements of candidate materials for the first wall of fusion reactors on the KTM tokamak // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear Fusion. – 2019. – Vol. 42(4). – P. 21–30.

IMPROVEMENT OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HIGH-VACUUM
GAUGES UNDER CONDITIONS OF USE AT THE KTM TOKAMAK

K. Zhenis, B. Chektybayev, A. Kusainov, V. Polkovnikov

Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

At the KTM tokamak, high-vacuum cold-cathode gauges of the IMG-100 type are used to measure the residual gas pressure in the vacuum chamber. Pressure measurement and monitoring are performed both during the technological preparation of the facility for experiments and throughout the entire experimental campaign.

Operational experience with these gauges at KTM has shown that their measurement accuracy degrades significantly over time, eventually leading to inoperability. This effect is caused by contamination of the gauge's working surfaces during vacuum chamber cleaning procedures and plasma discharges.

This work describes a method for cleaning and restoring the operability of IMG-100 gauges. The procedure includes removing contaminants from the working surfaces, reassembling the device, and verifying the readings on a vacuum test bench against a reference instrument. The developed approach made it possible to restore gauge performance to factory specifications or to values close to those of the reference gauge. Implementation of this method extends the service life of the gauges, improves the accuracy of pressure measurements, and reduces the costs associated with purchasing new instruments.

This work was carried out within the framework of the project IRN AP26103385, funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

FEATURES OF PREPARING THE KTM VACUUM CHAMBER FOR EXPERIMENTS

A. T. Saparov, B. Zh. Chektybayev, D. A. Olkhovik, V. S. Polkovnikov, V. I. Savkin

Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This paper discusses the features of the technological preparation of the KTM vacuum chamber (VC) for experiments on plasma discharge generation. Preparation includes evacuation and leak testing, baking of the chamber walls using ohmic and inductive heating, and glow discharge cleaning in various gases.

Baking of the VC walls makes it possible to effectively remove gases and moisture adsorbed in the chamber walls. Depending on the contamination of the VC inner surface, glow discharges are carried out in hydrogen, helium, or argon. To remove oxygen accumulated on the chamber walls during experiments, a glow discharge in hydrogen is used. For subsequent removal of hydrogen from the chamber’s internal components, a glow discharge in helium is applied. A glow discharge in argon is used to remove carbide films from the surface.

Mass spectrometric analysis of residual gases, performed upon completion of preparation, confirms a reduction in the concentration of water, oxygen, and carbon-containing impurities. As a result, the residual pressure reaches values in the range of $4 \cdot 10^{-7}$ Torr – $7 \cdot 10^{-7}$ Torr, which creates the necessary conditions for plasma discharge generation.

This work was carried out within the framework of project IRN AP26103385, funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

- [1] Obraztsov, I. S., Ryzhakov, D. V., Chektybaev, B. Zh., Olkhovik, D. A., Savkin, V. I., Polkovnikov, V. S., & Ibragimkhan, E. E. Preparation of the KTM tokamak vacuum chamber for experiments. // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Thermonuclear Fusion. – 2022. – Vol. 45(3). – P. 29–33.

FEATURES OF CURRENT MEASUREMENT AND PLASMA SHAPE RECONSTRUCTION USING ELECTROMAGNETIC DIAGNOSTIC SENSORS ON THE KTM TOKAMAK

S. S. Khamitov^{1,3}, B. Zh. Chektybayev^{1,3}, A. M. Li², V. M. Pavlov²,
Ye. A. Kashikbayev^{1,3}, A. Zh. Duisen¹, D. A. Olkhovik¹

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

² Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³ NJSC “Shakarim University”, Semey, Kazakhstan

Electromagnetic diagnostics (EMD) are the primary diagnostics for the KTM tokamak. The measurement data from EMD is used for both real-time plasma control during experiments and for offline analysis of experimental data. The EMD includes a wide range of sensors, including loop voltage sensors for measuring poloidal magnetic flux; magnetic probes for measuring the poloidal magnetic field; and Rogowski coils for measuring currents in the KTM electromagnetic system windings, as well as the plasma, vessel, and passive stabilization coil currents.

An important feature of the KTM tokamak is the presence of a massive conducting divertor structure located within the measurement perimeter of the EMD. This configuration precludes direct measurement of the plasma current. Consequently, dedicated reconstruction algorithms have been developed to account for this effect and to determine key plasma parameters, including current, position, and shape.

Accurate measurements of plasma current and position are essential for plasma control tasks. This challenge has been addressed through the use of moments of the current density enclosed by the measurement loop, with their values obtained from magnetic probe diagnostics. To enable reliable determination of plasma current and position, the current filament method was adapted, allowing the separation of plasma signals from those induced by the conducting divertor structure. The resulting algorithm has been integrated into the plasma control loop and has demonstrated its effectiveness in multiple experimental campaigns.

At present, the plasma shape reconstruction algorithm is applied exclusively for offline analysis of experimental data. Similar to the plasma current and position determination, the reconstruction relies on the current filament method, which enables the calculation of the vacuum magnetic field map and the determination of the plasma boundary position from diagnostic measurements. This approach accounts for the effects of eddy currents in the vacuum vessel, passive stabilization coils, and the divertor structure, with an observer employed to estimate the eddy current contribution. Plasma shape reconstruction utilizes signals from loop voltage sensors, magnetic probes, and Rogowski coils. The algorithm is implemented in the Plasma View software package, which is used on KTM to determine plasma shape, current, position, and other geometric parameters.

To enhance the accuracy of plasma parameter measurements, the EMD sensors were calibrated in order to refine their spatial position and orientation. During this process, an issue was identified: all sensor signals exhibited an additional magnetic field component induced outside the vacuum vessel at the connection points of the sensor cables to the ADC of the data acquisition system, resulting in systematic measurement errors. The magnetic probes and Rogowski coils installed on the vacuum vessel were found to be the most sensitive to this effect. In future work, measures will be undertaken to suppress the penetration of parasitic signals into the EMD measurement channels, which is essential for reliable implementation of plasma shape control.

This work was performed within the framework of the scientific and technical program BR23891779 “Scientific and technical support of experimental research on the Kazakhstan material testing tokamak KTM” under program-targeted funding from the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

NEW STRATEGY TO ENHANCE THE ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF METAL HYDRIDE ANODES BY 2D MXene MATERIAL

F. I. Malchik¹, S. D. Malik¹, M. K. Skakov², A. Zh. Miniyazov³

¹ Department of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

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

³ Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The widespread application of nickel–metal hydride (Ni–MH) batteries is limited by inherent anode drawbacks, including poor cycling stability and sluggish kinetics. The application of MXene-based synergistic strategies to classical hydrogen-storage alloys remains largely unexplored, representing a significant knowledge gap. Traditional binders such as PTFE further exacerbate these issues by increasing electronic resistance and limiting active-material utilization. At the same time, the high intrinsic safety of Ni–MH systems makes them well-suited for integration as stationary energy-storage units for electricity generated from renewable sources, including deployment within hydrogen-energy infrastructures.

In this study, we introduce a novel strategy to overcome these challenges by incorporating two-dimensional titanium carbide, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ (MXene), as a multifunctional anode component. LaNi_5 nanoparticles were synthesized via a two-step oxide reduction route. We hypothesized that the high conductivity and mechanical robustness of MXene would allow it to replace the conventional binder while simultaneously creating a durable conductive framework for the active particles.

Composite $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$ electrodes were fabricated by vacuum filtration, and their performance was systematically compared against traditional PTFE-based electrodes. The optimized composite (80:20 wt.%) delivered a high discharge capacity of 225 mAh/g at 0.5C and exhibited excellent rate capability, retaining 207 mAh/g at a high 10C rate.

Crucially, the cycling stability was dramatically enhanced. The MXene-based anode retained 43% of its initial capacity (from 235 to 100 mAh/g) after 100 cycles at 1C, whereas the PTFE counterpart retained a mere 12% (from 214 to 25 mAh/g). Electrochemical impedance spectroscopy confirmed this improvement is due to a significantly reduced charge-transfer resistance and an increased exchange current density. Morphological analysis revealed that MXene nanosheets form an interconnected conductive network that encapsulates the LaNi_5 particles.

The main results of this investigation are the improvement of Ni–MH performance by MXene incorporation in anode composition with commonly utilised LaNi_5 active material. Especially, cycling stability, specific capacity and rate

capability were improved. The same $\text{LaNi}_5/\text{MXene}$ composition can be utilised as a potential hydrogen storage material, which will be investigated in future studies.

This research is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882200).

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЛАВА $\text{Pb}(15,7\text{ат.}\%)\text{Li}$ С АКТИВНЫМИ ГАЗАМИ И ВОДЯНЫМ ПАРОМ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ю. Н. Гордиенко*, Ю. В. Понкратов, Т. В. Кульсартов, Э. Сапарбек,
В. С. Бочков, Е. Ю. Тулубаев, И. М. Кукушкин

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

* E-mail: gordienko@nnc.kz

Одним из ключевых аспектов при эксплуатации термоядерных реакторов (ТЯР) является обеспечение устойчивого и надежного воспроизводства трития в бланкетных системах на рабочих режимах термоядерной установки. Перспективным тритийгенирующим материалом для использования в жидкометаллических бланкетных системах ТЯР является свинцово-литиевая эвтектика $\text{Pb}(15,7\text{ат.}\%)\text{Li}$. Однако, в условиях эксплуатации термоядерного реактора этот материал будет подвергаться одновременному воздействию нейтронного облучения и высокой температуры, а при продувке жидкого металла гелием для извлечения из него трития свинцово-литиевая эвтектика будет взаимодействовать с O_2 , H_2 , H_2O , присутствующих в продувочном газе в качестве примесей в небольших количествах. Содержания примесей в продувочном газе может приводить к коррозии материала, деградации его свойств, снижению эффективности воспроизводства трития и соответственно снижению срока эксплуатации топливных элементов.

В работе представлена методология проведения экспериментального исследования взаимодействия сплава $\text{Pb}(15,7\text{ат.}\%)\text{Li}$ с примесными активными газами и парами воды при высоких температурах. Методология была разработана в рамках научно-технической программы, реализуемой в НЯЦ РК. Работы проводились на модернизированной установке ТиГрА, созданной на базе термогравиметрического анализатора TGA/DSC 3+ и объединяющей одновременно термогравиметрический анализ (ТГА), дифференциально-сканирующую калориметрию (ДСК) и масс-спектрометрическую регистрацию газовой фазы в реальном времени. Установка ТиГрА позволяет проводить испытания в диапазоне температур от 22 °С до 1500 °С с контролируемой скоростью нагрева (0,02–100 °С/мин) и точной регистрацией изменений массы образца (разрешение 0,1 мкг).

Методология включает:

- изготовление исследовательских образцов $\text{Pb}(15,7\text{ат.}\%)\text{Li}$;
- создание продувочной газовой среды с заданным процентным содержанием кислорода, водорода и паров воды различного изотопного состава (H_2O , D_2O);
- проведение методических экспериментов на установке ТиГрА;
- анализ полученных экспериментальных данных;

Разработанная методология обеспечивает достоверность и воспроизводимость результатов и может быть также применена для исследования других перспективных материалов бланкетов ТЯР. При использовании данной методологии полученные в будущих исследованиях экспериментальные данные позволят с большой достоверностью определить критические концентрации примесей, безопасные температурные режимы эксплуатации, а также разработать рекомендации по подготовке и очистке продувочного газа в системах тритиевого топливного цикла.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ППУ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ТРОЙНЫМ ЗОНДОМ ЛЕНГМЮРА

И. А. Соколов^{1,2}, Э. Ж. Қайырбекова^{1*}, Т. Р. Туленбергенов^{1,2}, Ғ. Қ. Жанболатова¹

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

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

* E-mail: kaiyrbekova@nnc.kz

Современные исследования в области физики плазмы и термоядерного синтеза предъявляют высокие требования к точности, надежности и воспроизводимости измерений параметров плазмы, таких как электронная температура, концентрация заряженных частиц и плазменный потенциал. Одним из эффективных средств диагностики низкотемпературной плазмы является тройной зонд Ленгмюра, позволяющий определять параметры плазмы без необходимости получения вольт-амперной характеристики. Это значительно упрощает и ускоряет процесс измерений по сравнению с классическими зондовыми методами.

С целью повышения эффективности и оперативности обработки данных была разработана автоматизированная система сбора, анализа и визуализации измерительной информации. Программное обеспечение реализовано в среде LabVIEW и обеспечивает:

- оцифровку сигналов с электродов через аналогово-цифровой преобразователь;
- расчет температуры электронов и концентрации плазмы по известным формулам;
- отображение результатов в реальном времени.

Архитектура системы включает блок-диаграмму с алгоритмами фильтрации и расчета, а также лицевую панель с элементами управления и индикации.

Разработанная система показала высокую степень интеграции аппаратных и программных компонентов, что позволило существенно повысить скорость и воспроизводимость измерений.

Ранее авторами работы [1] были выявлены важные факторы, влияющие на точность диагностики, такие как расстояние между электродами и степень ионизации газа. Эти параметры необходимо учитывать при интерпретации результатов и внедрении системы в постоянную эксплуатацию на плазменно-пучковой установке (ППУ). Для минимизации влияния указанных факторов была разработана конструкция тройного зонда, включающая три изолированных вольфрамовых электрода диаметром 0,4 мм, обеспечивающих совместимость с условиями вакуумной техники и воздействием низкотемпературной плазмы. Также, спроектирована и изготовлена конструкция подвижной измерительной головки.

Проведена наладка и предварительные эксперименты по измерению параметров плазмы. Полученные результаты представляют интерес для дальнейших исследований взаимодействия плазмы с конструкционными материалами.

Работа выполнена в филиале ИАЭ РГП НЯЦ в рамках программы №BR23891779 по теме «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ» и при поддержке стипендии Генерального директора РГП НЯЦ РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Миниязов А.Ж., Соколов И.А., Қайырбекова Э.Ж., Туленбергенов Т.Р., Жанболатова Ғ.Қ. Разработка и испытание системы диагностики на основе тройного зонда Ленгмюра на плазменно-пучковой установке // Вестник НЯЦ РК. – 2025. – Выпуск 1. – С. 21–27. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-1-21-27>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОГО ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА Sn70Li30 С ВОДОРОДОМ ПРИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗКАХ

Э. Сапарбек*, Ю. В. Понкратов, В. С. Бочков, Ю. Н. Гордиенко, Е. Ю. Тулубаев

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

* E-mail: saparbek@nnc.kz

Развитие термоядерной энергетики требует создания новых высокоэффективных материалов для первой стенки термоядерных установок. Жидкие литийсодержащие сплавы, в частности эвтектические сплавы Sn-Li, являются перспективными кандидатами на роль обращённых к плазме материалов (ОПМ) благодаря низкой температуре плавления, широкому диапазону жидкофазного состояния и высокой устойчивости к радиационным и тепловым нагрузкам. Критически важным аспектом их применения является понимание поведения их при взаимодействии с изотопами водорода (дейтерия и трития) в условиях работы будущих термоядерных реакторов (ТЯР).

В филиале ИАЭ НЯЦ РК ведутся исследования по взаимодействию изотопов водорода с различными литийсодержащими сплавами (PbLi, SnLi), с целью возможности использования их в качестве ОПМ в проектируемых ТЯР.

В проведенных исследованиях в качестве литийсодержащего материала был использован сплав Sn70Li30. Исследовательский образец данного сплава был синтезирован в специальном экспериментальном устройстве путем смешивания жидкого лития и жидкого олова в сверхчистой инертной среде с помощью ультразвукового излучателя. Данный метод обеспечил высокую степень гомогенности распределения металлов в сплаве за счет эффекта ультразвуковой кавитации.

Экспериментальные исследования взаимодействия сплава с водородом проводились методом сорбции/десорбции, в диапазоне температур от 200 °С до 700 °С. В результате проведенных работ были получены временные и температурные зависимости изменения парциальных давлений водородосодержащих молекул над образцом сплава Sn70Li30 в диапазоне исследуемых температур. Полученные экспериментальные данные проанализированы и определены основные параметры взаимодействия водорода с жидким сплавом Sn70Li30.

Результаты работы позволяют обосновать перспективность использования сплава Sn70Li30 в качестве ОПМ и служат базой для планирования дальнейших исследований в условиях плазменного и нейтронного облучения.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН-BR24792713).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ МАКЕТА МЛД В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Е. Ю. Тулубаев¹, И. Л. Тажибаева¹, Ю. Н. Гордиенко¹, Ю. В. Понкратов¹,
В. С. Бочков¹, А. Н. Служанов¹, В. Н. Вертков², М. Ю. Жарков²

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

² АО «НИКИЭТ», Москва, Россия

Отвод тепловых потоков с удельной плотностью 5–20 МВт/м², воздействующих на приёмные поверхности дивертора в установках управляемого термоядерного синтеза, представляет собой одну из ключевых технических задач. Одним из немногих материалов, потенциально способных выдерживать подобные тепловые нагрузки, является литиевая капиллярно пористая структура (КПС). Преимущества литиевых КПС в качестве плазмостойких материалов хорошо известны, однако их применение не позволяет полностью решить проблему отвода столь интенсивных тепловых потоков. Критически важным условием является поддержание температуры приёмной поверхности на уровне не выше 700 °С. Соблюдение данного температурного ограничения, при условии активного переосаждения испарённого лития, позволяет контролировать его поток в центральную плазму токамака на допустимом уровне. Эффективный отвод тепла от литиевого дивертора требует реализации специализированной системы охлаждения. Анализ эффективности традиционных теплоносителей (газообразный гелий, вода, жидкие металлы) показал, что характерный для однофазных теплоносителей конвективный механизм теплоотдачи не обеспечивает достаточного отвода тепловых потоков при допустимых

эксплуатационных параметрах давления и расхода, не нарушая требований ядерной и технологической безопасности.

В качестве альтернативного решения российскими исследователями было предложено использовать в системах охлаждения внутрикамерных устройств (лимитер, дивертор, первая стенка) термоядерных установок мелкодисперсную двухфазную смесь воды и газа при пониженном давлении. Эффективность и безопасность данного газовойодяного спрея в качестве теплоносителя были подтверждены в лабораторных испытаниях, а также в ходе плазменных экспериментов на токамаке FTU (Италия). Результаты испытаний продемонстрировали, что мелкодисперсный газовойодяной поток, обладающий высокой теплопередающей способностью, позволяет существенно снизить рабочее давление в системе охлаждения и обеспечить низкое содержание воды в объёме охлаждающих каналов.

В настоящее время объём экспериментальных данных, описывающих поведение данного теплоносителя в условиях плазменного воздействия, остаётся ограниченным. В нашей работе приведены кинетики охлаждения макета МЛД для теплоносителей на основе воздуха, воды и дисперсной смеси. Приведен расчет коэффициента теплоотдачи, дисперсной смеси для различных параметров охлаждения в условиях плазменного воздействия. На основе проведённых испытаний были определены оптимальные параметры охлаждения дисперсной смеси в условиях плазменного облучения (2,2 МВт/м²). Проведенные испытания дисперсной смеси продемонстрировали ее потенциал в качестве теплоносителя внутрикамерных устройств подтверждённых плазменному облучению.

Работа выполняется при поддержке Министерства энергетики Республики Казахстан (ИРН – BR23891779 НТП «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на Казахстанском материаловедческом токамаке КТМ»).

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЛАЗМЫ

Т. Р. Туленбергенов^{1,2}, И. А. Соколов^{1,2}, А. А. Агатамова^{1,2}

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

В современных технологиях растут требования к материалам, особенно к их защитным и функциональным свойствам. Одним из эффективных решений является использование тонкопленочных покрытий, повышающих износостойкость, твердость и коррозионную устойчивость. Алмазоподобные углеродные покрытия (DLC) являются перспективным решением благодаря высокой твердости, износостойкости и химической инертности [1]. Метод плазменно-усиленного химического осаждения из газовой фазы (PACVD) позволяет получить DLC покрытия для различных применений [2].

В данной работе исследован метод нанесения DLC-покрытий на установке ПМ-6 [3] с использованием микроволновой плазмы и газовой смеси аргона, метана и водорода. Основное внимание уделялось влиянию технологических параметров – соотношения газов и мощности плазменного разряда, которая варьировалась в диапазоне от 0,6 до 1 кВт. Температурный режим процесса поддерживался в интервале 800–950 °С.

Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявил неоднородное распределение покрытия по поверхности подложки, энергодисперсионный спектральный анализ (ЭДС) подтвердил углеродную природу нанесенного покрытия. Данные результаты указывают на необходимость дальнейшей оптимизации процесса, включая повышение мощности разряда, соответственно и температуры процесса.

Полученные результаты демонстрируют возможность использования выбранного метода и оборудования для синтеза углеродных покрытий, однако подчеркивают необходимость дальнейшей оптимизации процесса PACVD для достижения равномерных и высококачественных пленок.

Работа выполнена при поддержке стипендии Генерального директора РГП НЯЦ РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] T.T. Liao, T.F. Zhang, S.S. Li, Q.Y. Deng, B.J. Wu, Y.Z. Zhang, Y.J. Zhou, Y.B. Guo, Y.X. Leng, N. Huang, Biological responses of diamond-like carbon (DLC) films with different structures in biomedical application // Materials Science and Engineering: C. – 2016. – Vol. 69. – P. 751–759. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.07.064>
- [2] D.C. Lugo, P.C. Silva, M.A. Ramirez, E.J.D.M. Pillaca, C.L. Rodrigues, N.K. Fukumasu, E.J. Corat, M.H. Tabacniks, V.J. Trava-Airoldi, Characterization and tribologic study in high vacuum of hydrogenated DLC films deposited using pulsed DC PECVD system for space applications // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 332. – P. 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.07.084>

- [3] Патент на изобретение № 36605 РК. Устройство для получения водорода и твердого углерода на основе плазменного пиролиза метана в СВЧ-разряде. М.К. Скаков, А.Ж. Миниязов, В.В. Бакланов, Е.Т. Коянбаев, Т.Р. Туленбергенов, И.А. Соколов, Ф.Қ. Жанболотова, Е.С. Бейсенов; заявитель и патентообладатель РГП НЯЦ РК.– заявл. 25.08.2022 г.; опубл. 16.02.2024 г., Бюл. № 7.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМЕ La-Ni-Mn ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОРОДОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ

М. К. Скаков¹, А. Ж. Миниязов^{2,3}, Н. М. Мухамедова^{2,3},
И. А. Соколов^{2,3}, Б. Е. Бекмагамбетова^{2,4}, Ж. Н. Оспанова^{2,4}

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

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

³ НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

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

В контексте перехода мировой энергетики к безуглеродным технологиям ключевой задачей становится разработка надежных материалов для эффективного хранения водорода. Среди известных металлгидридных систем особое место занимают интерметаллиды семейства La-Ni, которые широко используются в никель-металлогидридных аккумуляторах и исследуются как материалы для стационарных водородных накопителей [1]. Эти соединения привлекают внимание благодаря сочетанию высокой обратимой емкости по водороду порядка 1,4–1,6 масс. %, стабильности при многократных циклах гидрирования-дегидрирования и относительно низкой температуре десорбции [2]. В то же время базовый интерметаллид LaNi₅ имеет ряд ограничений, он подвержен деградации при длительной эксплуатации и характеризуется замедленной кинетикой массопереноса водорода в объеме.

В настоящей работе выполнено термодинамическое моделирование фазовых превращений в системе La-Ni-Mn с использованием программного обеспечения Thermo-Calc. Построены изотермические сечения и рассчитаны поля устойчивости ключевых интерметаллидных фаз, включая LaNi₅, La₂Ni₇, LaNi₃ и их Mn-содержащие аналоги [3]. Особое внимание уделено анализу изменения свободной энергии Гиббса и теплоемкости в зависимости от содержания Mn. Выявлено, что введение Mn приводит к расширению области устойчивости фазы типа LaNi₅ и снижает термодинамическую стабильность гидрида, что согласуется с экспериментальными данными по облегчению десорбции водорода [4].

Таким образом, термодинамическое моделирование подтверждает эффективность легирования La-Ni системой Mn для прогнозирования и направленной оптимизации водородопоглощающих свойств. Результаты работы могут служить основой для выбора оптимальных составов и условий синтеза интерметаллидов, применимых в водородной энергетике и электрохимических накопителях энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования проекта BR21882200 «Разработка и исследование инновационных технологий, материалов и устройств для производства, хранения водорода и генерации электроэнергии».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Skakov, M.; Kozhakhmetov, Y.; Mukhamedova, N.; Miniyazov, A.; et al. Effect of high-temperature treatment on structural-phase state and mechanical properties of Ti-25Al-25Nb alloys // *Materials*. – 2022. – Vol. 15. – No. 16. – 5560. <https://doi.org/10.3390/ma15165560>
- [2] Mukhamedova N. M., Miniyazov A. Zh., Zhanbolatova G. K., Ospanova Zh. N., Sabyrtayeva A. A., Shaikieva K. S. Evolution of phase transformations in the Mg–Ni–Ce system after mechanical synthesis and spark plasma sintering // *Materials*. – 2025. – Vol. 18. – No. 9. – 2131. <https://doi.org/10.3390/ma18092131>
- [3] Palumbo, M., Dematteis, E.M., Fenocchio, L. et al. Advances in CALPHAD Methodology for Modeling Hydrides: A Comprehensive Review // *J. Phase Equilib. Diffus.* – 2024. – Vol. 45. – P. 273–289. <https://doi.org/10.1007/s11669-024-01113-y>
- [4] Żurek, M.; Zajac, W. Investigation of the Hydrogen Absorption by the LaNi₅ and LaNi_{4.75}Pb_{0.25} Alloys Using a Statistical Physics Model // *Hydrogen*. – 2022. – Vol. 3. – P. 361–378. <https://doi.org/10.3390/hydrogen3030022>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА С БЕРИЛЛИДОМ НИОБИЯ Be_2Nb_3 МЕТОДОМ СИВЕРТСА

А. Б. Елишенков¹, Е. В. Чихрай¹, Т. В. Кульсартов¹, И. Е. Кенжина¹,
Ж. А. Заурбекова¹, С. Қ. Әскербеков¹, Е. А. Кенжин¹, С. В. Ударцев²

¹ *Satbayev University, г. Алматы, Казахстан*

² *АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Интерметаллидные соединения бериллия вызывают значительный интерес благодаря широким перспективам их применения в энергетике — от конструкционных материалов для ядерных и термоядерных реакторов до систем хранения водорода. В частности, бериллид ниобия, обладая хорошей теплопроводностью и стойкостью к высоким температурам, высокой механической прочностью и низким коэффициентом захвата нейтронов, может использоваться для изготовления различных деталей теплообменных поверхностей, оболочки топливных элементов, и т.п. в термоядерных и ядерных реакторах. Способность интерметаллидов образовывать гидриды открывает возможность для их использования в качестве накопителей водорода для водородной энергетики.

Кроме того, способность интерметаллидов образовывать гидриды открывает возможности их применения в системах водородной энергетики в качестве накопителей водорода. Традиционные методы хранения водорода в сжатом или сжиженном виде сопровождаются рядом проблем: высокими энергозатратами, сложностью конструкции и эксплуатации баллонов высокого давления. Альтернативным решением является использование металлических гидридов, отвечающих ключевым требованиям: оптимальные температуры десорбции и абсорбции, стабильность фазового состояния в рабочем диапазоне температур и давлений, высокая массовая и объемная плотность водорода, а также возможность многократного цикла зарядки.

Данное исследование представляет особый интерес для Казахстана в связи с наличием в нем АО «Ульбинский металлургический завод», являющегося промышленным производством, выпускающим бериллийсодержащие материалы.

Для решения этих задач и определения возможности применения Be_2Nb_3 необходимо знать параметры и механизм его взаимодействия с водородом, что требует проведения экспериментальных и теоретических исследований.

В данной работе представлены данные по исследованию сорбционно-десорбционных свойств бериллида ниобия Be_2Nb_3 методом Сивертса на установке, позволяющей имитировать работу перспективных материалов в реальных условиях. На установке проводились исследования с малоразмерными образцами (малого размера, массы и объема), для повышения чувствительности метода в диапазоне температур от 25 до 550 °C и давлений от 1 до 8 МПа.

Исследования проводились с компактированными образцами Be_2Nb_3 , полученными методом порошковой металлургии.

В результате исследований были определены зависимости поглощения и выделения водорода из образцов. По полученным зависимостям было определено количество водорода в образцах, построены температурные зависимости и константы растворимости водорода в образцах Be_2Nb_3 .

Работа была выполнена при поддержке КН МНВО РК, номер программы ИРН BR21882237.

ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ LaNi_5

М. К. Скаков¹, А. Ж. Миниязов^{2,3}, Н. М. Мухамедова^{2,3},
Ғ. Қ. Қайырды², Р. Е. Жақия^{2,3}, А. А. Сабыртаева^{2,3}, О. Өкен²

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

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

³ *НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан*

В последнее время растет интерес к водороду как к перспективному источнику энергии. Для эффективного использования водорода в различных областях требуется разработка надежных и эффективных методов его хранения. Следовательно, наиболее перспективным является технология хранения водорода в интерметаллидных

соединениях [1]. Среди всех интерметаллидов наибольшее предпочтение отдается сплавам на основе LaNi_5 , так как основным достоинством является способность к обратимой сорбции и десорбции, при этом его сорбционная емкость остается невысокой (~1,5%) [2]. Также стоит отметить, что La является редкоземельным материалом, это существенно повышает стоимость производства накопителей водорода на основе интерметаллидов данного типа [3]. Для решения данных проблем является легирование LaNi_5 титаном, что позволяет снизить температуру разложения, улучшает кинетику [4].

В данной работе представлены результаты получения материалов накопителей водорода на основе LaNi_5 путем комбинирования методов механосинтеза (МС) и искропламенного спекания (ИПС). Были подготовлены порошковые смеси на основе LaNi_5 с добавлением легирующего компонента Ti методом МС. Условия МС: BPR – 1:20 и 1:30, длительность – 8 ч, ускорение – 450 об/мин и 350 об/мин.

После МС методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) частицы LaNi_5Ti 1:30 и 1:20, 350 об/мин имеют сферически неправильные формы. В то время как у частиц LaNi_5Ti 1:20 и 1:30 при 400 об/мин микроструктура представляет собой рыхлое скопление мелких частиц, напоминающее хлопья. По результатам изучения фазового состояния были идентифицированы основные пики, соответствующие фазам La_2O_3 , Ni, LaNi_5 , а также пики низкой интенсивности, соответствующие фазе Ti.

После МС образцы подверглись ИПС при условиях: давление – 2 МПа, длительность – 5 мин, температура – 1300 °С.

При повторном исследовании методом СЭМ был определен средний размер частиц 6,15 мкм. По результатам исследований была определена целевая фаза TiNi со средним размером 632,75 Å. Во всех образцах определена фаза LaNi_5 с гексагональной кристаллической решеткой. Данная фаза может улучшить водородопоглощающие свойства интерметаллида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882200 «Разработка и исследование инновационных технологий, материалов и устройств для производства, хранения водорода и генерации электроэнергии»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Moradi R., Groth K. M. Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis // International journal of hydrogen energy. – 2019. – Vol. 44. – No. 23. – P. 12254–12269. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>
- [2] Liang G., Huot J., Schulz R. Hydrogen storage properties of the mechanically alloyed LaNi_5 -based materials // Journal of alloys and compounds. – 2001. – Vol. 320. – No. 1. – P. 133–139. [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(01\)00929-X](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)00929-X)
- [3] Aaron Keith, Claudia Zlotea, Petra Agota Szilagyi. Perspective of interstitial hydrides of high-entropy alloys for vehicular hydrogen storage // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 52. – P. 531–546. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.141>
- [4] Frankcombe T. J. Proposed mechanisms for the catalytic activity of Ti in NaAlH_4 // Chemical reviews. – 2012. – Vol. 112. – No 4. – P. 2164–2178. <https://doi.org/10.1021/cr2001838>

ҰШҚЫН ПЛАЗМАЛЫҚ ПІСІРУ ӘДІСІМЕН LaNi_5 НЕГІЗІНДЕГІ СУТЕГІ САҚТАУ МАТЕРИАЛЫН АЛУ

А. Ж. Миниязов, М. Қ. Сқақов, Н. М. Мухамедова, О. Өкен*, М. Е. Скопченко

ҚР ҰЯО РМҚ «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов қ, Қазақстан

Сутегіні тиімді сақтау қазіргі заманғы энергетикалық жүйелердің негізгі мәселелерінің бірі болып табылады. Қоршаған ортаға зиянсыз әрі энергия сыйымдылығы жоғары баламалы отын ретінде сутегі энергетикасы соңғы жылдары қарқынды зерттелуде [1, 2]. Бұл бағытта сенімді әрі қайтымды сорбциялық қасиеттерге ие материалдарды әзірлеу шешуші мәнге ие. Металлогидридті жүйелердің ішінде AB_5 типті қосылыстар, оның ішінде ең танымал өкіл – LaNi_5 , ерекше назар аудартады. Ол қалыпты температурада жұмыс істей алуымен, гидрид түзу процесінің қайтымдылығымен ерекшеленеді және тәжірибелік тұрғыда кеңінен қолданылып келеді [3–5]. Дегенмен, оның төмен гравиметриялық сыйымдылығы және ұзақ мерзімді циклдер кезінде деградацияға бейімділігі материалдың қолданылуын шектейді [6].

Бұл жұмыс жоғарыда аталған кемшіліктерді жою және материалдың жұмыс сипаттамаларын жақсарту мақсатында Ұшқын-плазмалық пісіру (ҰПП) әдісі арқылы LaNi_5 негізіндегі сутегі жинақтаушы қорытпаны алу технологиясы зерттелді. Алдын ала механикалық белсендіру және синтездеу процестері лантан (La) және никель (Ni) металл ұнтақтарының 20:1 және 30:1 массалық қатынастарында жүргізілді. Дайындалған ұнтақ қоспалары диаметрі 20 мм графиттік матрицаға салынып, алдын ала престеліп, вакуумдық ортада 1250 °С температурада және тұрақты қысымда ISKRA қондырғысында 1250 °С температурада және тұрақты қысымда жүргізілді.

Синтезделген үлгілерге фазалық талдау жүргізу үшін рентгендік дифрактометрия әдісі қолданылды. Нәтижесінде LaNi_5 фазасының түзілуі байқалатыны анықталды. Негізгі фазадан басқа La_2O_3 оксиді де анықталды, бұл материалдың ішінара тотығуын көрсетеді. Қорытпа құрылымындағы фазалық өзгерістер мен кристаллдық ерекшеліктер анықталды. Сонымен қатар, материалдың морфологиясы мен микроструктурасын зерттеу үшін сканерлеуші электронды микроскоп қолданылып, алынған үлгілердің беткі құрылымы мен бөлшек өлшемдерінің таралуы сипатталды. Зерттеу нәтижелері LaNi_5 негізіндегі сутегі жинақтаушы материалды алу үшін ҰПП әдісінің тиімділігін көрсетті және синтез параметрлерінің материалдың фазалық құрамына және микроструктуралық сипаттамаларына әсерін айқындауға мүмкіндік берді.

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен BR21882200 «Сутегіні өндіруге, сақтауға және электр энергиясын генерациялауға арналған инновациялық технологияларды, материалдар мен құрылғыларды әзірлеу және зерттеу» тақырыбы бойынша бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру шеңберінде орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Dawood F., Anda M., Shafiullah G.M. Hydrogen production for energy: an overview // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Vol. 45. – P. 3847–3869.
- [2] Abdalla A.M., Hossain S., Azad A.T., et al. Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: a review // Energy Conversion and Management. – 2018. – Vol. 165. – P. 602–627.
- [3] Boser O. Hydrogen sorption in LaNi_5 // Journal of the Less Common Metals. – 1976. – Vol. 46, No. 1. – P. 91–99.
- [4] Joubert J.M., Latroche M., Cuevas F., et al. LaNi_5 related AB_5 compounds: structure, properties and applications // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 862. – P. 158163.
- [5] Nemukula E. Metal Hydrides for Sustainable Hydrogen Storage: a review // Energy Reports. – 2025. – <https://doi.org/10.1155/er/6300225>

Секция 3

РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА



STS-2025

Section 3

RADIATION ECOLOGY AND MEDICINE

POTENTIAL BURDEN ON LOCAL GOVERNMENT BUDGETS RESULTING FROM EXCESSIVE NATURAL RADIATION. CASE STUDY

A. Babczuk

Institute of Economic and Financial Expertise in Łódź, Poland

The subject of this study is the presentation of the impact of regulations concerning excessive natural radiation from radon on the financial situation of local government units in Poland. The Atomic Law regulations in force in Poland require employers to measure radon radiation levels. If the legally permissible level (300 Bq) is exceeded, they also impose an obligation to undertake a series of measures aimed at improving employee safety (optimization and mitigation). Failure to comply with these obligations under the Atomic Law results in severe financial penalties imposed both on organizational units themselves and on their managers. For local government units (municipalities, counties, and regional self-governments), which are significant employers in radon-affected areas, this entails substantial budgetary burdens. The study estimates the potential scale of expenditures related to measurement, optimization, mitigation, or financial penalties that may affect the City of Kowary, one of the urban centers in Poland most severely impacted by excessive radon radiation.

BETWEEN PRECAUTION AND PRAGMATISM: A COMPARATIVE LEGAL ANALYSIS OF RADON AND NORM EXPOSURE STANDARDS IN THE UNITED STATES AND UNDER THE EURATOM FRAMEWORK

Robert Bobkier¹, Ewa Katarzyna Czech², Konstantin Kovler³

¹ *Abraham & Ben Hadar Law and Audit, Poole, UK*

² *Faculty of Law, University of Białystok, Poland*

³ *Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel*

This article offers a comparative legal analysis of radon and NORM exposure standards in the United States and within the Euratom framework, highlighting the tension between precaution and pragmatism in public health law. The U.S. model, developed since the late 1980s, is characterized by the adoption of non-binding “action levels” (4 pCi/L or 148 Bq/m³ as the principal benchmark) that rely on voluntary testing and mitigation by property owners. This non-regulatory approach, rooted in liberal market traditions and subsidiarity, contrasts with the Euratom system, which is based on binding reference levels, mandatory Radon Action Plans, and centralized legal instruments such as the EU-BSS Directive.

By contrast, the Euratom framework evolved toward centralized and hierarchical regulation, establishing legally enforceable reference levels for indoor radon exposure. This divergence illustrates a broader philosophical tension between precaution and pragmatism: the European commitment to binding public health standards versus the American reliance on voluntary action and market-driven solutions. The article argues that the U.S. model, though often criticized for regulatory minimalism and limited effectiveness of federal information campaigns, exhibits a paradoxical efficiency – short-term, inexpensive radon testing has resulted in tens of millions of measurements, far exceeding European efforts. Yet the absence of enforceable standards and financial support mechanisms has limited the success of risk reduction, fostering what has been described as the “radon dilemma.”

The comparison reveals a fundamental divergence: while the U.S. system has achieved wide availability of inexpensive short-term testing and mass-scale radon mapping, it lacks enforceable obligations, thereby limiting the effectiveness of risk reduction. Conversely, the European framework provides stronger legal guarantees but suffers from legislative and methodological gaps. Recent expert analyses point to persistent deficiencies at the legislative and methodological levels of the European regulatory pyramid, including an excessive focus on radon priority areas, inconsistent allocation of institutional responsibilities, and the absence of harmonized standards for conformity assessment and site characterization.

From a legal-philosophical perspective, this study demonstrates how regulatory models embody deeper normative choices about the role of the state in managing long-term, probabilistic health risks. The comparative perspective sheds light on the challenges of aligning scientific knowledge, legal instruments, and economic feasibility, and invites reflection

on how the balance between precaution and pragmatism shapes both U.S. and European approaches to radiation protection.

Building on these findings, the authors are prepared to contribute to the development of legislative models that reconcile the effectiveness of binding reference levels with the accessibility and scalability of voluntary action schemes.

ECONOMIC MONITORING OF RADIOACTIVE ANOMALIES: CONSUMER-GRADE MONITORS AND DRONE-BORNE SURVEYS

P. Bossew¹, P. Kuča², J. Helebrant², R. Luff³, K. Maaß³, R. Dambach³, H. Alberti⁴, N. Da Silva⁴

¹ *Retired, Vienna, Austria & Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University, Japan*

² *National Radiation Protection Institute (SÚRO), Praha, Czech Republic*

³ *German Federal Office for Radiation Protection (BfS), Rendsburg, Germany*

⁴ *National Nuclear Energy Commission (CNEN), Poços de Caldas, Brazil*

An important task in radiation protection is identification, delineation and quantification of radiation anomalies. Their origins can be natural, technically enhanced natural or anthropogenic, typically uranium bearing rock, mineral processing residues and nuclear fallout, respectively. Anomalies, understood as significant deviations from a background, can be small spots or extended zones of enhanced radiation levels. In many cases, one wants to minimize the effort for mapping in terms of time and cost.

Experience has shown that two types of monitoring, which can be combined, meet this requirement: 1) using simple dose rate monitors, 2) using light UAVs (drones) as carriers.

(1) The ‘bGeigie nano’ monitor has been developed in the framework of the Safecast Citizen Science project in Japan after the Fukushima accident in 2011, to enable the public to monitor radiation independent of authorities which were often mistrusted. A technically similar, slightly improved instrument is the ‘CzechRad’, developed by SÚRO. Both feature pancake G-M detectors and GPS receivers; dose rate data and coordinates are stored parallel on SD card, which allows easy radiation mapping. The devices are robust and appropriate for rough field use. The Safecast project resulted, among other, in a radiation world map including about 250 million measurement points. (Unfortunately the mapping activity was terminated in 2023.) In a follow-up, the free parts of the Ukraine are partly mapped as preservation of evidence.

The instruments have also been applied in scientific surveying. In ground and drone based surveys they were used to detect and map small radiation anomalies, such as geochemical outcrops in Brazil and patches of elevated background radiation due to the usage of TENORM in street pavements in Berlin. Benefits of the monitors are the robustness, their easy handling and relatively low cost; in Citizen Science use, it can collect large amounts of measurements that can support institutional monitoring. Among problems is sensitivity against deviations from the measurement protocol, which is an issue especially in Citizen Science.

(2) Using light UAVs which are very economic these days, in radiation monitoring has a number of benefits: measurement in areas that are inaccessible because of high level of contamination or in difficult terrain; complementary to helicopter borne measurement systems especially for micro scale contamination situations; much faster compared with conventional ground based methods; mobile and fast deployment; usable in different types of environment.

Problems are topographic correction, attenuation by vegetation and deconvolution of the signals to enhance spatial resolution.

UAV-borne mapping was performed, among other, in the Chornobyl zone and in radiation hotspots in Brazil.

We present the devices and methods in more detail and show examples from their use on different types of radiation anomalies in the Czech Republic, Germany, Brazil and the Chornobyl zone. We report experiments whose objective is characterization of the performance and improving QA.

SIMULATING TRITIUM RELEASES FROM THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT, JAPAN

Maksym Gusyev^{1*}, Alexandre Cauquoin², Kateryna Korepanova¹

¹ Fukushima University, 960-1296, Fukushima, Japan

² Institute of Industrial Science (IIS), The University of Tokyo, Kashiwa, Japan

* E-mail: maksymgusyev@gmail.com; r891@ipc.fukushima-u.ac.jp

The anthropogenic tritium (H-3) with a half-life of 12.32 ± 0.02 years was released during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident prompting tritium radionuclide measurements and the evaluation of anthropogenic H-3 influence in the Fukushima coastal sites and terrestrial waters of Fukushima Prefecture, Japan. In Fukushima Prefecture, the long-term tritium monitoring of rivers, dams, lakes and the ocean waters started from May 2011 to present, accounting for 96 monitoring sites sampled twice a year in summer and autumn-winter periods [1]. For the Fukushima coastal area, the highest tritium concentration of 12.71 TU (or 1.5 Bq/L) was recorded on June 25, 2013, in the Maeda River site, which is located 5 km north of the FDNPP site boundary. Also, a few coastal river sites located from 20 km north of the FDNPPS site had measured tritium values up to 8 TU (or 0.94 Bq/L) in 2011, indicating the anthropogenic influence. To establish tritium data in Fukushima precipitation, tritium in precipitation values from a general circulation model simulation of the FDNPP atmospheric release were matched to available tritium measurements in daily and monthly precipitation across Japan, leading to a tritium peak of 582 TU (or 68.7 Bq/L) [2]. These modeled tritium values were combined with the tritium time-series scaled from the Tokyo to Fukushima coastal area allowing the estimation of mean transit times (MTTs) for tritium measurements in river, spring and artesian well between 2011 and 2014 [2]. The results show that tritium measurements in river and springs required the FDNPP tritium input while the artesian well tritium measurements were only affected by the thermonuclear testing input and not by the FDNPP accident [2]. Comparing these short-term measurements with long-term tritium monitoring data of the Fukushima Prefecture allows us to confirm that the FDNPP tritium pulse had negligible impact on the tritium levels [3]. It is also important to note that tritium in monthly precipitation had the highest value of 12.5 TU (or 1.48 Bq/L) on June 2023 [3], whereas the release of water treated by an Advanced Liquid Processing System from the FDNPP site to the Pacific Ocean started on August 2023 below the established international safety standards [4]. In summary, the primary tritium source is precipitation containing natural tritium formed by cosmic rays in the upper atmosphere and tritium remains a useful tracer to estimate Fukushima waters circulation considering both natural and anthropogenic inputs.

REFERENCES

1. Fukushima Revitalization Portal Site (2025). <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/>
2. Cauquoin, A., Gusyev, M., et al. (2025) Modeling tritium release to the atmosphere during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and application to estimating post-accident water system transit times, Japan, Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-35919-1>
3. Gusyev, M., Cauquoin, A., Hirao, S., and Akata, N. (2025). A review of tritium radioisotope in Fukushima waters, Japan, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-20793. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-20793>
4. Cauquoin, A., Gusyev, M., Komuro, Y., Ono, J., and Yoshimura, K. Ocean general circulation model simulations of anthropogenic tritium releases from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site // Marine Pollution Bulletin. – 2025. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118294>

ANALYSIS OF $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ AND $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ RATIOS BY ICP-MS

I. N. Izosimov

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

ICP-MS method has been used for analyses [1] of the elemental and isotope 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. 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) was established. The standart ratio $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 0.007$ was detected for all samples. It was also observed that the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio (Table) differ from $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 5.4 \cdot 10^{-5}$ secular equilibrium value. In this report the various mechanisms responsible for this difference are discussed.

Table. Data on uranium isotope ratios, detected by ICP – MS with 1–SD errors in prehistoric bones, standard bone and soils collected around these bones

Sample	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \times 10^{-5}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U} \times 10^{-3}$	Sample	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \times 10^{-5}$	$^{235}\text{U}/^{238}\text{U} \times 10^{-3}$
MB1	16.0±0.6	7.4±0.2	BB	7.7±0.3	7.4±0.2
SMB1	11±1	7.5±0.2	DB	7.1±0.4	7.2±0.2
MB2	9.5±0.2	7.5±0.2	SDB	7.2±0.3	7.5±0.2
SMB2	8.4±0.4	7.6±0.2	STB	7.2±0.5	7.5±0.2
BA	8.1±0.2	7.2±0.2	SSTB	10.6±0.3	7.4±0.2

MB1& & SMB1 – South mammoth bone found in Angren and soil collected near this bone respectively; MB2& SMB2 – South mammoth bone found in Kashkadari and soil collected near this bone respectively; BA – arhantrop bone; BB – bone of bear from Selungur cave; DB& SDB – Dinosaur bone and soil collected near this bone respectively; STB & SSTB – standard bone and soil collected near the standard bone. The natural abundance ratio of the isotopes $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ is 0.007257, secular equilibrium ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ is $5.4 \cdot 10^{-5}$.

REFERENCES

- [1] I.N. Izosimov, et al., Czech Chemical Society Symposium Series, 20, 116(2022).

14 YEARS AFTER THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Kenji Nanba^{*}, Maksym Gusyev[#], and Hiroko Nagata

Institute of Environmental Radioactivity (IER), Fukushima University, Fukushima, Japan

^{*} E-mail: nanba@sss.fukushima-u.ac.jp; [#] E-mail: r891@ipc.fukushima-u.ac.jp

On 11th March 2011, the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP), which is situated at the Fukushima Prefecture coast with six nuclear reactor units, was hit by the Great East Japan Earthquake resulting in the reactor scram and the consequent tsunami wave caused the cooling capacity loss of Units 1-4. To relief the high pressure, the adopted emergency measures of “Vent” operation with the unintended release due to vent operation failure did not prevent hydrogen explosions with atmospheric release of short-lived Te-132 and I-131 and long-lived Cs-137 and Cs-134 radionuclides. The released radionuclides were deposited inland with snow or rain in the northwest part of Fukushima Prefecture reaching Fukushima city and undergone re-suspension, volatilization, and adsorption to soil minerals by physicochemical forces as well as uptake by microorganisms or plants. On 22nd April 2011, the “Restricted Zone” with prohibited access and the “Planned Evacuation Area” with the annual cumulative dose of 20 mSv were designated within and outside of the 20-km radius of the FDNPP, respectively, requiring the residents of these designed areas to evacuate. From 1st April 2012, the annual cumulative radiation was used to reclassify these areas as the Difficult-to-Return Zone with prohibited entry and lodging (>50 mSv), “Habitation Restricted Areas” with permitted temporary visits (>20 mSv), and “Preparation Area for lift of Evacuation Orders” (below 20 mSv). From the viewpoint of ensuring food safety, the annual dose limit was lowered from 5 mSv, which had been allowed under the provisional regulation value, to the standard value based on 1 mSv per year and all Fukushima harvested rice was inspected for radiation threshold of 100 Bq/kg according to the Fukushima scheme. For the decontamination, the topsoil was removed reducing the equivalent dose rate at 1 m by an order of magnitude and transported to the interim storage facility, which occupies 5 km² of Futaba and at 11 km² of Okuma townships in the Fukushima coastal area, accumulating approximately 14.04 million cubic meters of soil and waste by December 2024. On 1st April 2023, the Fukushima Institute for Research, Education and Innovation (F-REI) was established for the Reconstruction and Revitalization of Fukushima to become a world-renowned scientific and technological hub and to promote industrial competitiveness of Japan. In summary, the FDNPP accident, which was assigned Level 7 of International Nuclear Emergency Scale (INES) at the International Atomic Energy Agency (IAEA), remains the only active study radioecology area by national and international scientists.

INFLUENCE OF NATURAL BACKGROUND RADIATION ON ECOLOGY AND ENVIRONMENT IN SOUTHERN TAMIL NADU

Daya Shanker

Department of Earthquake Engineering, Indian Institute of Roorkee, Uttaranchal, India

** E-mail: d.shanker@eq.iitr.ac.in*

Public concern regarding radiation exposure in high natural background radiation areas holds considerable social and civil importance. Construction materials sourced from such regions should be avoided for residential use to minimize potential health risks. A significant portion of the population in these areas customarily sits or sleeps on the floor, increasing their direct exposure to ground-level radiation, which may accumulate in the human body over time and pose serious long-term health hazards. Furthermore, it is advisable to avoid establishing future nuclear power plants or reactors in regions already exhibiting elevated natural radiation levels. This study reports detailed measurements of radiation exposure rates along the beach sectors from Thengapattanam to Kanyakumari and the adjacent hinterland areas of Tamil Nadu. Elevated radiation levels, ranging from 500 to 2600 $\mu\text{R/h}$, were identified in weathered hillocks near Inayam and Midalam. Exceptionally high exposure rates, between 1000 and 6000 $\mu\text{R/h}$, were recorded in syenite rock bodies and surrounding boulders around Puttetti. In contrast, beach zones such as Midalam, Kurumpanai, and Manavalakurichi exhibited comparatively lower radiation levels, ranging from 200 to 1600 $\mu\text{R/h}$. Several countries – including Australia, Brazil, China, India, Iran, and Japan – harbor regions with naturally high background radiation. The accumulation of even low levels of radioactivity in the human body can lead to unpredictable health complications. This poses significant environmental and civil challenges, particularly in relation to sustainable development, agriculture, biodiversity, and ecosystem stability.

КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА. СОЗДАНИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОЙ ЗОНЫ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. О. Айдарханов

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

В период с 2008 по 2021 годы в рамках бюджетной программы 036 «Развитие атомных и энергетических проектов» подпрограммы 101 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан» Национальным ядерным центром Республики Казахстан (далее – РГП НЯЦ РК) проведено комплексное экологическое обследование территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона (далее – СИП), площадь которого составила более 18,3 тыс. км². Целью данного обследования являлась оценка степени радиоактивного загрязнения окружающей среды СИП, сформированного ядерными испытаниями с последующей категоризацией земель на представляющие радиационную опасность для населения и не представляющие радиационную опасность для населения. Основным критерием, характеризующим степень радиационной безопасности человека, проживающего на загрязненной территории, является среднегодовое значение эффективной дозы от техногенных радионуклидов, образовавшихся в результате проведения ядерных испытаний.

По результатам комплексного экологического обследования территория СИП делится на два вида (по параметру среднегодового значения эффективной дозы от техногенных радионуклидов, образовавшихся в результате испытания ядерного оружия):

- 1) территория, не представляющая радиационную опасность для населения, в пределах которых значение среднегодовой эффективной дозы на человека составляет менее 0,3 мЗв/год;
- 2) территория, представляющая радиационную опасность для населения, в пределах которых среднегодовой эффективной дозы на человека составляет свыше 0,3 мЗв/год.

Результаты данных исследований дали четкое понимание дальнейших необходимых мероприятий для обеспечения радиационной безопасности загрязненных территорий СИП и прилегающих к ним территорий и разработать концепцию которая легла в основу Закона РК «О Семипалатинской зоне ядерной безопасности» от 5 июля 2023 года. Закон РК «О Семипалатинской зоне ядерной безопасности» разработан в целях обеспечения ядерной и радиационной безопасности в РК, а также реабилитации территории бывшего СИП для создания возможности постепенного возврата его земель в хозяйственный оборот.

Земли бывшего СИП являются землями запаса в составе трех областей (Абай, Павлодарская, Карагандинская), согласно Постановлению Правительства Республики Казахстан от 7 февраля 1996 г. № 172 «О переводе земель бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона в состав земель запаса». Закон РК «О Семипалатинской зоне ядерной безопасности» позволит перевести часть территории бывшего СИП, которая подверглась сверхнормативному радиоактивному загрязнению вследствие испытаний ядерного оружия, из состава земель запаса в земли зоны ядерной безопасности (~8336,91 км²). Остальные территории, не подвергшиеся загрязнению вследствие проведенных испытаний и не представляющие радиационную опасность для населения, могут быть рекомендованы для выведения из категории земель запаса и переданы в хозяйственный оборот (~9974,49 км²).

По результатам комплексного экологического обследования СИП подготовлены материалы, обосновывающие границу и площадь земельных участков Семипалатинской зоны ядерной безопасности. В настоящее время данные материалы получили положительное санитарно-эпидемиологическое заключение и положительное заключение государственной экологической экспертизы. После установления границы и площади земельных участков Семипалатинской зоны ядерной безопасности территории СИП, не подвергшиеся загрязнению вследствие проведенных испытаний, могут быть переданы в хозяйственный оборот местными исполнительными органами.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ 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, Казахстан

Роль водных ресурсов в жизни и хозяйственной деятельности человека чрезвычайно велика. В результате ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) водная среда, также, как и другие объекты окружающей среды, в той или иной степени подверглась радиоактивному загрязнению. Оценка радиозоологической ситуации поверхностных водных объектов является весьма актуальной задачей, в том числе потому, что они могут являться потенциальными источниками водопользования, учитывая огромную территорию СИП и расположение водных объектов на ней.

Объектами исследования являлись водоемы 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 22 водоема 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. Всего было исследовано порядка 60 озер территории СИП.

На объектах исследования проводился сопряженный отбор пробы воды, донных отложений, почвы 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 ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu.

Согласно полученным результатам, в водоемах техногенного происхождения максимальные значения содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr зафиксированы в воде воронки уч. № 4 пл. «Опытное поле», а ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – в воде скв. 1003 пл. «Сары-Узень». В природных озерах максимальное содержание ⁹⁰Sr зафиксировано в воде оз. Кишкенсор, расположенного в зоне влияния пл. «Балапан», а ¹³⁷Cs и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – в воде озера без названия, расположенного на пл. «Опытное поле», между техническими площадками ПЗ и П5. Среди всех водоемов территории СИП численное значение содержания ²⁴¹Am в воде зафиксировано только в одном водном объекте – в воронке уч. № 4, расположенной на технической площадке П5 «Опытного поля», и составило 0,0031±0,0005 Бк/кг.

По содержанию техногенных радионуклидов в донных отложениях и почве среди водоемов техногенного происхождения максимально загрязненными являются воронки уч. № 3 и № 4, расположенные на пл. «Опытное поле», и все водоемы, образованных в результате экскавационных взрывов. В природных озерах максимальное радионуклидное загрязнение зафиксировано в донных отложениях и почве Внешнего водохранилища, причем данное загрязнение фиксируется в непосредственной близости от «Атомного» озера, а на расстоянии порядка 1,5 км и больше содержание радионуклидов имеет «фоновые» значения.

Для растений максимальные значения содержания радионуклидов зафиксированы в водных растениях воронки «Телькем-1» и «Атомного» озера. Для воздушно-водных и прибрежных растений максимальные

значения содержания радионуклидов зафиксированы на тех же участках, где фиксируются максимальные значения содержания радионуклидов в донных отложениях и почве.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ В РАМКАХ ПРОЕКТА NATO № G5684 «NOVEL BIOLOGICAL AND PHYSICAL METHODS FOR TRIAGE IN RADIOLOGICAL AND NUCLEAR (R/N) EMERGENCIES»

Д. Б. Бияхметова¹, Л. Б. Кенжина¹, А. Н. Мамырбаева¹

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

В настоящее время важность биологической дозиметрии возросла из-за постоянной возможности случайного облучения или переоблучения населения, в случаях из-за возможной террористической атаки с использованием радиологических материалов, аварии на атомной электростанции или в случае мелкомасштабных инцидентов на промышленном производстве либо в медицине.

Более того, современные задачи экономики Казахстана, включающие строительство АЭС, функционирование банка радиоактивных отходов и приоритетность добычи и обработки урана, также вносят свой вклад с точки зрения радиологической безопасности.

Следует отметить, что большинство видов анализа, доступных до настоящего времени, как правило, требуют высокой квалификации специалиста, реагентных затрат и много времени на выполнение.

Чтобы преодолеть эти ограничения, проект BioPhyMeTRE № G5684 «Novel biological and physical methods for triage in radiological and nuclear (R/N) emergencies», финансируемый программой НАТО «Наука во имя мира и безопасности» (SPS) и начатый в апреле 2020 года, предлагает разработку инновационного биодозиметрического протокола с использованием меньшего количества реагентов, времени и удобных в использовании аналитических процедур.

Предлагаемый комбинированный протокол объединяет две наиболее стандартизированных цитогенетических методики, используемых в биодозиметрии (DCA, CBMN), в один, чтобы получить более исчерпывающий анализ «два в одном», экономящий время, лабораторные ресурсы, а также потенциальную автоматизацию анализа для сортировки в случае массовых радиологических аварий.

В исследовании сравнивались стандартные биодозиметрические протоколы дицентриков и микроядер с комбинированным протоколом, совмещающим «два в одном».

Использование подобной упрощенной и экономически эффективной процедуры анализа «два в одном» для определения хромосомных aberrаций и микроядер позволит произвести более точную оценку дозы облучения, полученной лицами, вовлеченными в ядерную аварию или радиологическую аварийную ситуацию, за относительно короткий период времени, чтобы обеспечить надлежащее медицинское лечение и терапию для увеличения показателей выживаемости.

После адаптации новой методики на базе Института и совершенствования ее характеристик, она может быть включена в рутинный инструментальный лабораторный Института, в качестве более простой, экономящей время и малозатратной альтернативы двум отдельным стандартным методам.

Использование предложенного в рамках проекта комбинированного протокола может быть распространено на национальные и международные ретроспективные дозиметрические сети (например, платформы НАТО, BO3 BioDoseNet, BO3 REMPAN, МАГАТЭ RANET, EURADOS, RENE), активируемые в случае радиологических событий.

ОЦЕНКА РАДИАЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»

В. В. Божко, С. П. Левченко

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

Месторождение «Каражыра» – основной источник высококачественной угольной продукции Республики Казахстан, расположено на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского

испытательного полигона. На площадке «Балапан» было проведено 106 подземных ядерных взрывов в «боевых» скважинах. В непосредственной близости (на расстоянии от 0,4 до 5,8 км) от границ земельного отвода месторождения расположены 15 «боевых» скважин.

Основные виды деятельности на угольном месторождении «Каражыра» – проведение горных и геолого-разведочных работ, добыча угля, реализация полезных ископаемых, проектирование, строительство, реконструкция объектов и другие. Продукция месторождения – уголь, который используется для бытовых нужд и в промышленности.

Условия полигона, условия ведения горных работ и близость скважин, в которых проводились подрывы ядерных зарядов, а также противоречивое отношение населения к разработке месторождения и добычи «потенциально радиоактивного» угля требуют ежегодного радиоэкологического контроля выпускаемой продукции угольного месторождения «Каражыра».

С целью определения возможного радиоактивного загрязнения выпускаемой продукции месторождения «Каражыра» ежеквартально в период с 2021 по 2024 годы из мест складирования производился отбор проб угля с последующим исследованием в лабораторных условиях. Для установления класса радиационной опасности угольной продукции выполнен анализ содержания природных радионуклидов U (^{226}Ra) и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов.

Результаты исследований показали, что добываемый уголь месторождения «Каражыра» относится к I классу радиационной опасности и может использоваться в качестве энергетического сырья в хозяйственной деятельности без ограничений.

Оценивая современное состояние радиационной обстановки и специфику работы на территории полигона, необходимо продолжить ежегодный радиоэкологический контроль добываемого угля с увеличением объема анализируемых проб на содержание естественных и техногенных радионуклидов.

Проведение рекомендуемых мероприятий внесет существенный вклад при оценке возможных изменений окружающей среды в результате антропогенной деятельности и позволит снизить уровень радиофобии среди населения, что будет способствовать дальнейшей разработке угольного месторождения «Каражыра» и благоприятному развитию местной экономики с привлечением в регион крупных инвесторов.

ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

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

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

Методы сорбционной очистки являются одними из наиболее эффективных способов извлечения радионуклидов из различных сред, преимуществом которых являются высокая селективность и возможность применения без сложного технического оснащения.

В качестве объектов исследования для сорбционной очистки радиоактивно-загрязненных вод от радионуклидов выбраны водотоки припортовых участков штолен площадки «Дегелен» и водоем техногенного происхождения, расположенный на территории испытательной площадки «Телькем». Для очистки использовались природные воды, отобранные из водотоков штолен 104 и 165 и воронки «Телькем-1». Данные воды отличаются не только уровнями радионуклидного загрязнения, но и химическим составом (воды водотоков штолен пресные со средним уровнем жесткости, вода воронки «Телькем-1» солоноватая и очень жесткая). На данных водных объектах определены начальные уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr с помощью γ - и β -спектрометрических методов анализа. Содержание ^{238}U определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Для очистки исследуемых вод от радионуклидов были выбраны неорганический сорбент из синтетического алюмосиликата – цеолит NaX, полимерные гидрогели и сорбенты на основе биомассового происхождения (биосорбенты). Эксперименты проводили в статических условиях: 0,4 г сорбента на 1 л воды, перемешивали при комнатной температуре 24 ч с последующей фильтрацией и определением содержания радионуклидов в фильтрате.

Согласно полученным данным, в воде шт. 104 сорбция ^{137}Cs на модифицированных биосорбентах достигала 90%, что существенно превышало эффективность цеолита NaX (44%) и полимерных гидрогелей (8–54%). Для ^{90}Sr наибольшие значения были зафиксированы у модифицированных биосорбентов (16–25%), тогда как на цеолите NaX сорбция составила всего 9%, а на гидрогелях – 2%. Высокие проценты сорбции ^{238}U были

получены на модифицированных биосорбентах (30–49%), тогда как на цеолите NaX сорбция составила 17%, а на гидрогелях – 13% и 15%.

В воде шт. 165 сорбция ^{137}Cs составила 58% на цеолите NaX и 53–54% на полимерных гидрогелях. Для ^{90}Sr наибольшая эффективность была отмечена на цеолите NaX (35%), тогда как гидрогели сорбировали только на 11–20%. Для ^{238}U сорбция на цеолите NaX составила 22%, на гидрогелях – 14–17%.

В воде воронки «Телькем-1» содержание ^{137}Cs находилось ниже предела обнаружения, поэтому исследования по сорбции данного радионуклида не проводились. Для ^{90}Sr эффективность цеолита NaX составила около 10%, при этом гидрогели показали лишь 3%. Для ^{238}U сорбция на цеолите NaX составила 32%, на гидрогелях – 15–27%.

В результате проведенных работ установлено, что эффективность сорбционной очистки радиоактивно-загрязненных вод определяется не только природой сорбента, но и химическим составом водной среды. Наибольшую эффективность по отношению к ^{137}Cs и ^{238}U продемонстрировали модифицированные биосорбенты, что связано с их развитой поверхностью и активными функциональными группами, способствующими связыванию радионуклидов. Для ^{90}Sr наиболее стабильные результаты были получены на цеолите NaX в воде штолен, что может быть связано с его избирательностью и устойчивостью в пресной воде. Таким образом, полученные данные позволяют не только выделить наиболее перспективные сорбенты для извлечения конкретных радионуклидов, но и служат основой для разработки подходов к выбору сорбционных материалов с учетом состава загрязненной водной среды.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СКОРОСТИ СЧЁТА ФОНОВЫХ ИМПУЛЬСОВ И УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ МИНИМАЛЬНОЙ ИЗМЕРЯЕМОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОМЕТРА СУММАРНОЙ АЛЬФА- И БЕТА-АКТИВНОСТИ РКС-АТ1329

Д. А. Зайцев, Ю. Е. Турончик, И. А. Лагуцкий, Д. С. Данилевич

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Беларусь

Радиационно-экологический мониторинг требует постоянного и точного контроля содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, с целью предотвращения негативного воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека. Особое внимание уделяется определению содержания альфа- и бета-излучающих нуклидов, для обнаружения которых может быть использован радиометр РКС-АТ1329 [1]. Данный радиометр предназначен для измерения суммарной альфа-активности и суммарной бета-активности различных проб и счетных образцов.

При выполнении измерений низких уровней бета-активности актуальной является задача по снижению уровня минимально измеряемой активности, для прибора РКС-АТ1329 оно составляет 0,28 Бк. При решении данной задачи можно увеличить время измерения, увеличить чувствительность блока детектирования или снизить скорость счёта фоновых импульсов.

В докладе представлены результаты работы по введению в состав радиометра РКС-АТ1329 дополнительного модуля регистрации естественного гамма-излучения и реализации способа активного снижения фона. В случае прохождения одного гамма-кванта через оба детектора срабатывает система антисовпадений и такой сигнал далее не будет участвовать в расчётах скорости счёта фоновых импульсов. Уменьшение скорости счёта фоновых импульсов радиометра, обусловленных естественным гамма-фоном, и уменьшение влияния сопутствующего гамма-излучения, позволяет обеспечить снижение уровня минимально измеряемой бета-активности. Это в свою очередь позволяет существенно расширить сферу применения радиометра РКС-АТ1329 для решения задач измерения низких уровней бета-активности [2].

Результаты, полученные в ходе научно-исследовательской работы по внедрению системы на основе метода активной защиты в прибор РКС-АТ1329 показали, что скорость счёта фоновых импульсов уменьшается примерно на 50%. Нижний предел минимально измеряемой бета-активности при этом снизился и составил около 0,2 Бк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков, Д.В. Радиометр суммарной альфа- и суммарной бета-активности на базе серийно выпускаемых блоков детектирования производства УП «АТОМТЕХ» / Д.В. Горшков, В.А. Кожемякин // Доклады БГУИР [Электронный ресурс]. – 2015. – режим доступа: https://doklady.bsuir.by/jour/article/view/465?locale=ru_RU

2. Горшков, Д.В. Радиометр альфа-бета-активностей на основе «фосвич» детектора / Д.В. Горшков, В.А. Кожемякин, Е.А. Коновалов, Ю.Е. Турончик // Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии [Электронный ресурс]. – 2017. – режим доступа: https://ppsr.pro/gallery/collection_of_theses_2017.pdf

ОСОБЕННОСТИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ СУБЛИМАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю. Н. Зозуль¹, В. В. Шлыгин¹, С. В. Ахромеев¹, М. А. Эдомская²

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна», г. Москва, Россия

² ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

В настоящее время в пределах городской черты г. Ангарска осуществляется вывод из эксплуатации комплекса хранилищ отходов остановленного в 2014 г. сублиматного производства. Комплекс хранилищ находится в санитарно-защитной зоне предприятия, включает в себя подземные хранилища ТРО и поверхностные шламоотстойники жидких технологических отходов. В 2021 г. в рамках ФЦП ОЯРБ начат вывод из эксплуатации сооружений подземных хранилищ ТРО, осуществляемый по сценарию «ликвидация». После остановки в 2012 г. подачи пульпы в шламоотстойники силами предприятия ведутся работы по их консервации. Для оценки состояния окружающей среды и выявления особенностей факторов радиационного и химического воздействия объекта ядерного наследия проведено исследование радиоэкологической обстановки.

Проведенные исследования показали, что работы по выводу из эксплуатации подземных хранилищ ТРО не привели к изменению радиационной обстановки в районе расположения комплекса. Территория вокруг зоны проведения работ по выводу из эксплуатации и вокруг шламоотстойников характеризуется равномерным распределением МАЭД в диапазоне значений, соответствующих среднему региональному значению 0,15 мкЗв/ч. Поверхностный слой почвогрунта прилегающей территории характеризуется фоновыми значениями содержания природных (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенных (^{137}Cs , ^{241}Am , ^{152}Eu) радионуклидов. Значение суммарного показателя загрязнения почвы токсичными металлами ($Z_c < 8$) соответствует категории загрязнения «допустимое».

Исследование грунтов берегового склона дамб, обрамляющих обводненные шламоотстойники, выявило локальные участки, где грунты характеризуются повышенным содержанием техногенных радионуклидов – удельная активность ^{137}Cs достигает уровня критерия неограниченного использования ($A_{ни}$), ^{241}Am – уровня отнесения к радиоактивным отходам (РАО). Содержание изотопов урана ^{238}U и ^{235}U в 2–3 раза превышает фоновое значение, а в отдельных точках – до 30 раз. Повышенным содержанием техногенных ^{137}Cs и ^{241}Am характеризуется поверхностный слой донных отложений шламоотстойников. В осветленной пульпе шламоотстойников в высоких концентрациях присутствуют токсичные металлы I класса опасности (U, Tl, Hg, As, Be).

Анализ подземных вод наблюдательных скважин выявил в отдельных скважинах повышение суммарной удельной альфа-активности до предельных значений для питьевой воды. Удельная активность изотопов урана превышает фоновые значения, оставаясь существенно ниже уровней вмешательства для питьевой воды. Наблюдается загрязнение вод фторидами и токсичными металлами I и II класса опасности, содержание которых кратно превышает ПДК для вод объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, содержание урана на порядок выше фонового значения. Максимальные уровни загрязнения наблюдаются в скважинах вблизи обводненных шламоотстойников.

Полученные данные позволяют заключить, что хранилища жидких технологических отходов являются потенциальным источником радиационного и химического загрязнения окружающей среды. Накопленное содержимое шламоотстойников взаимодействует с подстилающими грунтами, распространяя загрязнение по направлению движения грунтовых вод.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДЕ, ПОЧВЕ И ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ, С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВОЗМОЖНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Н. М. Салихов, Б. А. Искаков, Г. Д. Пак

ТОО «Институт ионосферы», г. Алматы, Казахстан

В исследованиях последних десятилетий повышенное внимание уделяется естественной радиоактивности воздуха, обусловленной в основном выделением из почв газообразных продуктов радиоактивных семейств U и Th – ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn и дочерних продуктов их распада. Считается, что наибольший вклад в дозу, создаваемую естественными радионуклидами, вносит радиоактивный газ радон и короткоживущие дочерние продукты его распада. Причем, суммарная доза облучения, получаемая человеком от природных источников ионизирующего излучения, достигает 70% суммарной дозы всех источников радиации. Актуальность радиоэкологического мониторинга окружающей среды существенно повышается в связи с угрозой загрязнения среды обитания радионуклидами антропогенного происхождения. Исследование источников поступления радионуклидов в среду обитания человека и анализ загрязнения радионуклидами почв, атмосферы, воды, растений и животных имеет важное значение для защиты здоровья человека и сохранения экологического равновесия.

На протяжении ряда лет в Институте ионосферы проводится непрерывный мониторинг вариаций потока гамма-квантов в приземной атмосфере и вариаций гамма-излучающих продуктов распада радона во время метеосадков (дождь, град, снег). В настоящее время налажен спектрометрический и радиометрический анализ радиационного фона на основе измерения активности радионуклидов в почве и воде с помощью сцинтилляционного спектрометра МКС-01А Мультирад. Проводится непрерывный мониторинг объемной активности радона в подпочвенных слоях горных пород (в шпуре) и приземной атмосфере. Проведение таких исследований имеет важное значение для принятия взвешенных решений в области экологической политики, контроля радиоактивной опасности и обеспечения безопасной среды обитания.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ, ГРУНТОВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В РАЙОНЕ ОБЪЕКТА «АТОМНОЕ ОЗЕРО» НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

А. М. Кабдыракова¹, А. Т. Меньдубаев², Н. В. Ларионова²,
А. Е. Кундузбаева², С. Н. Лукашенко³, С. К. Кабдрахманова⁴

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

² Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

³ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

⁴ Satbayev University, г. Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты исследований распределения радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ по макро- и микроагрегатным фракциям почв в районе объекта «Атомное озеро», образованного в результате подземного ядерного взрыва в скважине № 1004 с выбросом грунта (экскавационный взрыв), проведенного на Семипалатинском испытательном полигоне. Исследование проводилось на следе радиоактивных выпадений, простирающемся в северо-восточном направлении от места взрыва, а также на прибрежных участках, расположенных на подступах к воде с внутренней стороны навала грунта.

На следе радиоактивных выпадений был заложен продольный профиль длиной 2,8 км с отбором проб верхнего 0–5 см слоя почвы по мере отдаления от места взрыва. На участках, расположенных вблизи линии воды был произведен отбор проб прибрежных грунтов. На тех же участках производился отбор проб донных отложений на урезе воды. Отобранные пробы были разделены на агрегатные фракции с последовательным использованием двух методов: ситового просеивания с промывкой водой («мокрое просеивание») и седиментации. Ситовым методом были выделены фракции размером агрегатов от 40 до 1000 мкм, седиментационным методом – от 40 до <1 мкм).

В почве и ее фракциях была определена удельная активность радионуклидов: ^{137}Cs и ^{241}Am – гамма-спектрометрическим методом, ^{90}Sr – бета-спектрометрическим методом, $^{239+240}\text{Pu}$ – альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой.

Результаты показали, что в исследуемых почвах, грунтах и донных отложениях основное содержание ^{137}Cs ассоциировано с мелкодисперсными фракциями, достигая наибольших концентраций во фракции размером <1 мкм. В то же время распределение ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ по агрегатным фракциям почв на следе носит различный характер в зависимости от расстояния от навала выброшенного грунта. Так, на расстоянии около 0,7 км наибольшее обогащение ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ наблюдается в крупнодисперсных фракциях (500–1000 мкм), тогда как ^{90}Sr распределен по фракциям относительно равномерно. На последующем участке следа (0,7–2,8 км) данные радионуклиды преимущественно концентрируются в тонкодисперсных фракциях почвы: ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – во фракции размером 8–40 мкм, ^{90}Sr – во фракции размером <1 мкм. Таким образом, наряду с изменением характера распределения радионуклидов по агрегатным фракциям почвы, особенностью радиоактивного загрязнения почв на следе является различие в поведении продуктов деления (^{137}Cs и ^{90}Sr) и трансурановых радионуклидов (^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$).

В грунтах и донных отложениях отмечается слабовыраженная тенденция аккумуляции ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в крупнодисперсных фракциях размером 250–1000 мкм.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ДЛЯ ОСТРЫХ СЦЕНАРИЕВ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Л. Б. Кенжина, А. Н. Мамырбаева, Д. Б. Бияхметова

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

Казахстан находится в фазе стремительного развития атомной отрасли. Историческая радиophobia, связанная с длительной деятельностью Семипалатинского испытательного полигона, уступает место новому общественному восприятию, основанному на признании важности и пользы контролируемого использования источников ионизирующего излучения, как это принято в других технологически развитых странах. Строительство первой атомной электростанции, расширение радионуклидной диагностики и терапии, синтез и клиническое применение радиофармпрепаратов в онкологии, развитие промышленных ускорителей и исследовательских реакторов, а также соответствующий рост числа профессионалов, подвергающихся риску радиационного воздействия, актуализируют задачи по формированию эффективной системы национальной радиационной готовности и реагирования в радиационных чрезвычайных ситуациях. Учитывая вышеизложенное, вопросы подготовки к таким вероятностным событиям приобретают стратегическое значение как на национальном, так и на международном уровне.

В случае радиационной/ядерной чрезвычайной ситуации (Р/ЯЧС), когда детали событий малоизвестны, а какие-либо физические измерения или вычисления дозы отсутствуют, согласно рекомендациям МАГАТЭ, цитогенетическая биологическая дозиметрия может быть единственным средством определения индивидуальной количественной поглощенной дозы облучения.

Для калькуляции индивидуальной поглощенной дозы облучения каждой биодозиметрической лаборатории необходимо построение собственной калибровочной кривой «доза – эффект» для острого сценария методом анализа нестабильных хромосомных aberrаций (дицентрический анализ) в лимфоцитах периферической крови.

Материалом исследования послужила периферическая венозная кровь 5 добровольцев в количестве 5 мл (50 МЕ литий-гепарина на 1 мл цельной крови), отобранная в асептических условиях, с соблюдением норм научной этики. Облучение биологического материала гамма-излучением Co^{60} (мощность дозы 0,562 Гр/мин) было проведено в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ. Культивирование лимфоцитов произведено рутинным дицентрическим методом. Анализ огромного массива данных для дозовых точек (более 195555 метафазных клеток) был произведен при помощи цитогенетической платформы на базе электронного микроскопа Axiolmager Z2 (Carl Zeiss), программного обеспечения Metafer 4 (лицензия № 2250047). Идентификацию радиационно-индуцированных хромосомных aberrаций проводили согласно Международной системе цитогеномной номенклатуры (ISCN).

Экспериментально-расчётным методом, с учетом дисперсии и корреляции, были получены калибровочные коэффициенты дозовой зависимости нестабильных хромосомных aberrаций *in vitro*, соответствует линейно-квадратичной модели с калибровочным уравнением: $Y = 0,0015 (+/- 0,0010) + 0,0150 (+/- 0,0039) \times D + 0,0176 (+/- 0,0020) \times D^2$. Достоверных различий выхода хромосомных aberrаций между мужским и женским полом, а также между возрастными подгруппами выявлено не было. Полученная зависимость «доза – эффект» аппроксимирована в калибровочную кривую, которая позволяет рассчитать острую индивидуальную поглощенную дозу облучения. Это обусловит быстроту и надежность в принятии решений, связанных с

приоритетом оказания медицинской помощи, сохранит жизнь, минимизирует последствия для здоровья, увеличит продолжительность и качество жизни пострадавших.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННОЙ И НЕРАДИАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

С. М. Киселев¹, Н. К. Шандала¹, Л. П. Сычева¹, С. А. Гераськин²

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна», г. Москва, Россия

² ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

Взаимодействие человека и окружающей среды определяется сложными многокомпонентными связями, в которых выделить преобладающее действие того или иного фактора, особенно в условиях отсутствия их количественного доминирования в окружающей среде, является сложной задачей. Вместе с тем, оценить эффект их совокупного действия и выявить тенденции к изменению природной среды на оказываемое воздействие является важной научно-практической задачей, требующей применения междисциплинарного подхода к ее решению.

Объектом настоящего исследования являются бывшие береговые технические базы ВМФ по обслуживанию атомных подводных лодок – предприятия оборонной промышленности, которые были созданы до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности. Для совершенствования системы наблюдения и оценки антропогенного воздействия нами предложена технология комплексного эколого-гигиенического мониторинга (КЭГМ), которая включает три уровня организации и базируется на интегральном подходе к оценке воздействия на окружающую среду и здоровья населения, проживающего в районах расположения радиационно-опасных предприятий.

Первый уровень КЭГМ заключается в скрининговом исследовании территории, определении приоритетных загрязнителей и пространственно-временных особенностей их распределения в окружающей среде. Как показывает практика, эколого-гигиеническая обстановка на объектах ядерного наследия характеризуется комплексным загрязнением окружающей среды веществами радиационной и не радиационной природы. В качестве инструментария для гигиенической оценки антропогенного загрязнения окружающей среды поллютантами различной природы разработан универсальный алгоритм расчета интегрального коэффициента загрязнения, который применен для сравнительной оценки сочетанного загрязнения компонентов природной среды на разных объектах ядерного наследия.

Второй уровень организации КЭГМ предусматривает проведение экологических исследований, направленных на оценку изменений качества окружающей среды в результате комплексного воздействия загрязнителей различной природы, определяющих значимые природные и антропогенные нагрузки. Эти изменения оцениваются методами биологического мониторинга на основе применения биологических тест-объектов, которые выступают в роли сенсоров, выявляющих интегральный биологический эффект комплекса воздействующих факторов внешней среды.

Третий уровень КЭГМ ориентирован на исследование ответа человеческого организма на комплексное воздействие факторов внешней среды, оценку и прогнозирование рисков неблагоприятного воздействия на основе оценки цитогенетического статуса. На индивидуальном и групповом уровне апробирована разработанная отечественными специалистами усовершенствованная методика буккального микроядерного цитомного теста и применена в форматах одномоментных когортных и многолетних мониторинговых исследований. Предложенная технология базируется на разработанном комплексе методических документов, определяющем организацию и порядок реализации основных положений. Развитие аналитической составляющей ее реализации предполагает формирование единой информационно-аналитической платформы на базе накопленных данных о состоянии загрязнения окружающей среды с визуализацией результатов исследования эколого-гигиенической обстановки.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ НА ЭКОЛОГИЮ И НАСЕЛЕНИЕ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ

М. В. Краснопёрова, П. В. Харкин, И. Д. Горлачев, Д. А. Желтов,
М. А. Севериненко, О. С. Мильц, Т. В. Подгузова

РГП «Институт ядерной физики» Агентства РК по атомной энергии, г. Алматы, Казахстан

Кызылординская область является одним из ключевых регионов добычи урана в Казахстане. С целью выявления влияния уранодобывающих предприятий на экологию Южного Казахстана в 2024 году были отобраны 66 проб почвы и 44 пробы воды на 31 объекте Кызылординской области. В отобранных пробах изучен элементный и радионуклидный составы. Для проб почвы рассчитаны индексы загрязнения тяжёлыми металлами, индексы экологического риска и радиологические параметры.

Для большинства элементов в пробах почвы средние содержания ниже их концентраций в верхней части континентальной коры. Практически для всех элементов выполняется условие: индекс геоаккумуляции $I_{geo} \leq 0$, то есть почва считается незагрязнённой; лишь в двух точках I_{geo} соответствует промежуточному состоянию между «незагрязнённой» и «умеренно загрязнённой». По contamination factor степень загрязнения относится к категории «низкая». Интегральный показатель PERI равен 26,5, что соответствует низкому уровню потенциального экологического риска.

Суммарный показатель неканцерогенного риска составил 0,15 для взрослых и 1,3 для детей при пороговом значении 1. Это указывает на отсутствие риска для взрослых и возможное слабое воздействие токсичных элементов на детей. Индивидуальный канцерогенный риск составил $2,0 \cdot 10^{-5}$ для взрослых и $4,4 \cdot 10^{-5}$ для детей, что соответствует допустимому уровню.

Аномальных содержаний естественных радионуклидов не выявлено, максимальные удельные активности не превышают мировых диапазонов. В отдельных точках наблюдается превышение активности Pb-210 над U-238, что указывает на возможное обогащение верхних слоёв почвы за счёт распада радона. Для всех точек значения годовой эффективной дозы не превышают рекомендуемую Международной комиссией по радиологической защите величину. **ELCR (Excess Lifetime Cancer Risk)** – это показатель **дополнительного пожизненного канцерогенного риска**, связанного с воздействием радиации, изменяется от $0,19 \cdot 10^{-3}$ до $0,30 \cdot 10^{-3}$ при среднем $0,24 \cdot 10^{-3}$. Для большинства точек значения ниже пороговых уровней $0,29 \cdot 10^{-3}$, установленных UNSCEAR (Научный комитет Организации Объединённых Наций по действию атомной радиации) лишь в двух точках фиксируются слабые превышения. В целом радиологическая обстановка соответствует норме, влияние урановых рудопроявлений и предприятий незначительно.

Таким образом, анализ распределения элементов и радионуклидов в верхнем слое почвы показывает:

- 1) следовые проявления загрязнения связаны с накоплением Pb-210 из-за распада радона;
- 2) влияние переноса загрязнителей рекой Сырдарья не выявлено;
- 3) существенного антропогенного фактора не установлено.

Почвы региона характеризуются как экологически благополучные, а воздействие добычи урана на радиологическую обстановку Южного Казахстана оценивается как минимальное.

Для проб воды в настоящее время проводится обработка и интерпретация полученных данных.

Данное исследование финансируется Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23485997).

РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ (ПЛОЩАДКА «САРЫ-УЗЕНЬ»)

П. Е. Кривицкий¹, Н. В. Ларионова², А. О. Айдарханов²

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

² Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

По историческим данным на территории площадки «Сары-Узень» в период с 1965 по 1980 годы проведено 24 ядерных испытания в 25 скважинах, из которых на 7 проведены взрывы камуфлета полного (ВКП), на 17 –

взрывы неполного камуфлета (ВНК) и на 1 – взрыв с выбросом грунта (ВВГ). Различие в количестве обусловлено проведением группового испытания в скважинах № 109 и № 2803.

Для определения характера площадного распределения радиоактивного загрязнения почвы применен метод пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Для измерений использовался гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла бромид лантана (LaBr_3). Для определения уровней радиоактивного загрязнения почвы и растений проводился отбор проб с последующим лабораторным анализом по определению естественных и искусственных радионуклидов. Измерение удельной активности радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs и ^{241}Am проводили методом гамма-спектрометрии, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией. Содержание в растениях ^3H определялось методом бета-спектрометрии в свободной воде и органической составляющей.

Основываясь на результатах проведенного обследования установлено, что радиоактивное загрязнение территории площадки «Сары-Узень» обусловлено 2 факторами. Первым фактором является выпадение радиоизотопов из атмосферы, вследствие взрыва 24.09.1951 г. на площадке «Опытное поле». След выпадений протянулся от северо-западной части площадки до самого юга. Диапазон значений удельной активности для ^{241}Am в почве варьирует от $<0,3$ до 390 Бк/кг, при среднем значении 5 Бк/кг; для ^{137}Cs от $<1,1$ до 330 Бк/кг, при среднем значении 55 Бк/кг. Вторым, но более значимым, фактором является выпадение радиоизотопов вследствие проведения подземных ядерных испытаний с радиоактивным выбросом, которые прошли в скважинах на самой площадке. Самую большую область загрязнения (около 8 км) имеет след от выпадений после испытания на скважине № 101. Содержание техногенных радионуклидов в почве близ бывших боевых скважин достигает следующих значений удельной активности: ^{241}Am до $n \cdot 10^5$ Бк/кг, ^{137}Cs до $n \cdot 10^4$ Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ до $n \cdot 10^6$ Бк/кг, ^{90}Sr до $n \cdot 10^4$ Бк/кг. Повышенные значения естественных радионуклидов на исследуемой территории не зафиксированы, что указывает на отсутствие возможных геохимических аномалий, которые способны создать повышенный радиационный фон.

Диапазоны значений удельной активности ^{241}Am в растениях в исследуемых точках близ бывших боевых скважин варьируют от $<0,4$ до 600 Бк/кг, ^{137}Cs – от $<0,3$ до 1200 Бк/кг, ^{90}Sr – от 1,7 до 6200 Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – от $<0,05$ до 100000 Бк/кг. Максимальные концентрации радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr отмечаются близ скважины № 102, ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – близ скважины № 215. Значения концентрации радионуклида ^{137}Cs в растениях на условно «фоновых» территориях не превышают 1,5 Бк/кг, ^{241}Am , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – находятся ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Содержание ^3H в растительном покрове на территории площадки «Сары-Узень» в основном незначительно и не представляет опасности. Единичные случаи превышения уровня вмешательства (УВ) по содержанию ^3H в питьевой воде установлены для растений на объекте «Лазурит», а также близ боевых скважин № 125 и № 101.

ПОДВИЖНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А. Е. Кундузбаева

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

Специфика испытаний, характерные природно-климатические условия региона, а также временной фактор в совокупности обусловили формирование на территории СИП объектов с уникальными радиоэкологическими характеристиками. Объекты СИП (основные испытательные площадки и условно «фоновые» территории СИП) различаются уровнем и качественным составом радиоактивного загрязнения. Различная природа радиоактивного загрязнения на территории СИП могла привести к неоднородному характеру загрязнения почвенного покрова радионуклидами, к их различной степени подвижности и миграционной способности.

В работе исследованы формы нахождения ИРН ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am и ^{90}Sr в почвах основных объектов СИП. Объектами исследования стали: эпицентральные и межэпицентральные зоны площадки проведения воздушных и наземных взрывов «Опытное поле»; зоны следов выпадений от наземных взрывов (от испытаний 24.09.1951 г. (38 кт) и 12.08.1953 г. (400 кт); район проведения экскавационного взрыва – объект «Атомное озеро»; условно «фоновые» территории СИП (территории вне испытательных площадок, подвергшиеся влиянию глобальных выпадений и выпадений от наземных ядерных испытаний); участки влияния радиоактивных водотоков на площадке «Дегелен»; участки испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ) на площадке «4а». Исследование проводили методом последовательного экстрагирования по модифицированной схеме, предложенной Павлоцкой Ф. И.

На основе полученных результатов выявлены различия между объектами СИП. Наименьшая подвижность ИРН характерна для мест проведения наземных и экскавационных взрывов, и далее увеличивается на следах выпадений от наземных взрывов, на условно фоновых территориях. Максимальная подвижность определена в зонах влияния радиоактивных водотоков и в местах испытания БРВ. Установлено, что распределение форм нахождения ИРН в почвах объектов СИП, главным образом, определено происхождением и условиями формирования радиоактивного загрязнения почвенного покрова, а также физико-химическими свойствами радионуклидов. Низкая подвижность ИРН в почвах площадок проведения и влияния выпадений от наземных и экскавационных взрывов обусловлена исходным привнесенным состоянием ИРН в выпадениях от наземных и экскавационных взрывов. Поведение ИРН в почвах условно «фоновых» территорий, на участках влияния радиоактивных водотоков и площадки испытания БРВ определено в большей степени физико-химическими свойствами радионуклидов и механизмами взаимодействия их с почвенными компонентами. Из изученных радионуклидов данные исследования изотопа ^{90}Sr в наибольшей степени отражают различие характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова объектов СИП, доля водорастворимой формы ^{90}Sr может варьировать от <0,47 до 1,3 %, обменной – от 0,78 до 78,8 %, подвижной – от 0,34 до 38,2 %, прочносвязанной – от 7,0 до 99,0%. Выявлена корреляция между содержанием в почве обменной и кислоторастворимой формы ^{90}Sr и накоплением его зональными растениями (степным разнотравьем).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СИП, ПЛАНИРУЕМОЙ К ПЕРЕДАЧЕ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ

Н. В. Ларионова¹, П. Е. Кривицкий², А. К. Айдарханова¹, А. В. Топорова¹, В. Н. Монаенко¹,
М. Т. Абишева¹, И. А. Бачурина¹, А. В. Паницкий¹, А. О. Айдарханов¹

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

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

Для определения радиоэкологического состояния земель бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП), а также для эффективного использования незагрязненной его части с 2008 по 2021 год выполнено комплексное экологическое обследование его территории. В результате определены сверхнормативно-загрязненные земли, которые подлежат ограничению, и условно чистые территории – пригодные к передаче в хозяйственный оборот. 5 июля 2023 года подписан закон № 16-VIII ЗРК «О Семипалатинской зоне ядерной безопасности», положениями которого предусмотрено обеспечение ядерной и радиационной безопасности на загрязненных участках полигона и создание условий для передачи в хозяйственный оборот пригодных земель полигона.

Цель настоящей работы заключается в проведении дополнительных исследований почвенно-растительного покрова и водных объектов территории бывшего СИП, планируемой к передаче в народно-хозяйственный оборот. Особое внимание уделялось получению новых данных содержания естественных радионуклидов и тяжелых металлов, а также эпидемиологическому составу объектов водопользования.

В результате получены данные по распределению в почве радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , а также установлены параметры их накопления из почвы в растениях. Проведены работы по определению элементного состава (Sr, Ba, Cs, Mo, Zn, Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mg, Cd, Pb, U). Превышение кларковых значений в почве отмечается для V (в 2,3), Cr (в 3,1), Mn (в 2,6), Cu (в 8,3), Sr (в 2,9), Mo (в 7,3), Cd (в 5,4) и Pb (в 2,2). Установлено, что вода объектов водопользования СИП, отобранная на зимовках и летниках, по эпидемиологическому и радиационному составу соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям качества питьевой воды. По химическому составу, а именно 26% по уровню минерализации, 24% – по степени жесткости, 36% – по содержанию сульфатов, 10% – по содержанию хлоридов, воды объектов водопользования не соответствуют требованиям Гигиенических нормативов показателей безопасности хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Присутствия искусственных радионуклидов в количествах, превышающих значения УВ для питьевой воды на условно «фоновых» территориях не зафиксировано. Для обобщения всех полученных данных было разработано и создано Web-приложение по устойчивому управлению земельными ресурсами и водными объектами территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона, расположенными на участках, планируемых к передаче в народно-хозяйственный оборот.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В ЭКОСИСТЕМАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

С. Н. Лукашенко¹, А. В. Михайлов¹, Ж. А. Байгазинов², Д. Н. Курбаков¹,
С. А. Байгазы², А. В. Томсон¹, Е. В. Федунова¹, Е. Р. Степанянц¹, М. А. Эдомская¹

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

² АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, Казахстан

* E-mail: lukashenko.1962@mail.ru

В настоящее время содержание трития в объектах окружающей среды определяется техногенными источниками и процессами. Основным и наиболее изученным путем поступления трития в атмосферу являются выбросы предприятий атомного комплекса. В меньшей степени исследованы вопросы оценки содержания трития в атмосфере в случае наличия загрязнения тритием подземных приповерхностных вод.

В рамках данной работы проведены исследования уровней и закономерностей изменения концентрации трития в водяных парах воздуха в течение суток на естественной территории с подземным источником трития. В качестве объектов исследования были выбраны следующие участки: участок вблизи г. Обнинска, Атомное озеро (СИП), прибрежная зона р. Шаган (ВКО, Казахстан).

Выявлено, что для участка в окрестностях г. Обнинск концентрация трития в водяных парах воздуха находится в диапазоне от 1,5% до 26% и в среднем составляет ~8% от максимальной концентрации трития в свободной воде почвы. Зависимость концентрации трития водяных паров атмосферного воздуха (ТВПАВ) от времени суток носит плавный, нехаотический характер. Во всех случаях кривая зависимости имеет одинаковые структурные элементы. Обнаружен явный минимум концентрации трития в дневное время (от 10 до 15 часов) и максимумы концентраций примерно с 19 до 1 часа ночи и с 5 до 9 часов утра. Отношение максимальной суточной концентрации трития к минимальной находится в диапазоне от 2 до 13 раз, в среднем составляет около 7 раз. Точки максимумов концентраций трития водяных паров атмосферного воздуха коррелируют с временем восхода и заката Солнца.

На участке «Атомное озеро» суточная зависимость концентрации ТВПАВ носит несколько иной характер. Зависимость имеет два ярко выраженных максимума: в 10–12 часов и 22 часа, причем концентрация ТВПАВ во втором пике в 2 раза превышает значение концентрации ТВПАВ первого пика. Появление вечернего пикового значения, как и в случае участка в окрестностях г. Обнинск, наиболее вероятно объясняется поступлением трития в атмосферу посредством транспирации воды растениями. На участках, находящихся в зоне влияния р. Шаган выявлен пик концентрации ТВПАВ в утреннее время – в 5 часов утра, что также подтверждает сходность механизмов поступления трития в атмосферу как в г. Обнинск, так и на территории СИП в случае сходства исследуемых экосистем.

Несмотря на кажущуюся очевидность механизмов поступления трития в атмосферу (воздушный перенос, эманация трития с поверхности земли, транспирация тритированной воды растениями) сделать однозначный вывод об относительном вкладе каждого из возможных механизмов на основании полученных данных пока не представляется возможным. Можно однозначно сказать, что значительный вклад в поступление трития в атмосферу вносит его эманация с поверхности земли, причем на этот процесс влияет в первую очередь температура почвы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

А. С. Мамырбаева, А. К. Айдарханова, А. М. Надеева, Ж. Е. Тлеуканова

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

Растущая техногенная нагрузка оказывает долговременное воздействие на окружающую среду, в том числе и на водные объекты. В связи с чем необходимо усилить методы мониторинга водных объектов, подвергающихся техногенному загрязнению в особенности в зонах влияния ядерного топливного цикла. Для оценки степени загрязнения и установления источников формирования водных ресурсов эффективным методом является изотопная гидрология, основанная на анализе стабильных изотопов водорода и кислорода.

Целью работы является определение значений и фракционирования стабильных изотопов ^2H и ^{18}O в поверхностных и подземных водах в районах проведения наземных и подземных ядерных испытаний. Измерение отношения стабильных изотопов $^2\text{H}/^1\text{H}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в подготовленных образцах проводилось на высокочувствительном лазерном спектрометре LGR 912-0008. В качестве внутренних стандартов использовались пробы воды, откалиброванные относительно международного стандарта VSMOW (МАГАТЭ). Точность определения ^2H и ^{18}O составила $\pm 0,5\%$ и $0,1\%$ соответственно.

С целью определения исходных значений и фракционирования стабильных изотопов ^2H и ^{18}O водной среды выполнен отбор и анализ проб поверхностных подземных вод на пл. «Телькем», «Опытное поле», «Сары-Узень» и горного массива пл. «Дегелен».

По результатам исследований вод пл. «Телькем» выявлено, что на территории площадки отсутствует водообмен между подземными и поверхностными водами. Подземные воды существенно отличаются от поверхностных вод облегченными значениями изотопов (по ^2H от $-115,9$ до $-140,4\%$, по ^{18}O от $-19,0$ до $-24,8\%$) по сравнению с поверхностными водами, которые отличаются утяжеленными значениями (по ^2H от $-47,3$ до $-60,2\%$, по ^{18}O от $-5,1$ до $-1,4\%$).

В результате анализа изотопного состава вод пл. «Опытное поле» установлено, что воды имеют различный изотопный состав. Состав поверхностных вод изменяется в диапазоне значений от $-2,9$ до $-8,4\%$ по ^{18}O и от $-35,6$ до $-77,0\%$ по ^2H и относятся к водам с утяжеленным составом изотопов, которые подвергались процессу испарения, и в остаточной воде концентрировались тяжелые изотопы. Подземные воды относятся к водам с облегченным изотопным составом и находятся в диапазоне значений от $-12,1$ до $-15,7\%$ по ^{18}O и от $-95,1$ до $-101,3\%$ по ^2H , что также свидетельствует об отсутствии смешиваний с поверхностными водами и различных источниках происхождений вод. Изотопный анализ вод пл. «Сары-Узень» изменяется в диапазоне значений от $-13,7$ до $-16,6\%$ по ^{18}O и от $-105,6$ до $-116,8\%$ по ^2H . Установлено, что на изотопный состав подземных вод в наибольшей степени оказывают влияние зимне-весенние осадки. Согласно полученным результатам значений для вод пл. «Дегелен» установлено, основная часть вод площадки взаимосвязана, результаты значений изотопного анализа находятся в диапазоне по ^2H от $-86,4$ до $-104,3\%$ и по ^{18}O от $-10,6$ до $-17,5\%$. Однако, в северо-восточной и восточной части пл. «Дегелен» выделяется ряд водных объектов, находящихся в районе р. Карабулак, которые также, как и воды самого р. Карабулак отличаются утяжелением изотопов: по ^2H от $-94,3$ до -85% и по ^{18}O от $-11,7$ до $-10,8\%$.

Анализ стабильных изотопов подтвердил, что метод изотопной гидрологии является эффективным методом для идентификации происхождения вод. Данные исследования являются значимыми при проведении экологического мониторинга и оценки состояния водных ресурсов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ГОРНОМ МАССИВЕ ДЕГЕЛЕН

К. С. Минкенова, А. В. Паницкий

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

Одним из важных аспектов влияния на экосистемы является ионизирующее излучение, способное оказывать разрушительное воздействие на среду обитания различных видов растений. Проведение ядерных испытаний влечет за собой высокую дозовую нагрузку на все живые организмы, в том числе и на растения. В дальнейшем это может привести к гибели как отдельных видов, так и целых популяций. Также существует риск полного уничтожения наиболее радиочувствительных экосистем. Эффект хронического облучения, влияющий на растительные популяции, может проявляться в виде ускоренного мутационного процесса и различных адаптивных реакций на стрессовые факторы окружающей среды, в зависимости от полученной дозы.

Изучение цитогенетических эффектов хронического воздействия радиации на дикорастущие растения позволяет получить новые данные о возможных экологических последствиях в условиях природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Это позволяет оценить не только уровень радиационной безопасности окружающей среды для человека, но и для всей экосистемы. Особенно важно проведение таких исследований для региона Семипалатинского испытательного полигона (СИП), где территория загрязнена радиоактивными веществами из-за подземных испытаний. Два вида растений – шиповник (*Rosa spinosissima*) и волоснец (*Leymus angustus*), были выбраны как доминирующие растения, произрастающие на площадке «Дегелен», территории СИП. Благодаря высокой радиочувствительности и широкому распространению данных видов, их можно успешно использовать как надежные тест-объекты для оценки радиоэкологической безопасности окружающей среды, в том числе на территории СИП.

Для проведения исследования были отобраны образцы проб шиповника (*Rosa spinosissima*) в 9 исследовательских точках и волоснеца (*Leymus angustus*) в 10 точках с повышенным содержанием химических элементов и радионуклидов.

Установлена линейная зависимость роста частоты аберрантных клеток от увеличения мощности поглощенной дозы у шиповника (*Rosa spinosissima* L.) для всего рассматриваемого диапазона поглощенных доз до 1129 мкГр/сут. У волоснеца (*Leymus angustus* Trin.) такая зависимость наблюдалась в диапазоне поглощенных доз от 152 до 583 мкГр/сут.

Основную часть дозы растения получили от радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Основной вклад в формирование цитогенетических изменений у растений вносят двойные мосты, что подтверждает радиационную природу наблюдаемых эффектов.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗОТОПНЫХ СООТНОШЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

А. М. Надеева, А. С. Мамырбаева, А. К. Айдарханова

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

На сегодняшний день Казахстан сталкивается с острой проблемой истощения и загрязнения водных ресурсов. В этом контексте, атмосферные осадки играют ключевую роль как основной источник пополнения поверхностных и подземных вод. В условиях изменения климата, детальный анализ влияния осадков на качество водных ресурсов становится критически важной задачей. Для получения полной информации о происхождении природных водных масс все более широкое применение находит изотопная гидрология. Этот перспективный метод позволяет использовать стабильные изотопы (^2H и ^{18}O) в качестве «трассеров», что дает уникальную возможность достоверно выявить взаимосвязь между атмосферными осадками, поверхностными и подземными водами.

В качестве объекта настоящего исследования выбрана территория села Бескарагай, что обусловлено ее гидрогеологическими особенностями, способствующими значительному скоплению пресных поверхностных и подземных водных ресурсов. С ежемесячной периодичностью на протяжении года, на данной территории был осуществлен отбор образцов из 11-ти водных объектов различного типа (озера, р. Иртыш, скважины). Отбор проб атмосферных осадков осуществлялся с использованием пробоотборников Третьякова и RAIN SAMPLER 1C. Анализ изотопного состава водорода и кислорода в образцах проводился методом лазерной абсорбционной спектроскопии на приборе LGR 912-0008. Определение химического состава воды было выполнено с использованием комплекса аналитических методов, таких как титриметрия, гравиметрия, масс-спектрометрия, кондуктометрия, потенциометрия и спектрофотометрия.

Анализ химического и изотопного состава выявил четкую взаимосвязь между атмосферными осадками и процессами формирования поверхностных и подземных вод исследуемой территории. Так, ключевую роль в питании озер в весеннее время играют талые воды, что проявляется в снижении минерализации и облегчении изотопного состава. В летне-осенний период в озерах наблюдается утяжеление изотопного состава и увеличение минерализации, вызванное испарительным фракционированием и концентрированием растворенных веществ. Исключением из данной закономерности является р. Иртыш, изотопный состав которой демонстрирует относительную стабильность на протяжении всего периода исследования (по $\delta^2\text{H}$ от -101‰ до -110‰ , по $\delta^{18}\text{O}$ от -13‰ до -16‰). Подземные воды глубиной залегания до 15 метров демонстрируют относительную стабильность минерализации и изотопного состава (по $\delta^2\text{H}$ от -116‰ до -123‰ , по $\delta^{18}\text{O}$ от -15‰ до -17‰), соответствующим изотопному составу зимних атмосферных осадков данного региона. Это подтверждает преобладающее питание подземных вод за счет талых снеговых вод на протяжении всего периода исследования и ограниченность влияния поверхностных вод. Исключение составляет скважина № 2, «тяжелый» изотопный состав и среднегодовая минерализация (1295 мг/дм^3), соответствующая слабосоленоватому подклассу вод, свидетельствуют о значительной инфильтрации поверхностных вод с повышенной минерализацией.

Таким образом, результаты исследований подтверждают ключевую роль атмосферных осадков в питании как поверхностных, так и подземных вод данной территории, что находит отражение в сезонных изменениях их химического и изотопного состава.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. В. Паницкий, С. А. Байгазы, И. А. Александрович, А. Р. Кожобекова

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

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) существуют участки с высокими значениями содержания техногенных радионуклидов в почве, растительности и воде. В связи с этим нами постоянно проводятся исследования радиоэкологического состояния отдельных представителей фауны, обитающих на территории СИП. Производятся определения содержания радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^3H в организме (тканях и органах) диких животных, в том числе птиц и рыб. Также производились определение содержания этих радионуклидов в компонентах природной среды их мест обитания и расчет параметров перехода радионуклидов в организм животных. В отдельных случаях определение содержания радионуклидов в организме животных проведено расчетным методом, который основан на измерениях рациона животных и его фекалий, т.е. без изъятия животных из природной среды. Для этого на всей территории СИП произведен отбор фекалий крупных копытных животных по относительно равномерной сети. Такая оценка проведена для копытных животных лося, сайгака и косули.

Проведенные исследования показывают, что содержание радионуклидов в организме диких животных, обитающих на различных участках СИП различно. При определенных условиях животные могут вносить существенный вклад в перераспределение радионуклидов в природной среде. При этом переход радионуклидов в организм животных зависит от исходных уровней содержания радионуклидов в компонентах среды обитания, размеров участков загрязнения, форм нахождения радионуклидов в почве и поведенческих особенностей животных. Высокие значения удельных активностей радионуклидов в организме диких животных отмечаются при условии их непосредственного проживания на локальных участках загрязнения и низком радиусе суточной активности этих животных. При удалении от участков загрязнения на расстояние, превышающее радиус активности животных, высоких значений удельной активности радионуклидов в животных не фиксируется. В экосистемах, сопряженных с радиоактивными водотоками, основным радионуклидом, вносящим вклад в загрязнение животных, является ^{137}Cs и ^3H . На участках испытания БРВ – ^{90}Sr . В случае с рыбой, при ее обитании в замкнутых водоемах (например, воронка от ядерного испытания) отмечаются повышенные значения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H в организме рыб. Для отдельных видов животных установлены параметры перехода радионуклидов из рациона в ткани и органы этих животных. При этом, оценка параметров перехода радионуклидов в организм представителей фауны проводится как в условиях полевых экспериментов, так и в условиях лабораторных экспериментов с использованием радиоактивно-загрязненных компонентов природной среды. Например, в 2025 г. проведен лабораторный аквариумный эксперимент с рыбами, в результате которого получены некоторые параметры перехода радионуклидов из воды в организм рыб.

В целом, проведенные исследования позволяют говорить о том, что на территории СИП, на которой не проводились испытания ядерного оружия, превышения допустимых значений удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в организме диких животных, не ожидается. Высокие значения наблюдаются в организме животных с низким радиусом активности, локализованных непосредственно в экосистемах, имеющих сильное радиоактивное загрязнение.

ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ESAP АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» 2019-2024 гг.

Ю. Г. Перменев, О. А. Агапов, Н. А. Большакова

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

На сегодняшний день АО «НАК «Казатомпром» (далее – Общество), находится на стадии активного перехода от управления в сфере охраны ОС согласно (только) казахстанскому экологическому законодательству (строгий контроль за соблюдением установленных нормативов воздействия на ОС, регулярная экологическая отчетность, реализация природоохранных мероприятий) к управлению, основанному на заблаговременной оценке и предупреждению экологических рисков, в том числе и для местного сообщества, привлечении заинтересованных сторон к вопросам охраны и восстановления ОС, биоразнообразия.

С момента получения статуса публичной компании (ИПО, 2018 г.) Общество повышает уровень управления в экологической сфере деятельности в соответствии с ESG-принципами устойчивого развития и международными стандартами, обеспечивает должный уровень прозрачности, публикуя данные о воздействии

на ОС и результаты реализации экологических исследований в отчете об устойчивом развитии Общества. По оценке Pricewaterhouse Coopers (PwC, международная сеть компаний, предлагающих услуги в области консалтинга и аудита) Казатомпром в последние несколько лет (2020–2023 гг.) входит в тройку лидеров ESG-рейтинга казахстанских компаний.

В целях обеспечения экологических основ устойчивого развития Общество реализовало (2019-2024 гг.) Дорожную карту по реализации Плана мероприятий в экологической и социальной сферах деятельности АО «НАК «Казатомпром» (ESAP), включающую комплекс программ и проектов по экологическому мониторингу территорий уранодобывающих рудников и прилегающих к ним территорий и оценке воздействия уранодобывающей деятельности на ОС и местное сообщество, сохранению биоразнообразия, повышению качества управления отходами с акцентом на сокращение объемов их образования и опасности, разработке технологий их повторного использования, совершенствованию ВНД в эколого-социальной сфере.

Реализация ESAP заложила основы экологической сферы деятельности уранодобывающих ДЗО в соответствии с ESG-принципами устойчивого развития:

- определены территории для экологического мониторинга и оценки воздействия уранодобывающей деятельности на ОС, потенциальные пути и маркеры воздействия на ОС;
- собран материал (2020-2024 гг.) о состоянии объектов ОС – почва, поверхностные и подземные воды, атмосферные осадки – на производственных и прилегающих к ним территориях, на фоновых территориях и ближайших населенных пунктах;
- дана оценка современного состояния биоразнообразия в уранодобывающих регионах, определены ценность биоразнообразия (редкие, краснокнижные виды), состояние мест обитания животных, разработаны рекомендации по сохранению биоразнообразия, защите птиц от воздействия воздушных линий электропередач;
- внедрены методы оценки антропогенной нарушенности почвенно-растительного покрова с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого пространственного разрешения, созданы картограммы состояния почвенно-растительного покрова, определены факторы и степень антропогенного воздействия;
- сформирована геоинформационная (ГИС) база данных по результатам проведенных исследований;
- сформирован перечень экологических рисков, подходов к организации риск-ориентированной деятельности предприятий;
- проведено социальное сканирование в уранодобывающих регионах, идентифицированы заинтересованные стороны и социальные риски, выявлены проблемные вопросы, в том числе в экологической сфере, отношение местного сообщества к уранодобывающей деятельности и даны предложения к улучшению взаимодействия;
- разработаны рекомендации по совершенствованию экологической отчетности уранодобывающих предприятий в соответствии с международными стандартами GRI в области экологии (GRI 303 «Вода и сбросы», GRI 305 «Выбросы» и GRI 306 «Отходы»);
- даны предложения по минимизации негативного воздействия на ОС и местное сообщество, по актуализации ВНД в эколого-социальной сфере деятельности (Программа ПЭК, План управления в области охраны ОС, План действий по ликвидации чрезвычайных ситуаций, План ликвидации последствий недропользования);
- даны предложения к улучшению системы управления отходами производства и потребления (ОПП) на дочерних и зависимых организациях (ДЗО), исходя из требований Экологического кодекса РК и раскрытия информации в соответствии со стандартом GRI 306, унифицированы наименования ОПП в соответствии с новой редакцией Классификатора отходов РК.

На сегодняшний день все мероприятия дорожной карты ESAP выполнены в полном объеме.

В рамках ESAP на основе полученных результатов для каждой ДЗО разработаны рекомендации по минимизации негативного воздействия уранодобывающей деятельности на ОС, сохранению биоразнообразия, обращению с отходами, актуализации ВНД в эколого-социальной сфере, детально проанализированы экологические и социальные риски. Рекомендации разработаны с максимальным охватом экологических и социальных аспектов и рисков. На следующем этапе ДЗО, в соответствии с имеющимися возможностями и актуальностью тех или иных проблемных вопросов, надлежит приступить к внедрению данных рекомендаций.

Реализация ESAP позволила Обществу достичь высоких рейтингов от международных рейтинговых агентств:

- в 2021 году по оценкам PwC-Казахстан АО «НАК «Казатомпром» заняло 1 место в ESG-рейтинге среди предприятий Казахстана;
- в 2022 году – 2-ое место (1-е место среди горнодобывающих предприятий) и ESG-оценку на уровне 51 по оценкам S&P Global Ratings;
- в 2023 году АО «НАК «Казатомпром» вошло в ТОП-50 горнорудных компаний мира;
- в 2024 году, по версии журнала TIME Magazine, АО «НАК «Казатомпром» вошло в список ТОП-500 «Лучших компаний мира в области устойчивого развития», заняв 126 строчку рейтинга и 6 место среди компаний в секторе производства ресурсов и инфраструктуры.

Данные достижения показывают уровень доверия международных институтов, которое может служить показателем надежности устойчивого развития, что, в свою очередь, может оказывать влияние на стоимость акций АО «НАК «Казатомпром». С момента выхода на IPO и начала реализации ESAP по 2024 год рыночная капитализация АО «НАК «Казатомпром» увеличилась с 3 до 12 млрд долларов США.

Реализация Дорожной карты ESAP позволило Обществу добиться значительных результатов, для сохранения высоких рейтингов и удержания лидерских позиций Общество должно продолжить реализацию программ/проектов по обеспечению экологической устойчивости, мониторингу состояния объектов ОС, восстановлению биоразнообразия, научные исследования по управлению промышленными отходами и внедрению ресурсосберегающих технологий, разработке наилучших практик по борьбе с изменением климата с учетом уже имеющихся наработок и достигнутых результатов.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРОЧНОСВЯЗАННОГО ТРИТИЯ В ПОЧВЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Е. Н. Поливкина, Л. В. Тимонова, Е. В. Романенко, А. В. Паницкий

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

В радиоактивном загрязнении окружающей среды на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) особое место занимает радионуклид тритий (^3H), который до сих пор фиксируется в значимых количествах во всех компонентах окружающей среды как на радиоактивно-загрязненных участках, так и на прилегающих территориях. Почва является главным депонирующим звеном, а растения, наоборот, способны извлекать радионуклиды из почвы и вовлекать их в дальнейшие биогеохимические циклы, в частности, через трофическую структуру экосистемы. Учитывая предполагаемое строительство АЭС на территории Республики Казахстан, изучение биологической доступности различных форм трития в почве имеет высокую экологическую значимость. Прочносвязанный тритий (ТВТ) в почве СИП является малоизученным с точки зрения его биологической доступности. В данной работе представлены результаты многолетних исследований (2018–2023 гг.) биологической доступности ТВТ в почве.

Изучение поглощения прочносвязанного трития растениями проводили в полевых и лабораторных условиях. Полевые исследования проведены в эпицентральных зонах Семипалатинского полигона с использованием доминантных и субдоминантных видов *Sisymbrium loeselii*, *Artemisia marschalliana*, *Stipa capillata*, *Caragana pumila*. Лабораторные исследования проведены в оранжерее с использованием овощных культур подсолнечника (*Helianthus Annuus*), фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*), огурца (*Cucumis sativus*), капусты огородной (*Brassica oleracea*), редиса (*Raphanus raphanistrum*) и салата (*Lactuca sativa*).

Свободные формы ^3H выделялась из почвы методом дистилляции при различной температуре. Для определения прочносвязанных форм ^3H применяли метод автоклавного разложения. Свободную воду тканей растений извлекали с помощью специального запатентованного устройства. Для определения ОСТ в растительных образцах использовался метод сжигания на установке Sample Oxidizer (PerkinElmer model No. 307, USA). Удельную активности ^3H измеряли методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии.

Установлено, что биологическая доступность ТВТ для растений связана с процессами его выщелачивания. В целом, процесс выщелачивания ТВТ подтверждает значительное снижение его концентрации с 2018 по 2023 гг. на 29 кБк/кг, где на долю ядерного распада приходится 48%, а на выщелачивание – 52%. Основным фактором выщелачивания является водный режим, что подтверждает установленная в лабораторном эксперименте умеренная корреляционная зависимость ($r=0,47$ at $p=0,05$) между влажностью почвы и активностью свободного трития в почвенном образце с высоким содержанием ТВТ. Оценка видовых различий в поглощении и инкорпорировании ТВТ из почвы в лабораторных условиях, а также установленные значения соотношений ОСТ/НТО и ОСТ/ТСВ указывают на то, что растения в процессе минерального питания способны мобилизовать тритий из твердой фазы почвы в биодоступные формы.

В целом, результаты представленного исследования имеют большое значение для более глубокого понимания механизмов поглощения прочносвязанных соединений трития растениями из почвы для прогнозирования его поведения и миграции не только в экосистеме СИП, но и в районах захоронения РАО.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНЕ АЭС: ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И РАДИАЦИОННО- ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Н. И. Санжарова, С. В. Фесенко

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия*

Интенсивное развитие атомной энергетики определило в качестве ключевой проблемы прогнозирование последствий функционирования атомных электростанций при различных радиологических ситуациях с учетом их размещения на территориях с разными природно-климатическими условиями, что определяет специфику их воздействия на окружающую среду. Инженерно-экологические изыскания и радиационно-экологический мониторинг являются обязательными элементами оценки функционирования АЭС от обоснования инвестиций до вывода из эксплуатации.

Инженерно-экологические изыскания выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможного изменения окружающей среды при строительстве и эксплуатации объектов. Основные задачи: сбор данных о состоянии природной среды; хозяйственное использование, социально-экономическое и медико-биологическое состояние территории; проведение эколого-гидрологических, биологических, геоэкологических, почвенных и других исследований; изучение радиоактивного и химического загрязнения воздуха, вод, почв, грунтов, продуктов питания. Полученная информация является основанием для оценки фоновых состояний территории строительства, а также для прогнозирования последствий функционирования АЭС.

Для корректной оценки воздействия АЭС на окружающую среду, а также учета региональных особенностей создаются системы радиоэкологического мониторинга. Основной целью мониторинга является получение информации о воздействии выбросов и сбросов АЭС на окружающую среду для оценки ее состояния, прогнозирования последствий и оперативного информирования регулирующих органов об изменениях экологической обстановки. Алгоритм организации системы мониторинга включает разработку Программы и регламентов мониторинга. Регламент мониторинга включает: объекты мониторинга; наблюдаемые параметры; периодичность проведения наблюдений; способы определения параметров; методы анализа. Основой мониторинга является сеть контрольных участков мониторинга, которая создается с учетом существующих фоновых уровней радиоактивного загрязнения, зоны возможного воздействия выбросов и сбросов АЭС, преимущественного направления «розы ветров», ландшафтных и почвенных условий, характера хозяйственной деятельности и др. На современном этапе широко используются ГИС-технологии для визуализации данных мониторинга, а также базы данных для аккумуляции и систематизации информации.

Оценка влияния АЭС оценивается на основании совместного анализа последствий воздействия как на человека (персонал, население), так и на окружающую среду (природные и аграрные экосистемы). Выбор объектов мониторинга проводится, в первую очередь, на основании анализа данных о выбросах и сбросах АЭС с учетом всех потенциально реализуемых путей облучения населения. При прогнозировании ситуации и обосновании радиационной безопасности объектов ЯТЦ проводится оценка дозовых нагрузок на человека и референтные виды биоты с использованием рекомендованных МАГАТЭ современных программных средств: ERICA (оценка продолжительного радиационного воздействия на компоненты биоты), CROM (оценка доз облучения населения с учетом разных путей поступления радионуклидов), RESRAD-BIOTA (оценка поглощенных доз для биоты при непрерывном радиационном воздействии).

Авария на ЧАЭС определила принципиально новый этап в понимании безопасности АЭС – помимо обеспечения технологической безопасности, развитие атомной энергетики ставится в прямую зависимость от решения экологических проблем.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. А. Сарсенова, А. К. Айдарханова, А. С. Мамырбаева, Ж. Е. Тлеуканова

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

Почвы лесных экосистем являются важнейшим резервуаром органического углерода и играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле. Изучение распределения радиоуглерода и стабильных изотопов углерода в почвах позволяет понять процессы трансформации органического вещества и оценить влияние как природных, так и антропогенных факторов на углеродный обмен. Особую актуальность данное направление исследований имеет для Казахстана, где лесные экосистемы занимают относительно небольшую площадь, но обладают высокой экологической ценностью.

Цель работы заключалась в оценке распределения радиоуглерода и стабильных изотопов углерода в почвах лесных экосистем равнинной части Казахстана. Объектами исследования стали почвы лесных экосистем Бескарагайского района области Абай и Бурабайского района Акмолинской области. Пробы почвы отбирались послойно до глубины 50 см, с интервалом 10 см. Также на каждом участке проводился отбор поверхностного растительного слоя – лесной подстилки. Методология включала подготовку проб с использованием автоматизированной системы Pyrolyser-6 Trio и определение активности радиоуглерода методом жидкостно-сцинтилляционного счета. Дополнительно проводился анализ стабильных изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$, F^{14}C и радиоуглеродного возраста органического вещества, что позволяет выделить как современную, так и древнюю фракции углерода в почвах и определить его происхождение и возраст. Определение проводилось методом ускорительной масс-спектрометрии. Для комплексной характеристики почв определялись также физико-химические параметры – содержание органического вещества, механический состав и гигроскопическая влага.

Результаты определения удельной активности радиоуглерода в лесной подстилке и почвенном профиле показали, что наибольшие значения удельной активности ^{14}C фиксировались в лесной подстилке: 410 ± 60 Бк/кг в осиновом и 340 ± 50 Бк/кг в сосновом лесу Бескарагайского района. Наблюдается закономерное снижение концентрации радиоуглерода с глубиной: начиная с горизонтов 30–40 см. Высокие концентрации «бомбового» ^{14}C в почвах Бескарагайского района связаны с последствиями ядерных испытаний и подтверждают значимость исторического техногенного фактора в формировании современного углеродного профиля. В почвах Бурабайского района активность была значительно ниже (от 10 ± 3 до 50 ± 8 Бк/кг в подстилке и < 6 Бк/кг в почвенном профиле). Физико-химические свойства почв также оказали существенное влияние на распределение и накопление радиоуглерода: в почвах с высоким содержанием органического вещества и более тяжелым механическим составом наблюдалась сорбция и аккумуляция радиоуглерода. Изотопный анализ $\delta^{13}\text{C}$ показал доминирование растительности C_3 -типа (лиственные и хвойные леса), что характерно для умеренных широт. Значения F^{14}C выявили существенные различия: в почвах Бескарагайского района фиксировался «бомбовый» углерод ($\text{F}^{14}\text{C} > 1$), тогда как в Бурабайском районе преобладала древняя органика с радиоуглеродным возрастом до 2000 лет и более.

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить закономерности в распределении радиоуглерода и стабильных изотопов углерода в почвах лесных экосистем Казахстана. Была установлена связь этих процессов как с природными факторами (физико-химические свойства почв), так и с историческим техногенным наследием (ядерные испытания). Полученные данные имеют важное значение для понимания углеродного цикла, оценки влияния ядерного наследия Семипалатинского полигона и прогнозирования динамики углерода в условиях глобальных климатических изменений.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАЛЫХ РЕК г. РИДДЕР

С. Д. Смирнов, А. Ж. Ташекова

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

Малые реки представляют собой ключевые индикаторы антропогенной трансформации природных геосистем, особенно в регионах с интенсивной промышленной деятельностью. В условиях города Риддер – территории с многолетней историей горнодобывающего производства – малые водотоки подвержены систематическому техногенному влиянию, обусловленному стоками с отвалов, хвостохранилищ и промышленных объектов.

Для комплексной оценки экологического состояния девяти малых рек бассейна р. Иртыш в условиях интенсивного антропогенного воздействия проведены полевые экспедиции с отбором проб воды, донных отложений и гидробионтов на участках с предполагаемой высокой нагрузкой и в фоновых зонах. В лабораторных условиях выполнены гидрохимический, элементный и радиометрический анализы, а также биологический мониторинг с использованием индексов сапробности и оценки состояния макрозообентоса. Химический анализ показал, что превышений ПДК основных ионов в воде малых рек города Риддер не наблюдается, за исключением превышений ПДК по жёсткости воды в р. Филипповке. Результаты анализа показали, что содержание естественных радионуклидов (ЕРН) в воде находится ниже предела обнаружения используемых методов и существенно ниже уровня вмешательства, установленного нормами радиационной безопасности Республики Казахстан. В донных отложениях содержание ЕРН находится на уровне фоновых значений для Казахстана. Радионуклидный состав доминантного вида растений – тростника (*Phragmites australis*) в изучаемом регионе содержит численные значения природных радионуклидов, среди которых наиболее значимым являются ^{40}K . Концентрации тяжелых металлов в поверхностных водах в большинстве случаев соответствуют санитарным нормам. Выявлены локальные превышения ПДК: по кадмию – до 21 ПДК (р. Ульба), по марганцу и железу – до 3 ПДК (р. Брекса и р. Филипповка). Особенно высока степень загрязнения донных отложений, где концентрации тяжёлых металлов достигают критических значений: свинец – до 438 ПДК, медь – до 25 ПДК, цинк – до 9,2 ПДК (р. Филипповка). При этом вода и донные отложения всех рек, кроме р. Громатуха, характеризуются повышенным содержанием цинка – в 4–308 раз выше среднемировых показателей.

Биологический мониторинг подтвердил трансформацию экосистем: подавляющее большинство рек оценены как умеренно загрязнённые (III класс качества) по индексам сапробности и макрозообентосу. Исключение составляет р. Громатуха, сохранившая признаки чистых вод (II класс). Особую тревогу вызывает установленная биоаккумуляция токсичных элементов в трофических цепях водных экосистем. В доминирующих видах растений, в тростнике (*Phragmites australis*), а также в рыбах – таких как гольян (*Phoxinus phoxinus*), карась (*Carassius carassius*) и окунь (*Perca fluviatilis*), – зафиксированы значительные превышения среднемировых фоновых уровней по тяжёлым металлам: по кадмию – в 37–82 раза, по свинцу и цинку – в десятки раз. Особенно высокие концентрации кадмия и свинца обнаружены в мышцах и внутренних органах гольяна обыкновенного (*Phoxinus phoxinus*), отловленного в реках Ульба и Филипповка, где их содержание превысило допустимые нормы ВОЗ, что указывает на потенциальную опасность для здоровья организмов, включая человека, при длительном потреблении такой рыбы.

Полученные данные подтверждают формирование устойчивого техногенного фона загрязнения в водосборах ряда рек, несмотря на относительную удовлетворительность показателей качества воды по санитарным нормам. Выявлены существенные накопления тяжёлых металлов в донных отложениях и живых организмах, свидетельствующие о высокой экологической уязвимости данных водотоков.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ПОСЕЛКА САУМАЛКОЛЬ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Б. Субботин¹, П. Е. Кривицкий², Н. В. Ларионова¹, А. К. Айдарханова¹,
А. С. Мамырбаева¹, Ж. Е. Тлеуканова¹, И. А. Александрович¹,
М. В. Скрипников¹, И. А. Бачурина¹, Р. Г. Ермакова¹

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

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

Добыча урана на месторождении «Грачевское» проводилась с середины 80-х до конца 90-х годов прошлого столетия. Она осуществлялась подземным шахтным способом. Далее проводилось частичное обогащение руды методом кучного выщелачивания, после чего в контейнерах по железной дороге транспортировалась на Степногорский горно-металлургический завод. Последовавшие изменения конъюнктуры в отношении уранового сырья привели к свертыванию добычи урана и консервации производства урана в Северном Казахстане.

Поселок Саумалколь является районным центром и расположен в 5-ти километрах к юго-востоку от ЗУДП «Грачевское». Для оценки возможного поступления радионуклидов с месторождения «Грачевское» на территорию поселка изучались следующие пути: с атмосферным воздухом, загрязнение в результате транспортировки руды автомобильным и железнодорожным транспортом, оценка радиационного состояния дикорастущей растительности, продуктов сельскохозяйственного производства и подземных вод.

По результатам обследования в районе расположения ЗУДП «Грачевское» и в поселке Саумалколь на дневной поверхности обнаружены участки с повышенным содержанием радионуклидов. На территории ЗУДП «Грачевское» очаги радиоактивного загрязнения связаны с последствиями добычи и консервации урановой руды.

В северо-западной части поселка в районе карьера участки с повышенным содержанием радионуклидов обусловлены выходом коры выветривания скальных пород на дневную поверхность. Наличие участков автомобильной дороги с повышенными значениями радионуклидов обусловлено использованием местных грунтов с повышенными значениями радионуклидов при строительстве данной автодороги. По уровню удельной активности почвы с территории расположения поселка могут использоваться для изготовления строительных материалов II класса (ГН СЭТОРБ РК (п. 31)).

Основное обеспечение поселка питьевой водой осуществляется с центрального водозабора, где вода полностью соответствует нормативным требованиям. Кроме этого, местное население поселка использует для питьевых целей воду из скважин, пробуренных на территории поселка, в которой значения суммарной α -активности существенно превышают показатели радиационной безопасности питьевой воды, установленные Гигиеническими нормативами в Республике Казахстан. Повышение концентрации урана в подземных водах поселка за 20 лет после закрытия рудника, возможно, связано с поступлением загрязненных подземных вод из затопленных горных выработок ЗУДП «Грачевское». Таким образом, радиоактивное загрязнение подземных вод может являться одним из основных факторов последствий добычи урана на месторождении «Грачевское», влияющих на радиэкологическую обстановку поселка Саумалколь.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ *PHASEOLUS VULGARIS* В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА

Е. С. Сысоева, Е. Н. Поливкина

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

Стресс у растений представляет собой состояние, при котором под действием внешнего фактора на организм сначала происходит нарушение функционального состояния, затем его нормализация и итоговое повышение сопротивляемости. Ионизирующее излучение, как стрессовый фактор, приводит к адапционным процессам, влияющим на выживаемость, рост и развитие растений. В данном аспекте изучение проводящих тканей помогает понять механизмы накопления и распределения радионуклидов в растениях, а также изучить стратегии адаптации растительных популяций к стрессовому фактору окружающей среды.

В качестве экспериментальной культуры использовали фасоль обыкновенную (*Phaseolus vulgaris*). Выбор исследуемой культуры обусловлен коротким вегетационным периодом, устойчивостью к вредителям и болезням. Фасоль выращивали в контролируемых условиях экспериментальной оранжереи на почвенных образцах с территории площадки «4А». Основным загрязнителем в почве данной площадки является радионуклид Sr-90, активность которого достигает $5 \cdot 10^8$ Бк/кг. Контрольную группу растений выращивали на фоновой почве с идентичными физико-химическими свойствами. Образцы листьев и стеблей отбирали после их полного формирования в конце вегетационного развития, затем консервировали с использованием Копенгагенской смеси (70% спирта, 27% воды и 3% глицерина). Из консервированных образцов получали срезы при помощи санного микротомы МЗП-01 «Техном» (РФ).

Для 3-х последовательных поколений фасоли установлены достоверные изменения толщины проводящих тканей (при $p < 0,05$). Максимальные значения исследуемых параметров отмечены в 1-ом поколении: толщина ксилемы и флоэмы стебля составила 202 и 187, а листа – 101 и 88 мкм. Меньшие значения отмечены для тканей стебля и листа 2-го и 3-го поколения. Так, толщина ксилемы стебля составила 189 и 120, а флоэмы – 175 и 109 мкм. У листьев 2-го и 3-го поколения толщина ксилемы составила – 91 и 74, а флоэмы – 85 и 71 мкм, соответственно. Минимальные значения толщины проводящих тканей отмечены для контрольной группы: толщина ксилемы стебля и листа – 119 и 71, толщина флоэмы стебля и листа – 107 и 68 мкм. Сравнительный анализ результатов показал, что толщина ксилемы стебля и листа в экспериментальной группе 1-го, 2-го и 3-го поколения больше, чем в контрольной в среднем на 42, 37, 2 и 29, 23, 6%, соответственно. Разница в толщине флоэмы стебля и листа 1-го, 2-го и 3-го поколения относительно контроля составила 43, 38, 2% и 22, 3, 3%, соответственно. При этом необходимо отметить, что толщина проводящих тканей фасоли 3-го поколения практически не отличалась от контроля.

В результате проведенного исследования установлено, что высокий уровень удельной активности Sr-90 в почве оказывает значительное влияние на толщину проводящих тканей фасоли. Толщина проводящих тканей в 3-х последовательных поколениях фасоли изменялась в убывающем ряду: 1-ое поколение > 2-ое поколение > 3-е поколение $\geq$ контрольная группа. Установленное увеличение толщины проводящих тканей стебля и листа фасоли является ответной реакцией на стресс и направлено на поддержание гомеостаза на тканевом уровне биологической организации. Полученные закономерности характеризуют механизмы адаптации растений к высокому уровню загрязнения почвы радионуклидом Sr-90.

Исследования выполнены в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR24792713).

ТРИТИЙ В ПОЧВЕННОЙ СРЕДЕ СИП

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

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

На территории СИП и некоторых участках, прилегающих к его испытательным площадкам, радиационная ситуация по уровню содержания ^3H схожа с условиями при возникновении аварий на предприятиях ядерного топливного цикла. В результате многочисленных исследований на территории СИП установлено, что значимые концентрации ^3H и в настоящее время фиксируются в природных объектах.

Методология данных проведенных исследований заключалась в сравнении уровней содержания и распределения ^3H в почве испытательных площадок территории СИП, а также в выявлении механизма образования ^3H . Дополнением к исследовательской работе являлся сравнительный анализ содержания ^3H в других объектах окружающей среды, что является весьма важным с точки зрения мониторинга/ремедиации территорий. С этой целью дополнительными объектами выбраны растительность, вода и атмосферный воздух.

В ходе исследований использовались радиоактивно загрязненные участки испытательных площадок СИП: «Опытное поле», территория «Атомного» озера, «Сары-Узень», «Балапан», «Дегелен». Максимальная концентрация ^3H в поверхностном слое почвы выявлена на гребне воронки «Атомного» озера. Удельная активность ^3H на данном участке достигает 240 000 Бк/кг. На территории «Опытного поля» ^3H в почве фиксируется с менее высоким значением удельной активности – 185 000 Бк/кг, на площадке «Балапан» – порядка 115 000 Бк/кг, на территории площадки «Сары-Узень» – 69 000 Бк/кг. Почва на площадке «Дегелен» представлена с наименьшим тритиевым загрязнением – 6 000 Бк/кг.

Также в ходе исследований на таких площадках как «Дегелен» (прибрежная зона ручьев), «Балапан» (прибрежная зона р. Шаган), «Сары-узень» (территория испытательных скважин 101, 125, 1003, 131, 129 и 2803) изучены формы нахождения ^3H . Установлено, что на исследуемых участках в почве площадки «Дегелен» преобладают формы, содержащиеся в виде свободной воды, а именно ^3H в поверхностно-адсорбированной воде. Среднее процентное содержание ^3H в поверхностно-адсорбированной воде составило порядка 88%. Содержание органически связанного ^3H не значительно – 12%. В почве площадки «Сары-Узень» на территории скважины 101 преобладает связанная форма ^3H , а именно органически связанный ^3H . На территории скважины 125 за навалом воронки 50% составляют свободные формы ^3H и 50% связанные формы, внутри воронки преобладает связанная форма в виде органического ^3H . В районе других исследуемых скважин 1003, 131, 129 и 2803 преимущественно доминирует ^3H в свободных формах. Из всех скважин можно выделить территорию скважины 125, в почве которой содержится не только органически связанный ^3H , но и кристаллически связанный, чего нельзя сказать про почву других скважин. Результаты определения форм нахождения ^3H в почве прибрежной зоны р. Шаган показали, что ^3H содержится только в поверхностно-адсорбированной воде.

Образование ^3H обусловлено как минимум, двумя механизмами: процесс нейтронной активации и захват ^3H , изначально присутствовавший в заряде, минеральными частицами, образующимися при конденсации из раскаленной зоны взрыва.

Проведенные исследования позволяют предположить, что в процессах миграции ^3H в природной системе ключевую роль играет вода. Второй по значимости, но не менее важной составляющей, является почва и все живущие в ней микроорганизмы растительного и животного происхождения.

МЕМБРАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ, КАК МЕТОД ОЧИСТКИ ВОД ОТ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Ж. Е. Тлеуканова, А. К. Айдарханова, Р. Г. Ермакова,
А. С. Мамырбаева, А. Г. Захарьянова, Б. Е. Мәден

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

В Казахстане источниками радионуклидного загрязнения водных объектов являются предприятия горнодобывающей промышленности, разработка урановых месторождений, производство ядерного топлива для

атомных реакторов, хвостохранилища отходов различных производств, а также существенное влияние на загрязнение техногенными радионуклидами могли оказать испытания ядерного оружия, проводившиеся на Семипалатинском испытательном полигоне. Существует ряд методов по очистке вод от радионуклидного загрязнения. Одним из наиболее эффективных методов является мембранная фильтрация. Данный метод основан на удалении взвешенных веществ из воды с использованием фильтрующих материалов с различным диаметром пор.

В данной работе представлены результаты по очистке вод территории СИП от техногенных радионуклидов с применением метода мембранной фильтрации. Были отобраны пробы воды с водотока шт. 609 площадки «Дегелен», воронки Телькем-1 площадки «Телькем» и воронки В-1 площадки «Опытное поле». С целью определения начального содержания радионуклидов ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в отобранных пробах воды, после предварительной пробоподготовки, выполнены γ - и α -спектрометрические измерения. Также была проведена последовательная мембранная фильтрация проб воды через фильтры с диаметром пор 8; 1; 0,45; 0,1 мкм. В фильтрах после каждой ступени фильтрации было определено содержание радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

Одним из основных параметров, влияющих на очистку вод от радионуклидов методом фильтрации, является формы нахождения данных радионуклидов. Известно, что ^{90}Sr в воде находится преимущественно в растворенной форме (размер частиц $<0,003$ мкм). Соответственно, применение метода фильтрации в качестве очистки воды от ^{90}Sr нецелесообразно.

Согласно полученным данным в воде с водотока шт. 609 и воронки В-1 радионуклид ^{137}Cs находится в виде грубой взвеси (> 8), в воде воронки Телькем-1 93% данного радионуклида находится в грубой взвеси и 7% распределено в виде взвешенных веществ. В процессе последующей фильтрации через фильтры с диаметрами пор 0,45 и 0,1 мкм содержание ^{137}Cs в фильтрате находилось ниже предела обнаружения используемого аппаратно-методического обеспечения. Это указывает на полное удаление радионуклида ^{137}Cs из исследуемых вод на первых ступенях фильтрации.

Преимущественной формой нахождения $^{239+240}\text{Pu}$ в воде воронки В-1 является грубое вещество, в воде воронки Телькем-1 данный радионуклид распределен в виде грубых и взвешенных веществ, а также в виде коллоидов различного размера. Степень очистки исследуемых вод от радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ составила 98% для воды воронки Телькем-1 и 100% для воды воронки В-1. В воде с водотока шт. 609 содержание $^{239+240}\text{Pu}$ находилось ниже предела обнаружения.

Таким образом, полученные результаты показали высокую эффективность применения метода мембранной фильтрации для очистки исследованных вод территории СИП от радионуклидов ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ МЕСТНОСТИ КОМПЛЕКСОМ РАДИАЦИОННОГО СКАНИРОВАНИЯ МКГ-АТ6111, ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

А. Н. Толкачёв, А. А. Загороднюк, А. О. Ничипорчук, О. А. Нахайчук

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Беларусь

При проведении геологоразведочных работ, поиске радиоактивных руд и сопутствующих им полезных ископаемых используют также метод пешеходного сканирования местности с применением гамма-съемки. При этом необходимо обеспечить достаточную чувствительность детектора, реализовать алгоритм расчета концентрации естественных радионуклидов (ЕРН) (К-40, U-238, Th-232), а также получить отображение карты радиационного сканирования [1].

Комплекс радиационного сканирования МКГ-АТ6111 за счет использования сцинтилляционного детектора NaI(Tl) большого объема – 2 л, позволяет проводить набор спектров за 1–5 секунд с хорошей статистикой [2]. Расчет калибровок комплекса проводился методом моделирования Монте-Карло, также были определены отклики детектора для различных геометрий измерений, радионуклидных источников и плотностей почвы [3].

В процессе разработки комплекса был проведен ряд натурных испытаний, в ходе которых получены массивы данных в виде спектров с привязками к координатам местности, а также осуществлен пробоотбор почв. Полученные спектры обрабатывались спектрометрическими и радиометрическими методами для определения концентрации ЕРН. Были опробованы калибровки как для различных геометрий измерений, так и для величин отображения удельной активности измеряемых радионуклидов (Бк/кг, ppm). Во время работ в радиационно загрязненных территориях (Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, Республика Беларусь) определялась также удельная активность радионуклида Cs-137. Сравнение данных гамма-съемки с

лабораторными результатами измерений проб грунта показало расхождение в пределах $\pm 30\%$ при определении концентрации ЕРН (Cs-137) [4].

Важной частью работы также является разработка и аттестация методики измерений, учитывающей такие параметры как скважность карты, усреднение результатов измерений, выявление участков рудных аномалий с повышенной активностью среди однотипных пород. В специальном программном обеспечении реализовано отображение результатов (спектры, удельная активность, мощность дозы, скорость счета) на карте с построением маршрута движения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Erdi-Krausz, G., Matolin, M., Minty, B., Nicolet, J. P., Reford, W. S., & Schetselaar, E. M. (2003). Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. (IAEA-TECDOC; Vol. 1363). International Atomic Energy Agency (IAEA).
- [2] Руководство по эксплуатации комплекса радиационного сканирования МКГ-АТ6111. – УП «АТОМТЕХ», 2025.
- [3] А.О. Ничипорчук, А.А. Алексеев, А.А. Загороднюк, А.Н. Толкачев, Учет космической составляющей фона для сцинтилляционного детектора NaI(Tl) большого объема при радиационной съемке местности: тезисы «Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии им. В.Н. Даниленко» (Москва, 2023 г.), с. 89.
- [4] А.А. Алексеев, А.А. Загороднюк, А.О. Ничипорчук, В.А. Сериков, А.Н. Толкачев, Комплекс радиационного сканирования мобильный МКГ-АТ6111 для беспробоотборного определения активности естественных радионуклидов в процессе пешеходного сканирования местности: тезисы «V Международный научный форум «Ядерная наука и технологии» (Алматы, 2024 г.).

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ ПРИ ПРОЖИВАНИИ И ВЕДЕНИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УЧАСТКАХ СИП, ПЛАНИРУЕМЫХ К ПЕРЕДАЧЕ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ

А. В. Топорова, Н. В. Ларионова, И. А. Бачурина, В. Н. Монаенко

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

В Постановлении Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2007 года № 653 «Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий» указаны критерии оценки радиоэкологического состояния территорий, при этом оценка по параметру эффективной дозы является определяющей и имеет приоритет. Основным критерием для оценки степени радиационной безопасности человека, в случае проживания и/или ведения хозяйственной деятельности на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), является годовая эффективная доза населения от техногенных радионуклидов, образовавшихся в результате испытания ядерного оружия. Сотрудниками РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» в период с 2008–2021 гг. проведено комплексное радиоэкологическое обследование территории СИП, по результатам которого установлено, что часть его территории не представляет радиационной опасности для населения и может быть передана в хозяйственный оборот.

Дозы облучения населения рассчитывались в соответствии с методикой по проведению комплексного экологического обследования и на основании результатов определения содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, растениеводческой и животноводческой продукции, производимой на территории СИП. Наиболее значимыми техногенными радионуклидами в поверхностном слое почвы на территории СИП, с точки зрения внутреннего и внешнего облучения, являются ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , а также ^3H в воде. Значения ожидаемой годовой эффективной дозы на человека, в случае предполагаемого проживания на обследуемой территории, не превышают уровня вмешательства, равного 0,3 мЗв и основного предела дозы для населения – 1 мЗв, регламентируемых «Гигиеническими нормативами Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Основной вклад вносит доза внутреннего облучения от перорального поступления техногенных радионуклидов с продуктами питания, где основной вклад вносит радионуклид ^{90}Sr .

На территории СИП имеются поверхностные источники воды – озера, ручья и реки. Поверхностные водоемы непригодны для питья и водопоя животных по химическим параметрам (степень минерализации, жесткости, содержание хлоридов). Уровни содержания радионуклидов ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в них находятся ниже значений минимальной детектируемой активности и не превышают уровень вмешательства, согласно Гигиеническим нормативам, однако, в рамках консервативного подхода были рассчитаны дозы внутреннего облучения от поступления радионуклидов в организм человека с водой. Доза внутреннего облучения от поступления радионуклидов ^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ из поверхностных водоемов может составить 0,09 мЗв.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ УРАНОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРА

Т. В. Тузова, С. А. Ерохин

*Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук
Кыргызской Республики, г. Бишкек*

Представлены результаты многолетних исследований изотопного состава урана (общее содержание и соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в талых водах ледников, поверхностных и подземных водах основных речных бассейнов Тянь-Шаня и Памира, а также в районах бывших урановых месторождений Кыргызской Республики (Таблица).

Таблица. Изотопы урана в поверхностных и подземных водах речных бассейнов в ЦА

Речной бассейн	Пределы колебаний в водах:					
	Поверхностные		Активного водообмена		Глубокой циркуляции	
	С, ppb	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	С, ppb	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	С, мкг/л	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
Атмосферные осадки, талые воды ледников			0,2±0,1	1,03±0,03		
Иссык-Кульский	1,0–6,0	1,0–1,4	1,0–18,0	1,0–1,4	0,1–1,0	1,8–2,5
Чуйский в КР	1,0–15,0	1,0–1,6	1,0–1,4	1,0–1,4	0,1–1,0	1,0–1,4
Чуйский в РК	15,0–30,0	1,3–1,4				
Нарын	1,0–5,0	1,5–1,6	1,0–35,0	1,1–2,5		
р. Майлу-Суу	5,5–8,0	0,92–1,09	0,93–5,4	1,2–1,3	0,35±0,03	1,68±0,03
Кара-Дарья	1,0–18,0	1,2–1,3	1,5–1,9	1,3–1,6	0,1–0,3	1,9–2,0
Сыр-Дарья в РУз.	10,0–20,0	1,2–1,4	20,0–40,0			
Кызыл-Су, Памиро-Алтай	1,0–3,0	1,2–2,0	0,6–42,0	1,2–3,0	0,5–0,8	2,0–3,0
Вахш	3,0–4,0	1,1–1,2	0,1–1,2	1,0–2,0	0,1–1,2	1,1–1,2
Пяндж	4,0–6,0	0,9–1,1	4,0–44,0	0,9–1,0	0,2–0,3	1,20±0,03

Показано, что поверхностные воды бассейнов рек Иссык-Кульской впадины и рек Чу, Талас, Нарын, Майлу-Суу, Кара-Дарья в Кыргызстане, Сыр-Дарья и Аму-Дарья в зонах формирования их стока являются радиологически чистыми. Содержание урана в образующихся при этом потоках не превышает $(1-20) \cdot 10^{-6}$ г/л. Это реки ледниково-снегового типа питания с долей атмосферной составляющей стока от 80–90% в приледниковых зонах и не менее 50% (с учетом доли подземных вод) в зонах рассеяния стока.

По соотношению альфа-активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в зонах формирования стока указанных речных бассейнов четко выделяются 3 генетических типа вод: атмосферные осадки в виде талых вод ледников и снежников, подземные грунтовые воды активного водообмена и воды глубокой циркуляции по зонам разломов. Первые характеризуются сверхнизким содержанием урана $(0,1-1,0) \cdot 10^{-6}$ мкг/л при равновесном соотношении $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Глубинные циркуляционные воды (часто термальные) при сравнительно низком содержании урана имеют максимальный избыток ^{234}U (от 40 до 250%) из-за его преимущественного выщелачивания из кристаллической решетки горных пород. Подземные воды зон активного водообмена обогащены ураном за счет растворения при контакте с водовмещающими породами и характеризуются различным относительным избытком ^{234}U . Предложены формулы для оценок пропорций смешения этих трех типов вод в каждом водоисточнике на момент уран-изотопного опробования.

Показано увеличение содержания урана в поверхностных водах вниз по течению исследованных рек, обогащение ураном ряда источников подземных вод и влияние бывших урановых рудников на радиологическое состояние вод в их районах. Рекомендуется организовать постоянный мониторинг за содержанием урана в выявленных районах выклинивания грунтовых вод с высоким содержанием урана.

МОНИТОРИНГ ТЕКУЩЕГО РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов, А. К. Айдарханова, Л. В. Тимонова, С. А. Ермаков

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

В период с 1949 по 1989 годы на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) было проведено 456 ядерных испытаний различного характера и разной мощности. Основной вклад в фон глобальных выпадений внесли наземные и воздушные ядерные испытания, проведенные до 1962 года на испытательных полигонах СССР, США, Китая, а также крупные радиационные аварии на объектах ядерно-топливного цикла (аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима-1).

Для контроля за содержанием радионуклидов в приземной атмосфере используются радионуклидные станции мониторинга 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. Данный инцидент был связан с произошедшей в Японии радиационной аварией на АЭС Фукусима-1.

Для проведения контроля за содержанием аэрозольных частиц в атмосферном воздухе на СИП и прилегающей территории организованы мониторинговые наблюдения, на которых проводится круглосуточный отбор проб воздушных аэрозолей. Результаты многолетних мониторинговых наблюдений показали, что на постах СИП и прилегающих территорий наличие радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr в атмосферном воздухе составляют меньше предела обнаружения. Численные значения получены только по радионуклиду $^{239+240}\text{Pu}$. 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. Курчатова – 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 ДОО_{нас}, установленной гигиеническими нормативами и находятся на уровне фоновых значений для данного региона.

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 которого НЯЦ РК подготовил площадку для размещения оборудования, канадская сторона доставила радионуклидную станцию мониторинга благородных газов в Казахстан, проведены пуско-наладочные работы и обучение персонала НЯЦ РК, радионуклидная станция мониторинга благородных газов Saipa II введена в эксплуатацию.

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.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Д. В. Турченко, А. О. Айдарханов

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

Испытания ядерного оружия на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) привели к загрязнению окружающей среды техногенными радионуклидами. Проведенный сравнительный анализ компонентов природной экосистемы на содержание трития показал, что основное загрязнение происходит из котловых полостей подземных ядерных взрывов (ПЯВ) в поверхностные водотоки, расположенные на испытательных площадках «Дегелен» и «Балапан». Соответственно, все компоненты окружающей среды (вода, растения, почва, воздух), расположенные на загрязненных тритием участках, содержат значительные концентрации трития.

Целью работы является оценка характера распределения трития и механизмов его формирования в снежном покрове на территории Семипалатинского полигона.

В качестве объекта исследования окружающей среды был выбран снежный покров. Поскольку подобные исследовательские работы на СИП и прилегающей территории ранее не проводились, поэтому при проведении исследований были применены различные методологические подходы. Для исследования пространственного распределения трития в снежном покрове на ручьях площадки «Дегелен» и реке «Шаган» заложены исследовательские профили, перпендикулярно основному руслу водотока. Расстояние между точками отбора проб снега составляло 50–100 м.

Для выявления локальных участков с тритиевым загрязнением на площадке «Балапан» и «Сары-Узень» впервые была применена тритиевая съёмка снежного покрова. На территории площадки «Балапан» и «Сары-Узень» заложена координатная сеть 1×1 км, состоящая из 526 и 262 исследовательских точек соответственно. На каждой боевой скважине исследование проводилось в 5 точках (центр, север, юг, запад, восток), расстояние между точками обследования составляло 50 м. Для проведения детальных исследований на скважинах площадки «Балапан» и «Сары-Узень» заложены исследовательские точки по сети 1×1 км, с шагом 50–100 м между точками обследования. На всех исследовательских участках СИП, для оценки механизмов поступления трития в снежный покров отбор проб снега проводился послойно: поверхностный слой и приземный слой снега.

Впервые для территории СИП получены количественные и качественные данные о содержании трития в снежном покрове. На ручьях площадки «Дегелен» и реке Шаган определено пространственное распределение трития в снежном покрове. Изучены основные механизмы поступления трития в снежный покров: эманация трития с постилающей поверхности почвенного или ледяного покрова, атмосферный перенос трития с загрязнённых тритием рек, ручьев и водоемов. Установлено, что на ручьях площадки «Дегелен» и в местах проведения подземных ядерных взрывов площадки «Балапан» основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из почвы, на реке Шаган и «Атомном озере» площадки «Балапан» преобладает атмосферный перенос. На территории СИП проведена оценка фоновых концентраций трития в снежном покрове за пределами испытательных площадок СИП, а также в населённых пунктах, прилегающих к СИП.

Результаты проведенных исследований показали, что тритиевое загрязнение испытательных площадок СИП носит локальный характер и в основном приурочено к местам проведения ядерных испытаний. На всей территории СИП и прилегающей территории, средняя концентрация трития в снежном покрове находится на уровне фоновых значений для данной местности.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТЕ ОБЪЕКТА «ЛИРА»

П. В. Харкин, М. В. Краснощёва, Д. А. Желтов, О. С. Мильц,
А. В. Новозенко, С. Н. Лукашенко, Н. В. Белая

РГП «Институт ядерной физики» Агентства РК по атомной энергии, г. Алматы, Казахстан

В представленной работе приведены результаты исследования, проведенные в ИЯФ, с целью определения содержания трития в газоконденсате после длительного хранения в подземных полостях, созданных с использованием ядерных взрывов. С этой целью было изучено содержание трития в газоконденсате, отобранного в 4 полостях объекта «ЛИРА» в разные годы. Результаты данной работы могут быть полезны странам и компаниям, где добыча и логистика нефтепродуктов связана с подземными полостями, которые создали с использованием ядерных взрывов.

На территории Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения (КНГКМ) в 1983–1984 гг. были созданы полости, с применением подземных ядерных взрывов. Мощность заряда в каждой из полостей составила 15 кт.

Радиоактивное загрязнение при ядерном взрыве обуславливается продуктами деления ядерного заряда и не вступившей в реакцию частью ядерного заряда, а также радиоактивными изотопами, полученными в результате активации нейтронами элементов, входящих в состав породы окружающей среды (наведённая активность). В числе прочих образуется тритий по реакции ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$ из лития, который широко распространён в земной коре и в массивах каменной соли. Загрязнение газоконденсата тритием происходит, возможно, вследствие изотопного замещения легких ядер водорода на тритий в составе органического вещества конденсата.

Отборы проб конденсата производились в 2020 г. и в 2023 г. глубинным пробоотборником в объеме двух литров из каждой полости. Спуск и подъем кабеля с пробоотборником выполнялся с контролем глубины (± 5 метров) на глубинах: ТК-1 – 905–915 метров, ТК-2 – 910–920 метров, ТК-3 – 820–830 метров, ТК-4 – 840–850 метров.

Для определения содержания трития в газоконденсате применялся метод «мокрого сжигания» аликвоты пробы при нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты и триоксида хрома. Далее выполнялась водная «экстракция» окисленного трития, нейтрализация «экстракта» и отгонка тритированной воды, с дальнейшей доочисткой методом перегонки. В очищенном дистилляте проводилось измерение водно-связанного трития на бета-спектрометре TriCarb-2900TR. Все исследования проб проводились в трёх параллельных образцах, использовалась холостая проба с внесённым стандартным образцом известной активности трития SRM 4927F-2, которая составляла 500 Бк.

Таблица. Содержание трития в полостях объекта «ЛИРА»

	ТК-1, Бк/л	ТК-2, Бк/л	ТК-3, Бк/л	ТК-4, Бк/л
2020	580 $\pm$ 60	1300 $\pm$ 150	740 $\pm$ 80	720 $\pm$ 80
2023	2500 $\pm$ 300	3500 $\pm$ 400	4100 $\pm$ 450	3800 $\pm$ 400

Содержание трития в газоконденсате полостей находится в диапазоне от 580 Бк/л до 4170 Бк/л, что значительно ниже уровня вмешательства даже для питьевой воды, который составляет 7600 Бк/л. Разница содержания трития в пробах, отобранных в 2020 г. и в 2023 г. (в среднем в 4,5 раза), по-видимому, обусловлена разницей глубины отбора проб, которую мы не можем контролировать лучше, чем ± 5 метров.

Вследствие фракционирования газоконденсата изменение глубины приводит к разнице состава пробы, и как следствие, к разнице содержания трития.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТИНА ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА МОЛОДЫХ ОСОБЕЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА МОДЕЛЬНЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ЧАСТИЦАМИ, ИМИТИРУЮЩИМИ ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

С. Г. Шаповалов

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия*

Прогнозирование исходов радиационного поражения сельскохозяйственных животных при загрязнении окружающей природной среды и кормов «горячими» радиоактивными частицами (РЧ), возникающими в результате испытательных ядерных взрывов, применения единиц ядерного вооружения или при техногенных радиационных авариях, является очень важной и актуальной задачей современной радиационной экологии. На сегодняшний день существует значительный объем теоретических и экспериментальных данных по теме защиты людей и животных от ионизирующего излучения, однако в научной литературе практически отсутствуют исследования, посвященные дозиметрическим закономерностям поражения желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) крупного рогатого скота (КРС) «горячими» РЧ. В связи с вышеизложенным **целью работы** являлась оценка поглощенных доз β -облучения ЖКТ молодых особей КРС модельными РЧ, имитирующими радиационные характеристики реальных «горячих» РЧ локальных выпадений наземного ядерного взрыва.

Материалы и методы. Исходными данными явились экспериментальные материалы исследований транспортных характеристик и последующего поражающего действия модельных РЧ на слизистую оболочку отделов ЖКТ молодых особей КРС – бычков возрастом 6–7 месяцев средней массой 130 кг (Пантелеев, Анненков, 1981). Динамика накопления и последующего выведения модельных РЧ диаметром 80–160 мкм из ЖКТ бычков оценивалась методом компартментального анализа путем построения соответствующей камерной модели, на основании которой осуществлялся расчет поглощенных доз внутреннего β -облучения слизистой оболочки основных структурных отделов.

Результаты. При помощи разработанной камерной модели транспорта «трехкомпонентных» ($^{165}\text{Dy} + ^{142}\text{Pr} + ^{90}\text{Y}$) РЧ, имитирующих спектр β -излучения продуктов ядерного деления (ПЯД) возрастом 10–15 ч, были рассчитаны средние поглощенные дозы в отделах ЖКТ после однократного перорального поступления таких частиц с кормом. По величине сформированной средней поглощенной дозы структурные элементы ЖКТ бычков можно расположить в следующем порядке: сетка (992 сГр) > сычуг (476 сГр) > рубец (86 сГр) > кишечник (13 сГр). Во всех вышеупомянутых структурных элементах, за исключением сычуга, поглощенная доза

формируется за первые 5 суток после однократного поступления РЧ. В сычуге процесс дозообразования занимает около 8–10 суток. Представленные дозиметрические величины удовлетворительно согласуются со средними величинами, определенными на основе экспериментальных данных измерения мощностей поглощенных доз β -излучения от модельных частиц в ЖКТ подопытных животных (расхождение не более 28%). Разработанный алгоритм расчета средних поглощенных доз на слизистую оболочку ЖКТ животных может быть использован для случаев перорального поступления в пищеварительный тракт РЧ произвольного генезиса с другим радионуклидным составом. Полученные результаты могут быть приняты во внимание в задачах быстрого реагирования в животноводстве в острый период аварий реакторного типа и других ядерных инцидентов.

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ДОЗ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЯДЕРНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ

С. М. Шинкарев¹, В. Ф. Степаненко², М. Хоши³, Ю. Д. Удалов¹

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна», г. Москва, Россия

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Обнинск, Россия

³ Хиросимский Университет, г. Хиросима, Япония

Уровни и последствия воздействия радиоактивных выпадений на жителей населенных пунктов (НП), расположенных вблизи Семипалатинского полигона, всегда были предметом особого внимания и озабоченности, как медицинских служб, так и населения. Внешнее излучение вносит основной (более 90%) вклад в суммарную эффективную дозу облучения жителей (помимо облучения щитовидной железы), проживавших на следах радиоактивных выпадений. С начала 1980-х годов в научных и общественно-политических изданиях были представлены разные методы и оценки доз внешнего облучения населения, проживающего вблизи Семипалатинского полигона. Как правило, применялись консервативные методы ретроспективной дозиметрии, приводившие к существенному завышению доз. Цель настоящей работы – представить описание и примеры применения современной методологии реконструкции доз внешнего облучения населения от радиоактивных выпадений, разработанной международной группой специалистов (Россия и США).

Имеются два последовательных этапа реконструкции дозы в НП: (1) расчет средней в НП поглощенной дозы в воздухе и (2) расчет индивидуализированной дозы внешнего облучения для репрезентативных жителей НП. В качестве репрезентативных жителей принимаются представители разных возрастных групп населения со сходными условиями облучения в данном НП. При расчете средней дозы в НП используются архивные данные измерения мощности экспозиционной дозы в воздухе в этом НП, а при их отсутствии используются другие радиологические параметры, например, измеренная в настоящее время плотность выпадений долгоживущего ^{137}Cs в НП, пересчитанная на дату радиоактивных выпадений. При расчете доз облучения жителей НП учитывается возраст, конструкционный материал жилищ, усредненное время пребывания на открытом воздухе и внутри жилых и общественных зданий (в том числе, школы). Важную роль играет информация о месте и времени проживания человека в период ядерных атмосферных испытаний в 1949–1962 гг. Необходима информация в каком НП проживали жители в течение первого года и, особенно, в первые дни после взрыва. Именно в течение первого года реализуется более 90% суммарной дозы, которую получил бы человек за 70-летний период непрерывного проживания в НП, а в течение первого дня формируется около 40% от этой 70-летней дозы.

Сравнение оценок средних поглощенных доз в воздухе, рассчитанных по данной методологии, с соответствующими оценками доз, полученными с применением современных инструментальных методов ретроспективной дозиметрии, основанных на измерениях интенсивности радиационно обусловленной лазерно- (оптико-) и термостимулированной люминесценции кварцевых включений в образцах, отобранных из сохранившихся местных сооружений, показали хорошую сходимость. Сравнение оценок индивидуализированных доз, рассчитанных по данной методологии, с соответствующими оценками доз, полученными для этих же жителей с помощью ЭПР-спектрометрических измерений эмали зубов, подтвердили хорошее совпадение дозовых оценок в пределах их погрешностей.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЖНОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР МКС-АТ6104ДМ С ФУНКЦИЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ

А. А. Алексеев, А. О. Ничипорчук, Е. В. Быстров, В. А. Кожемякин,
М. В. Масюкович, С. В. Прибылев, В. А. Чирикало

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск, Беларусь

Предприятием «АТОМТЕХ» разработан спектрометр МКС-АТ6104ДМ [1], предназначенный для поиска и обнаружения источников гамма-излучения и потока нейтронов в водной среде, измерения энергетического распределения гамма-квантов, идентификации гамма-излучающих радионуклидов, обеспечения радиационного мониторинга пресной и морской воды в геометрии измерения 4PI и донных отложений в геометрии измерения 2PI.

Спектрометр представляет собой многофункциональный комплекс, состоящий из устройства детектирования, лебедки электронно-механической (ЛЭМ) с установленным на ней кабелем-тросом, блока питания ЛЭМ, модуля управления спектрометром, приемника глобальной навигационной спутниковой системы, кабелей питания, передачи данных и специализированного программного обеспечения. Устройство детектирования спектрометра может погружаться на глубину до 100 м. В устройстве детектирования (измерительном канале) спектрометра применяется спектрометрический детектор NaI(Tl) размерами Ø 63×63 мм и фотоэлектронный умножитель, охваченные системой светодиодной стабилизации измерительного тракта, а также системой автоматической термокомпенсации его параметров.

В данной работе представлены результаты математического моделирования методом Монте-Карло [2] эффективности регистрации спектрометра в энергетическом диапазоне 70–3000 кэВ (геометрия измерения 4PI), а также результаты исследования возможности обнаружения спектрометром потока нейтронов методом регистрации гамма-излучения, образующегося в результате реакции нейтронного захвата на ядрах H, O, Na и Cl (Prompt Gamma Rays Neutron Reaction) [3]

В настоящее время разработанные спектрометры эксплуатируются на кораблях одной из стран Персидского залива, где они эффективно применяются для решения задач радиационного контроля водной среды и донных отложений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Руководство по эксплуатации «Спектрометр МКС-АТ6104ДМ».
- [2] Bristmeister J.F. Ed. MCNP- A general Monte-Carlo N-particle transport code, Version 4A. Report LA-12625-M, Los Alamos. NM, Los Alamos National Laboratory, 1994.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Database of Prompt Gamma Rays from Slow Neutron Capture for Elemental Analysis, Non-serial Publications , IAEA, Vienna (2007).

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА УЧАСТКАХ БЫВШЕГО СИП, ПЛАНИРУЕМЫХ К ВОВЛЕЧЕНИЮ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ

И. А. Бачурина, В. Н. Монаенко, Н. В. Ларионова, А. В. Топорова

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

В результате ядерных испытаний, проводившихся на территории Семипалатинского испытательного полигона в 1949–1989 гг., сформировалась сложная радиоэкологическая обстановка, сохраняющаяся до настоящего времени. По итогам масштабного экологического обследования, проведенного Национальным ядерным центром Республики Казахстан в 2008–2021 гг., были выделены участки с превышением нормативов радиационного загрязнения, а также значительные площади условно чистых земель, потенциально пригодных для хозяйственного использования.

Для систематизации, анализа и наглядного представления этих данных разработано web-приложение, предназначенное для поддержки принятия решений по безопасному использованию земельных и водных ресурсов СИП, расположенных на условно чистых территориях.

Приложение интегрирует, обрабатывает и визуализирует пространственные данные о состоянии почв, водных объектов и растительности, а также об административных границах, объектах хозяйственной деятельности, геологических структурах и других тематических слоях. Такой подход обеспечивает комплексную оценку радиозоологической обстановки, включая уровни загрязнения почвенного покрова, водных систем и растительного мира.

Функциональные возможности приложения включают:

- отображение и управление тематическими слоями (пространственные границы, геология и почвы, объекты хозяйственной деятельности, радиационные характеристики) с возможностью выбора фоновой карты (OSM, Esri Satellite, Carto Light);
- автоматическую цветовую градацию маркеров на основе пороговых значений радионуклидов для почвы, воды и растительности;
- параметрическую фильтрацию данных;
- кластеризацию для оптимизации отображения ~10 000 точек без потери производительности;
- интерактивные поп-ап окна с атрибутивной информацией;
- редактирование данных (добавление, изменение, удаление объектов на карте) и массовый импорт из CSV в режиме реального времени.

Архитектура приложения построена на открытом и масштабируемом технологическом стеке: база данных – PostGIS, серверная часть – Django, визуализация – Leaflet.js. Это обеспечивает гибкость работы с данными, адаптацию интерфейса под потребности пользователей и независимость от дорогостоящих коммерческих решений.

Разработанное решение может служить инструментом для обоснованного планирования использования территорий, подготовки рекультивационных мероприятий и сопровождения научных исследований.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНЫХ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ: ЭФФЕКТИВНАЯ ДЕЗАКТИВАЦИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К. А. Кадирбеков, У. Ж. Джусипбеков, М. Т. Ошакбаев, Е. А. Тусупкалиев

АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», г. Алматы, Казахстан

Нефтегазовые месторождения часто становятся источниками радиационной опасности из-за естественных природных радионуклидов (ЕПР), содержащихся в нефтешламах, загрязнённых грунтах и оборудовании. Особенно опасны долгоживущие излучатели, такие как ^{226}Ra и ^{232}Th , которые, будучи высокотоксичными, создают устойчивое радиозоологическое загрязнение. Проблема усугубляется на промышленных объектах, таких как полигоны временного хранения радиоактивных отходов (ПВХРО) нефтедобывающих предприятий, частности АО «НК «КазМунайГаз», где накоплены значительные объёмы радиоактивных нефтешламов с удельной активностью 5,9–1,2 кБк/кг.

Для решения этой проблемы АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова» разработало инновационную технологию очистки и дезактивации нефтешламов. Технология основана на использовании установки по очистке и дезактивации нефтешламов (УОН), которая обеспечивает комплексное решение задачи: удаление нефтяных загрязнений, выщелачивание радионуклидов и их концентрирование в сорбционном материале.

Процесс включает два этапа:

- 1) Обработка энергоаккумулирующей композицией для отделения нефтяной составляющей.
- 2) Выщелачивание радионуклидов с использованием композиции специальных растворителей и их последующее извлечение с помощью модифицированного неорганического сорбента. Полученные радионуклиды фиксируются в объеме сорбента, что позволяет сократить объёмы отходов, направляемых на длительное хранение, в 30–60 раз.

Ключевые преимущества технологии:

- Высокая степень очистки грунтов (94–98 %).
- Возможность вывода дезактивированного грунта из-под регулирующего контроля в соответствии с законодательством об обращении с радиоактивными отходами.
- Отсутствие вторичного загрязнения благодаря замкнутому циклу использования реагентов.
- Мобильность установки, позволяющая применять технологию на различных объектах.

Результаты опытно-промышленных испытаний (ОПИ) подтвердили эффективность метода. Дезактивированный грунт рекомендован для использования в дорожном строительстве, а извлечённые нефтепродукты могут быть переработаны в товарную продукцию. Технология способствует снижению экологических рисков и улучшению условий проживания населения в зонах с повышенным радиационным фоном.

Предложенное решение имеет важное практическое значение, поскольку позволяет решить проблему накопления радиоактивных отходов, снизить затраты на строительство новых хранилищ и минимизировать воздействие на окружающую среду. Предлагаемую технологию можно масштабировать и внедрять на других нефтегазовых объектах, что делает её универсальным инструментом для повышения экологической безопасности отрасли.

Отдельный аспект проведённых исследований связан с возможностью использования радия, содержащегося в нефтешламах, в качестве ценного сырья для производства радиофармпрепаратов, широко применяющихся в медицине для диагностики и лечения различных онкологических заболеваний.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА CO₂-ГАЗООБМЕН В СВЕТЛО- И ТЕМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВАХ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Е. В. Корнилаев, Е. Н. Поливкина, Е. С. Сысоева, А. Т. Меньдубаев, А. О. Айдарханов

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

Одной из глобальных проблем XXI века является изменение климата, которое оказывает значительное влияние на биогеохимический цикл углерода. В данном аспекте, роль почвы в углеродном цикле может стать определяющей, так как в ней протекают процессы, формирующие основную часть потоков углерода в биосфере и в окружающей среде в целом. Если с одной стороны почвенный покров планеты депонирует углерод в органическом веществе (гумусе), то с другой стороны, в результате почвенного дыхания происходит эмиссия климатически активных газов в атмосферу, в том числе и CO₂. Однако, недостаточно освещены в литературе вопросы влияния химического загрязнения на эмиссию CO₂ с поверхности почв, что определяет необходимость проведения исследований в этом направлении. Цель данной работы заключалась в количественной оценке влияния химического загрязнения на CO₂-газообмен в светло- и темно-каштановой почвах в длительном лабораторном эксперименте.

В качестве объектов исследования для проведения лабораторного эксперимента выбраны наиболее распространенные почвы природных ландшафтов Казахстана – светло-каштановые (СК) и темно-каштановые (ТК). Для имитации химического загрязнения почвы использовали калийную селитру (KNO₃) и кристаллогидрат меди (CuSO₄·5H₂O). Дозы вносимых солей KNO₃ и CuSO₄·5H₂O в каждой серии эксперимента соответствовали 1 и 5 ПДК в пересчете на азот и медь, соответственно. Измерение потока CO₂ осуществляли с использованием портативной системы «Smart chamber» (LI-7810, США).

Средние значения эмиссии CO₂ с поверхности фоновых образцов СК и ТК почв достоверно не отличались и составили (424±3) и (421±10) мкмоль м⁻² с⁻¹, соответственно. Определенной закономерности влияния нитрата калия (KNO₃) и соли меди (CuSO₄·5H₂O) при уровне 1 и 5 ПДК не выявлено. Установлено, что эмиссия CO₂ с поверхности СК почвы при дозе нитратов 1 и 5 ПДК спустя месяц превышала контроль на 12%, через 6 месяцев – 6 и 7 %, соответственно. Для образца ТК почвы увеличение эмиссии CO₂ на 10% отмечено только при дозе нитратов 5 ПДК спустя 6 месяцев. При загрязнении медью в дозе 1 и 5 ПДК эмиссия CO₂ с образца СК почвы через месяц увеличивалась на 11%, через 6 месяцев не отличалась от контроля. Для образца ТК почвы при дозе меди 1 ПДК отмечено увеличение эмиссии CO₂ на 10% только спустя 6 месяцев, при дозе 5 ПДК – в среднем на 12% через 1 и 6 месяцев.

Отсутствие публикаций, посвященных влиянию химического загрязнения на показатель эмиссии CO₂ региональных почв Казахстана обуславливает актуальность проведения исследований в данной области для

оценки и прогнозирования состояния почвенного покрова в антропогенных экосистемах, так как почвенный CO_2 -газообмен является важнейшей частью не только биогеохимического цикла углерода, но и отражает биологическую активность и здоровье почв. Отсутствие публикаций, посвященных влиянию химического загрязнения на CO_2 -газообмен региональных почв Казахстана обуславливает актуальность проведения исследований в данной области для оценки и прогнозирования состояния почвенного покрова в антропогенных экосистемах, так как данный процесс является важнейшей частью не только биогеохимического цикла углерода, но и отражает биологическую активность и здоровье почв.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

М. В. Краснощёрова, П. В. Харкин, О. С. Мильц, В. А. Макарова,
А. Н. Сейдинаби, Т. В. Подгузова

РГП «Институт ядерной физики» Агентства РК по атомной энергии, г. Алматы, Казахстан

Актуальность проводимых исследований обусловлена необходимостью своевременного выявления и контроля техногенного поступления трития в объекты окружающей среды вблизи действующих ядерных реакторов, что является ключевым фактором обеспечения радиационной безопасности и экологической устойчивости региона. В рамках научно-технической программы BR23891691 «Развитие ядерно-физических методов и технологий для инновационной модернизации экономики Казахстана» (2024–2026 гг.) выполнены комплексные исследования содержания трития в снежном покрове, почве и растительности в зоне потенциального влияния исследовательского реактора ВВР-К Института ядерной физики (г. Алматы).

На базе GIS-проекта «ИЯФ», включающего цифровую карту и персональную базу геоданных, в программном комплексе ArcGIS for Desktop были определены координаты точек отбора проб исследуемых объектов с учётом метеорологических факторов и рельефа местности, что позволило обеспечить точность пространственной привязки данных и создать основу для последующего анализа распределения содержания трития в объектах окружающей среды. Пробы почвы, снежного покрова и растительности отбирались на территориях, подверженных воздействию радиационно-опасных установок, а также на фоновых участках для последующего сопоставления результатов. Почвенный материал и снег отбирался из поверхностного слоя на глубине 0–5 см, растительность – в виде надземной части растений.

Особое внимание уделялось методологическим усовершенствованиям пробоподготовки. Для водных образцов применялась поэтапная дистилляция с исключением крайних фракций во избежание влияния низко- и высококипящих тритиевых соединений. Для почв и растительности использовалась усовершенствованная схема термического извлечения влаги в трубной печи Carbolite Gero с конденсацией водяного пара в охлаждающих ловушках. Для контроля точности применялся сертифицированный стандарт тритиевой воды SRM 4927F-2. Измерения выполнялись методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии на β -спектрометре TRI-CARB 2900 TR в соответствии с ISO 9698:2019.

По результатам исследований установлено, что объемная активность трития в образцах снега находилась в пределах <5,0–14,0 Бк/л, в растительности – 11,0–28,0 Бк/кг, в почве – <5,0–16,5 Бк/кг. Все полученные значения находятся значительно ниже уровней вмешательства, установленных санитарными нормами Республики Казахстан (7600 Бк/л для водных проб).

Проведённые исследования показали, что концентрация трития в почве, снежном покрове и растительности вблизи реактора ВВР-К находится на уровне чувствительности применяемого метода и существенно ниже установленного уровня вмешательства. Полученные данные не свидетельствуют о наличии значимых накоплений трития в исследованной зоне, что позволяет заключить об отсутствии выраженного влияния реактора ВВР-К на окружающую среду в пределах проведённого наблюдения.

Исследования выполнены в рамках научно-технической программы BR23891691 «Развитие ядерно-физических методов и технологий для инновационной модернизации экономики Казахстана» (2024–2026 гг.).

РАДИОНУКЛИДЫ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ НА ТЕРРИТОРИИ САРЖАЛСКОГО СЕЛЬСКОГО ОКРУГА И В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ с. САРЖАЛ

О. А. Лавриненко¹, Н. В. Ларионова¹, В. В. Полевик², А. В. Топорова¹

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

² НАО «Университет Шакарима», г. Семей, Казахстан

В соответствии с Законом Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года № 1787-ХІІ «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне», территория Саржалского сельского округа (ССО) Абайского района и с. Саржал, отнесена к зоне чрезвычайного радиационного риска. На территории ССО, площадью 2652 км², проведена оценка степени радиоактивного загрязнения растительного покрова и растениеводческой продукции, выращиваемой в с. Саржал.

Изучение растительного покрова проводилось методами геоботанического описания с выделением основных экосистем, растительных сообществ и видового состава. Для оценки содержания радионуклидов в растительном покрове отобрано 26 проб наземной части степного разнотравья с доминированием ковылей (*Stipa capillata*, *S. sareptana* и др.), типчака (*Festuca valesiaca*) и полыней (*Artemisia gracileccens*, *A. frigida* и др.). Для определения содержания радионуклидов в растениеводческой продукции в с. Саржал отобрано 18 проб (картофель – 8 проб, морковь – 5 проб, свекла – 5 проб). В каждой точке отбора проведены измерения радиометрических параметров. Лабораторные работы включали подготовку проб к анализам и определение содержания α -, β -, γ -излучающих радионуклидов (⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu). Содержание радионуклидов в растениях определяли в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество.

По результатам проведенного исследования определено, что на территории Саржалского сельского округа представлены пять типов растительности: степной, горный, луговой, солянковый, древесно-кустарниковый. Установлено, что удельная активность в растениях ⁴⁰K варьирует от 210 до 970 Бк/кг, ²³²Th – от <1,3 до 5 Бк/кг, ²²⁶Ra – от <0,1 до 11 Бк/кг, ¹³⁷Cs от <0,1 до 0,7 Бк/кг, ⁹⁰Sr – от <0,8 до 4,7 Бк/кг, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – от <0,015 до 0,35 Бк/кг, ²⁴¹Am – ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения (<0,8 Бк/кг). В растениеводческой продукции (картофель, морковь, свекла) с. Саржал содержание радионуклидов варьирует для ⁴⁰K – от 630 до 1200 Бк/кг, ²³²Th – <0,1 до 3,7 Бк/кг, ²²⁶Ra – от <1,5 до 9,8 Бк/кг, ⁹⁰Sr – от <0,4 до 12,8 Бк/кг, ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Полученные значения удельной активности радионуклидов в степном разнотравье не превышают допустимого уровня радиоактивного загрязнения для кормовых растений, в растениеводческой продукции – не превышают допустимых уровней, установленных гигиеническими нормативами. Среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения от перорального поступления искусственных и естественных радионуклидов с растениеводческой продукцией для жителей с. Саржал составила 0,18 мЗв/год и 0,9 мЗв/год, соответственно. Основной вклад вносит доза от потребления картофеля (~68%), главными дозообразующими радионуклидами являются ⁹⁰Sr (~73%) и ²²⁶Ra (66%). Исходя из данных, можно сделать вывод, что радиационное состояние растительного покрова на территории ССО и растениеводческой продукции с. Саржал не представляет угрозы здоровью населения.

ПРОГНОЗ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА НАСЕЛЕНИЕ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ РАБОТЕ АЭС В ШТАТНОМ РЕЖИМЕ

С. П. Левченко¹, В. В. Божко¹, П. Е. Кривицкий²

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

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

Производство энергии на атомных электростанциях (АЭС) является сегодня одним из перспективных источников низкоуглеродной энергии. Строительство АЭС в Казахстане еще с 90-х годов рассматривается как важный экономический проект для обеспечения энергетической самодостаточности региона. Решение по строительству первой АЭС в Казахстане принято по результатам общенационального референдума, местом под строительство выбран Жамбылский район Алматинской области.

Оценка фактического и потенциального радиационного воздействия АЭС на природные компоненты окружающей среды и население представляют собой важный аспект в обеспечении безопасности и устойчивого

развития ядерной энергетики. Работа любой АЭС обязательно сопряжена с выбросами в окружающую среду определенного количества радиоактивных элементов.

Оценка дозовых нагрузок на население, проживающее в районе расположения АЭС, является одним из основных элементов радиоэкологического обоснования при строительстве и вводе электростанции в эксплуатацию. Кроме того, необходим прогноз изменения доз облучения населения на весь период функционирования АЭС.

Для теоретической оценки дозовых нагрузок на население в результате выбросов АЭС в течение первого года работы и через 30 лет эксплуатации электростанции, использован программный пакет CROM, разработанный на основе рекомендаций МАГАТЭ. Оценка доз выполнена с учетом следующих путей облучения организма человека: внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов, внешнее облучение от облака, внешнее облучение за счет загрязнения местности и внутреннее облучение за счет потребления продуктов питания. Дозовые нагрузки оценены с учетом рациона питания населения, проживающего на расстоянии 30 км от предполагаемого места строительства АЭС.

Расчетным путем установлено, что при эксплуатации АЭС в штатном режиме не будут превышены квоты на допустимую дозовую нагрузку на население (10 мкЗв/год), формируемую за счет выбросов радиоактивных газов и аэрозолей в атмосферу. Основной вклад в суммарную дозовую нагрузку на население вносит внешнее фотонное облучение от радиоактивного облака. Суммарная доза по всем путям облучения, формируемая в результате атмосферных выбросов, увеличивается с течением времени за счет накопления долгоживущих радионуклидов в объектах окружающей среды, в связи с чем через 30 лет работы АЭС в нормальных условиях суммарная доза радионуклидов ^{60}Co и ^{90}Sr увеличится на один математический порядок.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ С ПОДЗЕМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТРИТИЯ

А. В. Михайлов¹, С. Н. Лукашенко¹, Ж. А. Байгазинов², С. А. Байгазинов²,
А. В. Томсон¹, Е. В. Федунова¹, А. Н. Мурзакасымова¹, М. А. Эдомская¹

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

² АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, Казахстан

В рамках представленной работы приведены результаты масштабных исследований содержания трития свободной воды (ТСВ) в дикорастущих растениях, произрастающих на территории с подземным источником трития. В качестве исследовательских участков были выбраны территория с подземным источником трития в районе г. Обнинск и прибрежная зона реки Шаган (Семипалатинский полигон). Исследовались различные виды растений: травянистые, кустарниковые, древесные. Концентрация ТСВ в различных вегетативных органах одних и тех же растений анализировалась отдельно. Отбор проб на участке вблизи Обнинска проводился в течение всего вегетационного периода летом 2023 года от всходов до увядания растений. Дополнительно отдельно отбирались растения, в которые тритий поступает аэральным путём. Отбор проб растений в прибрежной зоне реки Шаган проведён в начале июля 2025. Точки отбора включали в себя точки с наиболее вероятным корневым механизмом поступлением трития, точки с наиболее вероятным аэральным механизмом и точки, в которых механизм поступления трития неизвестен.

Выявлено, что концентрация ТСВ в листьях растений при корневом пути поступления трития в растения составляет в среднем 0,71 от концентрации ТСВ в стеблях этих же растений. Это значение варьирует от $0,30 \pm 0,06$ до $1,1 \pm 0,3$ для растений разных видов, но никогда не превышает значимо 1. Концентрация ТСВ в листьях растений при аэральном поступлении трития в среднем в 1,5 раз больше концентрации ТСВ в стеблях этих же растений. Это значение варьирует от $0,86 \pm 0,59$ до $2,9 \pm 1,9$, но никогда значимо не ниже 1.

Концентрация ТСВ в одних и тех же вегетативных органах травянистых растений разных видов, произрастающих на одной площадке, отличается до 2,6 раз. Концентрация ТСВ в вегетативных органах травянистых и древесных растений также отличается значимо – до 2,3 раз. Концентрация ТСВ в одних и тех же вегетативных органах растений разных видов может отличаться до 3,5 раз. При этом концентрация ТСВ в кустарниковых и древесных растениях отличается не так значимо – средняя разница составляет 1,2 раза, при наибольшей обнаруженной разнице в 1,4 раза. Различия между содержанием ТСВ в разных видах древесных и кустарниковых растений практически нет. Обнаружена зависимость концентрации ТСВ в вегетативных органах растений одного и того же вида в разные вегетационные стадии. Концентрация ТСВ в одном и том же вегетативном органе растения одного вида меняется до 14 раз и, как правило, снижается к концу вегетационного периода.

Полученные закономерности справедливы и для растений, произрастающих в прибрежной зоне реки Шаган. Распределение трития по частям растений неравномерно. Концентрация ТСВ в разных частях растений одних видов в среднем отличается в 1,64 раза. В местах с предположительным аэральным поступлением трития в растительности коэффициент M оказался значимо выше 1, а в местах с предположительным корневым поступлением – ниже. Используя коэффициент M , определены механизмы поступления трития в растения, произрастающие на участках с неизвестным механизмом его поступления. Исходя из полученных результатов сделаны предположения о наличии ранее не обнаруженных зон с повышенным содержанием трития в почве.

Таким образом, доказано, что распределение трития по вегетативным органам дикорастущих растений неравномерно. Оно зависит от механизма поступления трития в растение, вида растения, его фазы вегетации. Предложен инновационный метод определения механизма поступления трития в растение по коэффициенту M – отношению концентрации ТСВ в листьях к концентрации ТСВ в стеблях растений. При значении коэффициента M ниже 1 – поступление трития в растительность является преимущественно корневым, при значении выше 1 – аэральным.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ЭПИЦЕНТРОВ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

В. Н. Монаенко¹, П. Е. Кривицкий², М. Т. Абишева¹, Н. В. Ларионова¹

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

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

Семипалатинский испытательный ядерный полигон (СИЯП) был одним из крупнейших в мире объектов проведения атмосферных ядерных испытаний (ЯИ). На площадке «Опытное поле» (ОПП) проведено 30 наземных и 86 воздушных взрывов. Определение точных географических координат эпицентров данных испытаний имеет важное научное и практическое значение. Во-первых, исследования позволяют корректировать административные границы полигона с учётом современного радиоэкологического статуса территории. Во-вторых, точное установление эпицентров создаёт основу для объективной оценки радиационного загрязнения и разработки мероприятий по его мониторингу, контролю и минимизации последствий для окружающей среды и здоровья населения.

Традиционные подходы к определению эпицентров, основанные на выявлении техногенной нерешённости почвенного покрова (наличие воронок и насыпей) или анализе карт радиоактивных выпадений, не всегда эффективны. Воронки могли отсутствовать из-за особенностей испытаний или последующих ремедиационных работ, а наложение следов загрязнения от других ЯИ затрудняет выделение конкретного эпицентра. Всё это предопределяет необходимость разработки новых инструментов, позволяющих определять координаты с минимальной погрешностью.

В настоящей работе предложен метод, основанный на математическом вычислении точных координат эпицентров ЯИ по индикатору. В качестве наиболее информативного индикатора выбраны продукты нейтронной активации образованные при проведении ЯИ. Среди них особый интерес представляет радионуклид ^{152}Eu , обладающий чёткими контурами распространения, низкой миграционной способностью и локализацией в эпицентральной зоне. Это позволяет использовать его активность в качестве основного индикатора для математического определения эпицентров ядерных испытаний.

Разработанная методика включает несколько последовательных этапов. Сначала на основе данных пешеходной гамма-спектрометрической съёмки формируется выборка точек в предполагаемой зоне эпицентра. Из этой выборки исключаются участки с выраженной техногенной нерешённостью, чтобы избежать искажения результатов. Далее строятся изолинии активности радионуклида ^{152}Eu , для каждой из которых вычисляются центры. Полученные значения усредняются, что позволяет определить одну координату, максимально приближённую к истинному положению эпицентра. Для реализации метода и автоматизации этапов создано программное обеспечение на Object Pascal (Delphi), которое упрощает расчёты и исключает необходимость применения дорогостоящих ГИС-систем.

Апробация предложенной методики проведена на участке «П-2», где имелся наземный ядерный взрыв, оставивший характерную воронку. Расчётные координаты эпицентра, полученные по данным активности ^{152}Eu , совпали с фактическим расположением воронки с минимальной погрешностью. Для визуальной заверки результаты сопоставлены с космическими снимками и картами площадного распределения радионуклидов, что подтвердило корректность предложенного подхода.

Таким образом, разработанный метод доказал свою эффективность и может использоваться для высокоточного определения координат наземных и приповерхностных ядерных испытаний.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТҰРҒЫН ҮЙЛЕРДЕ РАДОН АКТИВТІЛІГІН БАҒАЛАУ ҮШІН CR-39 ТРЕКТІК ДОЗИМЕТРЛЕРІН ҚОЛДАНУ

Ж. О. Насилов^{1*}, К. Ш. Жумадилов¹, Ж. А. Байгазинов², Н. Нурсултанова¹, А. И. Иванников³,
В. Ф. Степаненко³, М. Хоши⁴

¹ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

² «Ядролық технологиялар паркі» АҚ, Курчатов, Қазақстан

³ Ресей Федерациясының Денсаулық сақтау Министрлігінің «ФМЗО» Федералдық Мемлекеттік бюджеттік мекемесінің филиалы А.Ф. Цыб атындағы МРФО, Обнинск

⁴ Хиросима университеті, Хиросима, Жапония

* E-mail: zanat3983@gmail.com

Аңдатпа

Радон (^{222}Rn) – адамға табиғи радиациялық сәулеленудің негізгі көзі және темекі шегуден кейінгі өкпе обырының пайда болу қаупі бойынша екінші фактор ретінде қарастырылады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (WHO) мен Халықаралық атом энергиясы агенттігі (МАГАТЭ) тұрғын үй-жайлардағы радон үшін референттік деңгей ретінде 100 Бк/м^3 мәнін ұсынады. Осыған байланысты Қазақстан жағдайында тұрғын және қоғамдық ғимараттардағы радон концентрациясын жүйелі түрде бақылау өзекті мәселе болып табылады.

Осы жұмыста радонның альфа-сәулеленуін интегралдық тіркеу үшін CR-39 тректік детекторлары қолданылды. Детекторлардың сезімталдығын бағалау мақсатында ^{241}Am көзін (белсенділігі 338 Бк) пайдаланып, әртүрлі экспозиция уақытында (23-тен 96 сағатқа дейін) және поликарбонат пластиналарының қалыңдығын өзгерте отырып ($0,5 \text{ мм}$, $0,75 \text{ мм}$, $1,0 \text{ мм}$), калибрлеу жүргізілді. Экспозиция уақыты мен геометриялық шарттарға тәуелді тректер тығыздығының заңдылықтары алынды. Бұл сезімталдық ауқымын $0,23\text{--}0,39 \text{ трек}/(\text{см}^2 \cdot \text{Бк} \cdot \text{сағ})$ шамасында анықтауға мүмкіндік берді.

Ұзақ мерзімді өлшеулер (экспозиция шамамен 100 тәулік) Қазақстанның екі аймағындағы тұрғын және шаруашылық үй-жайларда жүргізілді. Детекторлар химиялық өңдеуден кейін талданды (NaOH $6,25 \text{ моль}$, 98°C , 60 минут). Тректердің санағы Magus Pul 800 сандық микроскопы арқылы жүргізілді.

Степногорск қ. және Ақсу п. (10 бақылау нүктесі): орташа тректер тығыздығы $9,74 \text{ трек/мм}^2$, стандарттық ауытқу $7,68 \text{ трек/мм}^2$, мәндер ауқымы $1,47\text{--}30,15 \text{ трек/мм}^2$. Бұл көрсеткіштер радонның төмен деңгейіне сәйкес келеді, алайда жекелеген нүктелерде (мысалы, гаражда) фондық мәннен жоғары көрсеткіштер байқалды.

Абай облысы (17 бақылау нүктесі): орташа тректер тығыздығы $137,5 \text{ трек/мм}^2$, стандарттық ауытқу $78,5 \text{ трек/мм}^2$, мәндер ауқымы $13,97\text{--}290,44 \text{ трек/мм}^2$. Тығыздық мәндерінің таралуы қоршаған орта жағдайларының айырмашылықтарына және әртүрлі қалыңдықтағы детекторлардың сезімталдығына байланысты.

Қорытынды

CR-39 тректік дозиметрлерін қолдану Қазақстан жағдайында радон активтілігін бағалаудың тиімді әдісі екенін растады. Алынған нәтижелер WHO және МАГАТЭ ұсынған референттік деңгейлермен салыстырғанда, кейбір аймақтарда профилактикалық шаралар қабылдау қажеттілігін көрсетеді. Сонымен қатар, бұл зерттеу нәтижелері Қазақстанда ұлттық радон картасын құруға және тұрғын үйлердегі радонға қарсы іс-шараларды ғылыми тұрғыда негіздеуге мүмкіндік береді. Болашақта тректік детекторларды мектептер мен ЖОО-ларда оқу-зертханалық тәжірибеде қолдану, жастардың радиациялық қауіпсіздікке қатысты сауаттылығын арттыруға және ғылыми кадрларды даярлауға ықпал етеді.

Секция 4

УКРЕПЛЕНИЕ РЕЖИМА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ



STS-2025

Section 4

STRENGTHENING THE NUCLEAR NONPROLIFERATION REGIME

VERIFICATION OF THE CTBT

Láslo Evers

Royal Netherlands Meteorological Institute, Netherlands

E-mail: laslo.evers@knmi.nl

The International Monitoring System (IMS) in place for the verification of the CTBT is for over 90% complete. The IMS has proven its functionality by detecting the DPRK nuclear tests. Monitoring is realised with seismic, hydro-acoustic and infrasound stations, in addition radio-nuclides are measured. As such, a global and state-of-the-art network is nearing completion, which guarantees high-quality and continuous data. This presentation will discuss the IMS and highlight some of the detections made over the years. Furthermore, the IMS can be used for scientific studies of which examples will be given.

CTBTO LINK TO THE ISC DATABASE AND THE GROUND TRUTH LIST

Ryan Gallacher and Dmitry A. Storchak

International Seismological Centre (ISC), Thatcham, UK

The CTBTO Link to the database of the International Seismological Centre (ISC) is a service provided on behalf and by arrangement with IDC/CTBTO. The Link provides PTS and National Data Centres (NDC) with dedicated access to long-term definitive global datasets maintained by the ISC. Functionality includes specially designed graphical interfaces, database queries and non-IMS waveform requests. This service gives access to the ISC Bulletins of natural seismicity of the Earth, mining induced events, nuclear and chemical explosions (Specifically 1085 nuclear explosions from 1961–2017) and the IASPEI Reference Event list (GT List). The service allows for area based searches and comparisons between the ISC Bulletin and the Reviewed Event Bulletin. The Link is also a useful tool for accessing historical event data which can be used for training and exercises commonly carried out by the NDCs and PTS. Additionally the link can be used to check statistics for all stations reporting to the ISC.

PROGRESS IN RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL SAMPLING ANALYSIS AT CIAE

WANG Chen, SHEN Yan, HE Ming, BAI Lei, ZHAO Yong-gang

Institute of Atomic Energy, China

Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security Technology Laboratory is a key laboratory of CNNC, the only IAEA Particle Analysis Network Laboratory in China, and an IAEA-CAEA joint training center for nuclear safeguards and nuclear security. Focusing on the production, storage, and safe use of nuclear materials, the laboratory develops corresponding technologies such as nuclear material accounting, radioactive waste detection, nuclear forensics, and environmental sampling analysis. These efforts aim to enhance China's nuclear safeguards and nuclear security technologies, formulate regulations and standards for nuclear material regulation, and continuously improve the technical level of nuclear material regulation.

This paper introduces the technical advances of the laboratory in bulk analysis and particle analysis of environmental samples. In bulk analysis, a compact multi-isotope AMS was developed for the measurement of ultratrace radionuclides (e.g., ^{129}I , ^{236}U , ^{239}Pu) in environmental samples, this instrument enables high-sensitivity detection of isotopes at trace levels, ensuring precise quantification for nuclear environmental monitoring. In particle analysis, the laboratory utilized

a 1280-type SIMS to analyze uranium isotopic ratios in uranium-bearing particles and determine their isotopic ages, the technique combines high-spatial-resolution imaging with mass spectrometry to characterize individual particles. A total evaporation measurement method for TIMS was developed, specifically applied to determine uranium isotopic ratios in FT-TIMS, this method improves measurement accuracy by optimizing ion evaporation efficiency from samples.

ELIMINATION OF INFRASTRUCTURE AND CONSEQUENCES OF NUCLEAR TESTS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE

Sergey Berezin

Branch “Institute of Geophysical Research” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

E-mail: berezin@nnc.kz

In 1991, Kazakhstan closed the Semipalatinsk Test Site and renounced its nuclear arsenal, which determined the country's leading role in global security. To address the consequences of nuclear testing and to utilize the scientific potential for peaceful purposes, the National Nuclear Center was established in 1992.

Extensive work has been carried out to eliminate nuclear testing infrastructure at the Degelen, Balapan, and Experimental Field sites. Tunnels, boreholes, and silo launchers were sealed, preventing access to nuclear legacy materials. A multi-level physical protection system was created, guarded by the National Guard of Kazakhstan.

The remediation of the Experimental Field site has been completed, while research continues at other test sites. In 2021, a comprehensive radioecological survey of the entire territory of the former test site was finalized.

In parallel, the scientific and technical base was converted: research reactors were modernized, a tokamak was constructed, and international cooperation on the peaceful use of nuclear energy has been expanding. Kazakhstan also actively supports the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty.

In 2023, the Law on the “Semipalatinsk Nuclear Safety Zone” was adopted, ensuring state control and radiation safety measures. The results of Kazakhstan's work have received broad international recognition and made a significant contribution to strengthening global security.

ON THE NEED TO ESTABLISH A NEW SEISMIC ARRAY IN WESTERN KAZAKHSTAN

A. A. Issagali

Branch “Institute of Geophysical Research” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

E-mail: a.issagali@kndc.kz

The territory of Western Kazakhstan has traditionally been considered a low-seismicity region. This assumption, however, is based on extremely limited information, since systematic regional monitoring has in fact never been conducted in this part of the country. As a result, the creation of an information base for seismic hazard assessment remains problematic. In scientific research, reliance is placed primarily on international earthquake catalogs. Along with the lack of an adequate observational network, there are also methodological issues related to the accuracy of seismic event parameter estimation. These issues are associated with the absence of regional travel-time curves and calibration functions for seismic wave attenuation, which significantly affect errors in determining the location and energy of seismic sources. The low accuracy of parameterization does not allow reliable discrimination between different types of seismic sources, including natural earthquakes, quarry blasts, induced seismicity from hydrocarbon production, and potential technogenic events in areas of past nuclear explosions in Western Kazakhstan.

The stations recently opened by the NNC RK and under the SNECCA project do not resolve the situation, as they are all located only in the northern part of Western Kazakhstan.

Important experiments aimed at studying seismic noise conditions and assessing the feasibility of creating a new seismic array on the Ustyurt Plateau were carried out by the Institute of Geophysical Research, NNC RK, in collaboration with Michigan State University (USA), under the leadership of Kevin Mackey.

The results clearly demonstrate the necessity of establishing a new seismic array in Western Kazakhstan. Such an array will enhance the effectiveness of monitoring weak seismic events and improve the accuracy of parameter determination. Beyond addressing national needs for seismic hazard assessment, the station will also allow integration into the International Monitoring System for nuclear test verification, which is of fundamental importance for ensuring the security of the region.

SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF SHORT-PERIOD S WAVE ATTENUATION FIELD STRUCTURE IN THE REGION OF NORTH-KOREAN PUNGGYE-RI NUCLEAR TEST SITE

Yu. F. Kopnichev¹, I. N. Sokolova²

¹ *Институт физики Земли РАН, Москва, Россия*

² *Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба
Российской академии наук», г. Обнинск, Россия*

E-mail: yufk777@mail.ru

Six underground nuclear explosions (UNEs) were conducted at the DPRK nuclear test site in 2006–2017. Magnitudes of these events varied from 4.3 to 6.3. We analyzed seismograms of UNEs and near earthquakes, obtained by stations MDJ and VLA at distances of ~270–450 km to investigate characteristics of the attenuation field. We studied the ratios of maximum amplitudes of Lg and Pg waves (Lg/Pg parameter). Narrow-band filter with central frequency of 1.25 Hz was used. According to the UNEs data, Lg/Pg parameter diminished essentially from 2006 to 2017. We processed several recordings of earthquakes with epicenters near the Punggye-ri test site. It was shown that in 2017–2024 the mean value of the Lg/Pg parameter for the earthquake recordings is higher essentially, then for the UNE data in 2017. We compared the new data with data, obtained earlier for the Semipalatinsk test site (STS). The mean value of the Lg/Pg parameter for the Balapan area in the STS diminished also essentially from 1980 to 1989. The most natural explanation of temporal variations of the attenuation field connected with ascending deep-seated fluids from the uppermost mantle into the earth's crust as a result of intensive influence of the powerful UNEs on the geological medium.

CONTRIBUTION OF KAZAKHSTAN'S STATIONS OF THE NATIONAL NUCLEAR CENTER INTO GLOBAL AND REGIONAL MONITORING

Aidyn Mukambayev, Natalya Mikhailova

Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

E-mail: mukambayev@kndc.kz

The monitoring network of the National Nuclear Centre (NNC) includes four seismic and one infrasound station, which are part of the International Monitoring System (IMS). In addition to these stations, the AFTAC arrays, the IRIS-NNC stations located on the territory of Kazakhstan, 11 three-component and two infrasound arrays of the NNC participate in global and regional monitoring as part of the NNC network. All data are collected and processed at the Kazakhstan National Data Centre. This report presents information on the contribution of Kazakhstani stations to REB by the number of associated phases in comparison with other IMS stations. Kazakhstan IMS stations are quite effective in monitoring and are among the best in terms of the number of associated phases among other IMS stations. This is confirmed by the maps of minimum magnitude epicenters and the ratio of the number of events by Kazakhstan stations to the total number in the Reviewed Event Bulletin (REB). At the regional level, the nature of events is discriminated and marked - earthquakes, industrial explosions, induced events. The real accuracy of determining the location of CA events in REB can be estimated by GT events. A collection of such events on the territory of Kazakhstan and an analysis of location accuracy are carried out.

SCIENCE DIPLOMACY AND NUCLEAR ENERGY: THE CASE OF KAZAKHSTAN

K. S. Velichkov

International Science and Diplomacy Center

This paper examines the impact of ‘science diplomacy’, and in particular the contributions of nuclear science, on Kazakhstan’s foreign policy.

Historically, the great accomplishment of ‘science diplomacy’ in the atomic age was placing nuclear arms control and disarmament high on the agenda of international relations. Throughout the post-independence period, renunciation of nuclear weapons and testing remained Kazakhstan’s signature approach to nonproliferation objectives and international security. The tragic legacy of the Semipalatinsk Test Site and the experience acquired in overcoming the consequences, motivated and framed Kazakhstan’s policies in multilateral organizations, such as the United Nations, the IAEA, the CTBTO, and in other frameworks, such as the Nuclear Security Summits. ‘Science diplomacy’ also influenced Kazakhstan’s regional policy in Central Asia, some bilateral relations (e.g. with Japan), and conditioned the support accorded to negotiated conflict resolution, as shown by the JCPOA on Iran’s nuclear program.

Under the current geopolitical tensions, affecting, *inter alia*, the sustainable supplies of clean energy, nuclear science has managed to accomplish another shift of priorities on the international agenda, on par with nonproliferation, namely the nuclear energy renaissance. Kazakhstan, the world’s biggest uranium exporter, has contributed to this end by making the decision to re-embark on nuclear energy generation in a most democratic and participatory manner, by means of a referendum.

Nuclear scientists and practitioners have provided expert advice in support of the detailing of nuclear policy, as well as on the choice of technology and vendors. In a preparatory move, the nuclear governance system of the country recently underwent substantial changes with the establishment of the Atomic Energy Agency. The dilemmas Kazakhstan faces with respect to the construction of new nuclear power plants are not only technological or financial but also geopolitical in nature. Yet they have not diverted the country from the balanced and pragmatic course it has followed thus far in its international relations.

This paper seeks to demonstrate that Kazakhstan offers itself as an excellent case study to track the change and continuity in the relationship between science and diplomacy in current international affairs. It also attempts to outline and recognize the immense contribution nuclear scientists and practitioners at the National Nuclear Center and other research and academic institutions have made to the impeccable nonproliferation record and the overall international standing of Kazakhstan.

ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ И СЕЙСМОГЕННЫХ СТРУКТУР, ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В РАЙОНЕ СИП

А. Е. Великанов

*Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан**E-mail: aevelikanov@mail.ru*

Работа по выделению сейсмоактивных разломов и сейсмогенных структур проводилась в процессе изучения природной и техногенной сейсмичности и обоснования системы непрерывного сейсмического мониторинга территории СИП для контроля безопасности действующих и проектируемых ядерных установок. В качестве данных по сейсмичности использованы каталоги землетрясений с исторических времён по настоящее время.

При анализе гравиметрических полей была замечена тесная связь сейсмичности исследуемых территорий с аномалиями и аномальными зонами силы тяжести, как с *избыточными массами геологической среды*. Так как землетрясения происходят при смещении пород по тектоническим нарушениям, то важным оказалось разобраться с понятием активных и сейсмоактивных разломов. Активные разломы, которые примыкают к участкам земной поверхности с избыточной массой геологической среды, являются *сейсмоактивными*, потому что на этих участках усиливается действие лунно-солнечных приливных сил. При этом происходит дестабилизация недр на глубине под участками с избыточной массой геологической среды, приводя породы в напряжённо-деформированное состояние. Такие участки, примыкающие к сейсмоактивным разломам, были определены как сейсмогенные структуры.

Использование данных по геолого-тектоническим, геофизическим исследованиям, дистанционному зондированию и сейсмичности позволило получить новую, уточненную схему активных разломов и сейсмогенных структур района СИП. В процессе анализа в районе СИП выделены 10 сейсмогенных структур первого порядка и 5 сейсмогенных структур второго порядка. Новые данные, полученные при выявлении и уточнении активных разломов и сейсмогенных структур, позволили уточнить местоположение ранее выделенных сейсмогенерирующих зон, продлить некоторые из них на северо-запад и выделить ответвления новых сейсмогенерирующих зон, отходящих от ранее известных. Полосы сейсмогенерирующих зон располагаются вдоль активных разломов и совпадают с местоположением отдельных сейсмогенных структур со скоплениями эпицентров землетрясений тектонической природы. Самой значимой по сейсмическому потенциалу в районе СИП является *Чингиз-Алакская сейсмогенерирующая зона*, которая приурочена к сейсмоактивному Главному Чингизскому разлому СЗ простираения. Эта зона практически полностью совпадает с двумя выделенными сейсмогенными структурами первого порядка с избыточной массой геологической среды, в пределах которых наблюдаются скопления эпицентров тектонических землетрясений – от очень слабых до ощутимых с магнитудой до 5,8. Одна из них, крайняя северо-западная, приурочена к Муржикскому хребту с абсолютными высотами до 700–970 м, другая – к Чингизскому хребту с абсолютными высотами до 900–1070 м.

Кроме природных тектонических землетрясений, сейсмичность района СИП также определяется происходящими здесь землетрясениями техногенного характера, которые вызваны горнодобывающей деятельностью. К ним относятся землетрясения в районах угольных разрезов Экибастуза, Каражиры, а также недавнее землетрясение 23 июля 2025 года в районе добычных работ на золотых россыпях месторождения Сенташ, которое хорошо ощутили жители городов Усть-Каменогорска, Семей и Курчатова.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРО-КОРЕЙСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПУНГЕРИ

И. П. Габсатарова, И. Н. Соколова

*Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба
Российской академии наук», г. Обнинск, Россия*

E-mail: ira@gsras.ru

Рассматриваются примеры проявления индуцированной сейсмичности на ядерных полигонах мира: на Семипалатинском испытательном полигоне, Амчитка, Невадском испытательном полигоне, Новая Земля, а также северокорейского полигона Пунгери.

После самого мощного северокорейского ПЯВ 3 сентября 2017 года с $m_b=6,3$ рядом агентств сообщалось о регистрируемых сейсмических событиях на полигоне Пунгери. Проведен анализ для 14 небольших событий ($ML = 2,1-3,8$), обнаруженных с помощью детектора взаимной корреляции сигналов после ПЯВ до апреля 2018 г. Первое среди этих событий (3.09.2017 г. в 03:38) известно как обвал в штольне, 13 событий были идентифицированы как землетрясения на основе спектральных отношений P/S и сходства форм сигналов, было выявлено 4 пары дублетов, имеющих подобные общие черты в записях и спектрах. В исследование были вовлечены записи нескольких станций на территории Южной Кореи, китайская станция MDJ, российская группа Уссурийск (USKR). В качестве вывода было высказано, что «ущерб от ударных волн крупного ПЯВ 3 сентября 2017 года привел к медленной адаптации среды в окружающем регионе, что повлекло за собой снятие стресса посредством афтершоков».

В декабре 2016 г. в российской сети была открыта станция «Посьет», оснащенная в рамках сотрудничества с Южно-Корейской сейсмологической службой (KIGAM – Korea Institutes of Geoscience and Mineral Resources) сейсмометром CMG-40T (1,0–20 Гц) и удаленная от испытательного полигона примерно на 200 км. За период 2020–2024 гг. эта станция зарегистрировала более 30 сейсмических событий с $ML \geq 2,5$ на территории полигона Пунгери.

Анализ записей станцией «Посьет» событий 2020–2024 гг., показал, что они имеют существенные отличия от записей взрывов и значительное подобие с записями землетрясений 2017–2018 гг.: события были идентифицированы как землетрясения на основе спектральных отношений P/S. Для анализа волновой картины записей поствзрывной сейсмической активности были вычислены значения функции взаимной корреляции пар записей и создана симметричная корреляционная матрица. Произведено группирование событий по способу иерархического кластерного анализа с построением дендрограммы, отражающей расстояния между объектами. Показано, что события на полигоне группируются в сейсмические рои. Данный факт является отличительной особенностью проявления индуцированной сейсмичности в районе испытательного полигона, характерный только для полигона Пунгери. Предполагается, что этот эффект связан с подъёмом глубинных флюидов в

литосфере, обусловленным интенсивным техногенным воздействием мощных ядерных испытаний на геологическую среду в районе полигона.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ КАЗАХСТАНА В ОБЛАСТИ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

П. Ю. Кривцов, С. А. Березин, У. А. Игибаев, В. И. Донцов, Н. Н. Михайлова

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

E-mail: krivtsov@igr.kz

Деятельность филиала «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК) является ключевым элементом в выполнении международных обязательств Республики Казахстан в рамках Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Институт является основным исполнителем, обеспечивающим научно-техническую основу для участия страны в глобальной системе мониторинга. Его работа напрямую способствует укреплению режима нераспространения и международной безопасности, демонстрируя ответственную позицию Казахстана как государства, добровольно отказавшегося от ядерного арсенала.

Основными направлениями деятельности ИГИ НЯЦ РК являются эксплуатация и развитие объектов Национальной системы мониторинга, а также проведение комплексных полевых исследований на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). На полигоне осуществляются масштабные работы по радиационному и геофизическому мониторингу, включая сейсмологические наблюдения и изучение последствий проведенных в прошлом ядерных взрывов.

Важнейшей функцией Института является обеспечение бесперебойной работы казахстанских станций, интегрированных в Международную систему мониторинга. Это включает сейсмические и инфразвуковые станции, которые круглосуточно передают данные в Международный центр данных в Вене. Высокий процент доступности данных, превышающий 98%, подтверждает надежность и техническую эффективность вклада Казахстана в глобальную систему проверки соблюдения Договора.

Таким образом, Институт геофизических исследований не только выполняет технические обязательства, но и вносит значительный вклад в развитие международной науки о контроле за ядерными взрывами. Перспективы развития связаны с внедрением передовых технологий анализа данных, модернизацией аппаратуры и укреплением международного сотрудничества, что гарантирует поддержание высочайших стандартов мониторинга в будущем.

МИРНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ ИЗ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ (АЗГИР, ВЕГА)

И. Н. Соколова¹, И. Л. Аристова², Д. К. Комекбаев^{2,3}

¹ *Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба
Российской академии наук», г. Обнинск, Россия*

² *Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан*

³ *Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
г. Алматы, Казахстан*

E-mail: sokolovain@gsras.ru

Территория северо-западного Прикаспия в течение длительного периода подвергалась мощному техногенному воздействию. В советское время в этом районе находился полигон Азгир, на котором проводились мирные ядерные взрывы (МЯВ) в исследовательских целях для отработки технологии создания под землей полостей различного назначения. Полигон расположен на соляно-купольном поднятии Большой Азгир, на западной периферии Прикаспийской соленосной провинции, расположенной к северу от Каспийского моря. Соляно-купольное поднятие Большой Азгир объединяет два крупных соляных купола – Западный и Восточный Азгир, разделенных компенсационной мульдой Ужунтатор. МЯВ производились в массиве каменной соли (1966–

1979 гг.) на глубинах 161–997 м, мощность взрывов составляла от 0,01 кт до 103 кт. В результате было создано 9 подземных полостей различного объема.

Примерно в 80 км к юго-востоку от полигона Азгир на Астраханском газоконденсатном месторождении за период 1980–1984 гг. было произведено 15 МЯВ «Вега» с целью создания хранилищ газоконденсата в соленосных отложениях на глубине ~1000 м, мощность взрывов составляла 3,2–13,5 кт.

Собраны и проанализированы данные о геолого-тектоническом состоянии районов полигонов, о современном состоянии технологических площадок, на которых проводились взрывы. Рассмотрены динамические и кинематические параметры МЯВ, произведенных на Азгире и МЯВ «Вега», зарегистрированные сейсмическими станциями на территории СССР (сети КСЭ ИФЗ АН СССР и ЕССН) на эпицентральных расстояниях от 550 до 5950 км. Замерено более 700 исторических аналоговых и цифровых сейсмограмм. Проведено сравнение сейсмического эффекта МЯВ, проведенных в соли, с МЯВ, проведенных в других средах, в зависимости от мощности. Проанализированы особенности волновой картины мирных ядерных взрывов по оцифрованным сейсмограммам сейсмических станций Обнинск (ОВН) и Махачкала (МАК), расположенных на региональных эпицентральных расстояниях от мест проведения МЯВ в северо-западном Прикаспии.

Кроме МЯВ на геодинамические процессы северо-западного Прикаспия влияет интенсивная добыча газа и газоконденсата, а также колебания уровня Каспийского моря. В районе были выделены сейсмогенерирующие зоны – Азгирская и Астраханская. Поскольку в этом районе отсутствует сеть стационарных наблюдений, сейсмические события регистрируются станциями, расположенными на эпицентральных расстояниях более 500 км. Были собраны сейсмические записи землетрясений из района северо-западного Прикаспия, зарегистрированные региональными и глобальными сейсмическими сетями, определены параметры событий, составлен каталог.

СОЗДАНИЕ КОНЦЕПТА НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ ПО ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН КАК СИСТЕМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯДЕРНЫХ И ДРУГИХ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Сысалетин^{1*}, Ю. Ю. Бакланова², Е. Е. Сапатаев², В. А. Ермаков²,
Р. С. Исламов², Р. Ж. Наурызбаев², С. А. Ильиных²

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

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

* E-mail: syssaletin@nnc.kz

В настоящее время Национальным ядерным центром реализуется проект, посвященный ядерной криминалистике.

В рамках проекта решаются две взаимосвязанные комплексные задачи:

- 1) Развитие компетенций НЯЦ РК в лабораторных исследованиях образцов в целях приобретения компетенций в области ядерной криминалистики;
- 2) Создание прототипа и информационного концепта для национальной библиотеки по ядерной криминалистике в Республике Казахстан.

В рамках указанного проекта проводится изучение различных образцов, для идентификации образцов материалов в целях ядерной экспертизы. В целях верификации достоверности результатов применяемых методик, производится обмен образцами с партнерами проекта для межлабораторных сличений полученных результатов, совместное исследование этих образцов.

Решается достаточно амбициозная задача по созданию прототипа и информационного концепта для национальной библиотеки по ядерной криминалистике в Республике Казахстан. Эта работа в нашей стране выполняется впервые в рамках действующего проекта в НЯЦ РК. К настоящему времени разработан концепт, ведется работа по созданию структуры информационных запросов и методологии обмена информации в рамках федерализированной структуры хранения данных у заинтересованных сторон.

Одна из самых сложных задач – разработка поисковых алгоритмов и методологии оценки релевантности поисковых выдач. Разрабатывается собственная методика, которая показывает хорошую релевантность поисковых выдач.

Неизвестный (изъятый) материал исследуется для получения его сигнатур. В результате поисковых выдач автоматизирован процесс поиска и сравнения изъятых материалов с записями в базе данных по наиболее ключевым параметрам – сигнатурам.

Промежуточные результаты работы неоднократно представлены на различных представительных международных мероприятиях. Так, команда проекта являлась спикерами сайд-ивента в рамках конференции МАГАТЭ «International Conference on Nuclear Security: Shaping the Future 2024», которая состоялась 20–24 мая 2024 года в г. Вена, Австрия. Ключевой тематикой сайд-ивента являлось освещение вопросов развития ядерной криминалистики как одного из основных элементов в архитектуре ядерной физической безопасности Казахстана, а модераторами данного мероприятия регулятором Казахстана определены представители ИЯФ и НЯЦ РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nuclear Forensics in Support of Investigations: implementing guide. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. 80 p. – (IAEA nuclear security series, ISSN 1816–9317; no. 2-G) STI/PUB/1687 ISBN 978–92–0–102115–1 – 79 p.
- [2] Woojin Kim, Jaeyeong Jang. A Study on the Uranium Enrichment Determination using the Standard-less Gamma Spectrometry Technique. Transactions of the Korean Nuclear Society Virtual spring Meeting, May 13-14, 2021
- [3] Development of a National Nuclear Forensics Library. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2018). IAEA-TDL-009. Vienna: IAEA. ISBN: 978-92-0-108218-3. <https://www.iaea.org/publications/>
- [4] Nuclear Forensics: Beyond the Science. IAEA-TECDOC-1896. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020). Vienna: IAEA. ISBN: 978-92-0-100920-3. <https://www.iaea.org/publications/>

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ / POSTER PRESENTATIONS

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА В ЭКРАНИРОВАННЫХ ТВЭЛАХ МЕТОДОМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ (КОАКСИАЛЬНЫЙ HPGE) С АНАЛИЗОМ СПЕКТРОВ В FRAM

Б. С. Медетбеков, Ю. А. Попов, И. В. Прозорова

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

Определение обогащения урана представляет собой важный аспект контроля ядерных материалов, необходимый для оценки потенциальных угроз безопасности и обнаружения несанкционированного перемещения материалов. Гамма-спектрометрия с использованием высокочистого германиевого (HPGe) детектора предлагает неразрушающий метод анализа соотношения изотопов, однако стандартному оборудованию часто не хватает точности, особенно при экранировании образцов.

Гамма-спектрометрия с использованием коаксиального HPGe-детектора может быть альтернативным вариантом в ядерной криминалистике, где образцы могут быть экранированы (например, в контейнерах при толщине стального экрана ~10 мм). Она позволяет получить относительно быстрые и удовлетворительные результаты по изотопному составу урана, что делает её эффективным инструментом для оперативного анализа.

Цель данного исследования – оценить возможности портативного коаксиального HPGe-детектора в сочетании с программным обеспечением FRAM для определения обогащения урана в условиях экранирования и без него.

Для достижения поставленной цели были проведены серии гамма-спектрометрических измерений образцов твэлов с низким содержанием урана. Результаты показали, что метод обеспечивает надежную и быструю оценку обогащения с погрешностью до 10%, что особенно важно для применения в ядерной криминалистике, где своевременный и точный изотопный анализ имеет большое значение.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ



STS-2025

AUTHORS INDEX

A

Akaev A. S., 41
 Alberti H., 86
 Ando M., 23

B

Babczuk A., 85
 Bai L., 129
 Batyrbekov E. G., 59
 Bekmoldin M. K., 41
 Berezin S., 130
 Bobkier R., 85
 Bossew P., 86
 Bossis Ph., 24

C

Cao Q., 57
 Cauquoin A., 87
 Chektybayev B. Zh., 58, 59, 72, 73
 Czech E. K., 85

D

Da Silva N., 86
 Dambach R., 86
 Dong J., 41
 Duisen A. Zh., 58, 59, 72, 73
 Dybov V. A., 60

E

Efimov V., 57
 Eremin V. A., 60
 Evers L., 129

G

Gallacher R., 129
 Gasparyan Yu., 57
 Gulkin A., 58
 Gusyev M., 87, 88

H

He M., 129
 He X., 25
 Helebrant J., 86
 Hu B., 57

I

Issagali A. A., 130
 Ivanovskikh K. V., 60
 Izosimov I. N., 87

K

Kashikbayev Ye. A., 58, 59, 72, 73
 Khamitov S. S., 58, 59, 73
 Konstantinov V., 23
 Kopnichev Yu. F., 131
 Korepanova K., 87
 Kotov S., 58
 Kovler K., 85
 Krat S., 57
 Kuča P., 86
 Kulagin V., 57
 Kurskiev G., 58
 Kusainov A., 58, 72

L

Li A. M., 73
 Luff R., 86

M

Maaß K., 86
 Malchik F. I., 74
 Malik S. D., 74
 Martynenko E. A., 41
 Mikhailova N., 131
 Miniyazov A. Zh., 74
 Mukambayev A., 131

N

Nagata H., 88
 Nanba K., 88

O

Olkhovik D. A., 58, 59, 73
 Ostojic N., 57

P

Pavlov V. M., 73
 Payot F., 24
 Piao J., 41
 Polkovnikov V. S., 72, 73

S

Saparov A. T., 73
 Savkin V., 58
 Savkin V. I., 73
 Shang Ch., 26
 Shanker D., 89
 Shen Y., 129
 Skakov M. K., 74
 Sokolova I. N., 131
 Solarevic T., 57
 Stepanova O., 58

Storchak D. A., 129

T

Tazhibayeva I. L., 58, 59
 Toleubekov K. O., 41

U

Umerenkova A., 57

V

Velichkov K. S., 132

W

Wang Ch., 129
 Wang R., 41
 Wang Y., 57
 Wu X., 26

Y

Yan T., 26
 Ye X., 57

Z

Zarva D. B., 59
 Zhaksybayeva A., 59
 Zhao F., 57
 Zhao Y.-G., 129
 Zhenis K., 58, 72
 Zhou B., 26
 Zhu Q., 41

A

Абишева М. Т., 100, 125
 Агапов О. А., 104
 Агатамова А. А., 64, 78
 Айдарханов А. О., 89, 98, 100, 115, 121
 Айдарханова А. К., 90, 92, 100, 101, 103, 108, 109, 111, 115
 Айтқұмаров А. Н., 42
 Акаев А. С., 43, 48, 51
 Ақболатов Е. Ж., 42
 Александрович И. А., 104, 109
 Алексеев А. А., 119
 Алиев Т. Н., 48
 Арбуз А. С., 26
 Аристова И. Л., 134
 Арынғазы Е. Б., 33, 42
 Ахромеев С. В., 94

Б

Байгазинов Ж. А., 101, 124, 126

Байгазинов С. А., 124
 Байгазы С. А., 101, 104
 Байструков К. И., 60
 Бакланов В. В., 45, 50, 51
 Бакланова Ю. Ю., 33, 44, 45, 50, 51, 53, 135
 Бачурина И. А., 100, 109, 113, 119
 Бекмагамбетова Б. Е., 79
 Бекмулдин М. К., 43, 48
 Белая Н. В., 116
 Березин С. А., 134
 Беспала Е. В., 27
 Бияхметова Д. Б., 91, 96
 Богомоллова И. Н., 32
 Божко В. В., 91, 123
 Болатов С., 28
 Большакова Н. А., 104
 Бочков В. С., 44, 75, 77
 Букина О. С., 45, 50, 51, 53
 Бураков Б. Е., 38
 Буркурманов Б. Б., 29
 Быстров Е. В., 119

В

Великанов А. Е., 132
 Вертков В. Н., 77
 Витюк В. А., 47
 Витюк Г. А., 45, 46, 47
 Волокитина И. Е., 26

Г

Габсатарова И. П., 133
 Гераськин С. А., 97
 Голобоков Ю. Н., 60
 Гордиенко Ю. Н., 44, 75, 77
 Горлачев И. Д., 98
 Градобоев А. В., 39, 69, 70

Д

Данилевич Д. С., 93
 Дериглазов А. А., 60
 Джусипбеков У. Ж., 120
 Джусь К. А., 65
 Добровольский Ю. А., 65
 Должиков С. А., 35, 46
 Донцов В. И., 134

Е

Елишенков А. Б., 80
 Елкин Н. Н., 48
 Ермаков В. А., 135
 Ермаков С. А., 115
 Ермакова Р. Г., 90, 92, 109, 111
 Ерохин С. А., 114
 Ерыгина Л. А., 49

Ә

Әскербеков С. К., 80

Ж

Жакия Р. Е., 67, 80
 Жанболатов О. М., 34, 45, 47
 Жанболатова Ф. Қ., 61, 76
 Жарков М. Ю., 77
 Желтов Д. А., 98, 116
 Жеңіс Д. Т., 45
 Жильцов Н. С., 63
 Жолдаякова С. Е., 71
 Жумадилов К. Ш., 126

З

Загороднюк А. А., 112
 Зайцев Д. А., 93
 Заурбекова Ж. А., 80
 Захарьянова А. Г., 111
 Зборовский В. Г., 48
 Зозуль Ю. Н., 94

И

Иванников А. И., 126
 Игибаев У. А., 134
 Ижойкин Д. А., 27
 Избасханова А. Т., 46
 Ильиных С. А., 135
 Илющенко А. Ф., 62, 63
 Иркимбеков Р. А., 34, 47
 Искаков Б. А., 95
 Исламов Р. С., 135

К

Кабдрахманова С. К., 95
 Кабдыракова А. М., 95
 Кадирбеков К. А., 120
 Кан Р. И., 27
 Кенжин Е. А., 80
 Кенжина И. Е., 80
 Кенжина Л. Б., 91, 96
 Киселев Е. О., 63
 Киселев С. М., 97
 Кожабекова А. Р., 104
 Кожемякин В. А., 119
 Комекбаев Д. К., 134
 Константинов В. Л., 65
 Корнилаев Е. В., 121
 Коровиков А. Г., 46
 Котляревский С. Г., 27
 Коянбаев Е. Т., 50
 Краснопёрова М. В., 98, 116, 122
 Кривицкий П. Е., 98, 100, 109, 123, 125
 Кривцов П. Ю., 134
 Круглыхин А. А., 46
 Куздеубай А. А., 47
 Кузнечик О. О., 62, 63
 Кукушкин И. М., 53, 75
 Кульсартов Т. В., 75, 80
 Кундузбаева А. Е., 95, 99
 Курбаков Д. Н., 101

Курские Г. С., 63
 Кылышканов М. К., 37

Қ

Қайырбекова Ә. Ж., 76
 Қабдылқақов Е. А., 31
 Қайырды Ф. Қ., 80

Л

Лавриненко О. А., 123
 Лагуцкий И. А., 93
 Ларионова Н. В., 90, 95, 98, 100, 109, 111, 113, 119, 123, 125
 Левченко С. П., 91, 123
 Лежнев С. Н., 26
 Лецко А. И., 62, 63
 Ли А. М., 60
 Лиханский В. В., 48
 Логинова М. В., 39
 Лукашенко С. Н., 95, 101, 116, 124
 Лутченко Н. А., 26

М

Мальчик Ф. И., 66
 Мамырбаева А. Н., 91, 96
 Мамырбаева А. С., 90, 92, 101, 103, 108, 109, 111
 Мартыненко Е. А., 48
 Масюкович М. В., 119
 Медетбеков Б. С., 52, 137
 Мезенцев А. А., 60
 Меньдубаев А. Т., 95, 121
 Меркулов С. В., 60
 Мешков С. С., 27
 Мәден Б. Е., 111
 Мәлік С. Д., 66
 Микиша А. В., 43
 Мильц В. А., 122
 Мильц О. С., 98, 116, 122
 Минаев В. Б., 63
 Миниязов А. Ж., 49, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 70, 79, 80, 81
 Минкенова К. С., 102
 Михайлов А. В., 101, 124
 Михайлова Н. Н., 134
 Монаенко В. Н., 100, 113, 119, 125
 Мурзакасымова А. Н., 124
 Мухамедиев А. К., 32, 47
 Мухамедов Н. Е., 34, 35, 45, 46, 47
 Мухамедова Н. М., 49, 61, 67, 68, 79, 80, 81
 Мясников А. Ю., 39

Н

Надеева А. М., 101, 103
 Насилов Ж. О., 126
 Наурызбаев Р. Ж., 135
 Нахайчук О. А., 112
 Нестеров В. Н., 37

Ничипорчук А. О., 112, 119
Новозенко А. В., 116
Ноқанова Ә. Д., 50, 51
Нурсултанова Н., 126

О

Оразымбеков Б. Т., 42
Оспанова Ж. Н., 67, 68, 79
Ошакбаев М. Т., 120

Ө

Өкен О., 49, 67, 68, 80, 81
Өтеген Д., 71

П

Павлов В. М., 60
Павлюк А. О., 27
Пак Г. Д., 95
Паницкий А. В., 100, 102, 104, 106
Пахниц А. В., 46
Перменев Ю. Г., 104
Петров Ю. В., 63
Подгузова Т. В., 98, 122
Подойников М. А., 32
Полевик В. В., 123
Поливкина Е. Н., 106, 110, 121
Понкратов Ю. В., 44, 75, 77
Пономаренко А. М., 63
Попов Ф. Е., 26
Попов Ю. А., 32, 52, 137
Прибылев С. В., 119
Прозоров А. А., 32
Прозорова И. В., 32, 33, 52, 137

Р

Райсов Н. С., 31
Романенко Е. В., 106

С

Сабитова Р. Р., 33, 45, 52
Сабыртаева А. А., 49, 67, 68, 80
Салихов Н. М., 95
Самарханов Қ. Қ., 44
Санжарова Н. И., 107
Сапарбек Э., 75, 77

Сапатаев Е. Е., 33, 42, 135
Сарсенова А. А., 108
Сафонов Е. С., 65
Сахаров Н. В., 63
Светачев С. Н., 45, 52
Севериненко М. А., 98
Сейдинаби А. Н., 122
Секен Д. М., 34
Ситников А. А., 39
Скаков М. К., 36, 48, 64, 66, 67, 69, 70, 79, 80, 81
Скопченко М. Е., 81
Скрипников М. В., 109
Служанов А. Н., 77
Смирнов С. Д., 108
Собачкин А. В., 39
Соколов И. А., 61, 64, 68, 69, 70, 76, 78, 79
Соколова И. Н., 133, 134
Степаненко В. Ф., 118, 126
Степанянц Е. Р., 101
Субботин С. Б., 109
Сулюбаева Л., 28
Сураев А. С., 31, 34, 35, 46
Сысалетин А. В., 135
Сысоева Е. С., 110, 121
Сычева Л. П., 97

Т

Тажигаева И. Л., 62, 77
Ташекова А. Ж., 108
Тимаков А. С., 35
Тимонова Л. В., 106, 111, 115
Тлеуканова Ж. Е., 90, 92, 101, 108, 109, 111
Токарев А. Ю., 63
Токсанбаев Б. Ж., 35
Токтаушев Ә. Ж., 53
Толеубеков К. О., 43, 46, 48
Толкачѳв А. Н., 112
Томсон А. В., 101, 124
Топорова А. В., 100, 113, 119, 123
Тузова Т. В., 114
Туленбергенев Т. Р., 64, 70, 76, 78
Тулубаев Е. Ю., 75, 77
Тургунова К. К., 71
Турончик Ю. Е., 93
Турченко Д. В., 115
Тусупкалиев Е. А., 120

Туякбаев Б. Т., 36

У

Уазырханова Г. К., 68
Удалов Ю. Д., 118
Ударцев С. В., 37, 80
Улыбышев К. Е., 48

Ф

Федунова Е. В., 101, 124
Фесенко С. В., 107
Филимонов В. Ю., 39

Х

Харкин П. В., 98, 116, 122
Хлебникова И. А., 37
Ходыко Ю. А., 62, 63
Хоружий О. В., 48
Хоши М., 118, 126

Ч

Чектыбаев Б. Ж., 62, 70
Чирикало В. А., 119
Чихрай Е. В., 80

Ш

Шадыхулова А. Н., 71
Шайкиева К. С., 49
Шандала Н. К., 97
Шаповалов С. Г., 117
Шинкарев С. М., 118
Ширяев А. А., 38
Шлыгин В. В., 94

Э

Эдомская М. А., 94, 101, 124

Я

Яковлев В. В., 46
Яковлев В. И., 39
Япаскерт В. О., 38
Яшин А. Ю., 63

Ответственные за выпуск:

Утенкова Н. О., Омарханова А. О., Котляр Е. С., Игибаев У. А.

Технический редактор:

Перепелкин И. Г.

Электронная версия издания подготовлена
в РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан».
071100, Республика Казахстан, обл. Абфй, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б.

ISBN 978-601-80839-1-4



АГЕНТСТВО РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»



Издание осуществлено
при финансовой поддержке
Международного научно-
технического центра

✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦ ТЕЗИСЫ ✦ ABSTRACTS ✦

✉ nnc@nnc.kz

🌐 <http://www.nnc.kz>