

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



NRP-2015

10-я международная конференция

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА

8-11 сентября 2015 г., г. Курчатов, Республика Казахстан

ТЕЗИСЫ

10th International Conference

NUCLEAR AND RADIATION PHYSICS

September 8-11, 2015, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

ABSTRACTS

г. Курчатов – 2015

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



NRRP-2015

10-я международная конференция

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА

8-11 сентября 2015 г., г. Курчатов, Республика Казахстан

ТЕЗИСЫ

10th International Conference

NUCLEAR AND RADIATION PHYSICS

September 8-11, 2015, Kurchatov, Republic of Kazakhstan

ABSTRACTS

г. Курчатов – 2015

УДК 539.1(063)
ББК 22.383
Я 34

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

ЯЗ4 **ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА:**
мат-лы 10-й междунар. конф. (8-11 сент. 2015 г.)=
Nuclear and radiation physics: 10th International conference
(September 8-11, 2015). – г. Курчатова: РГП НЯЦ РК, 2015. – 202 с.

ISBN 9965-675-91-0

В сборнике представлены тезисы докладов участников конференции по атомной энергетике, ядерной физике, радиационной экологии, применению ядерных и радиационных методов в медицине и промышленности.

УДК 539.1(063)
ББК 22.383

ISBN 9965-675-91-0 © РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», 2015

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Министерство энергетики РК
- Акимат г. Курчатов
- РГП «Национальный ядерный центр РК»
- РГП «Институт ядерной физики»
- АО «Парк ядерных технологий»
- НАК «Казатомпром»
- Ядерное общество Казахстана

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ СОВЕТ

Председатель: Школьник В.С. (Казахстан)

Зам. Председателя: Джаксалиев Б.М. (Казахстан)

Члены Совета:

<i>Abderrahim H.A. (Belgium)</i>	<i>Зайцев П.А. (Россия)</i>	<i>Sagayama Y. (Japan)</i>
<i>Адилов Ж.М. (Казахстан)</i>	<i>Иткис М.Г. (Россия)</i>	<i>Sakai T. (Japan)</i>
<i>Allen T. (USA)</i>	<i>Кадыржанов К.К. (Казахстан)</i>	<i>Salbu B. (Norway)</i>
<i>Alper Z. (Turkey)</i>	<i>Кашипаров В. (Украина)</i>	<i>Салимбаев У.С. (Узбекистан)</i>
<i>Asami K. (Japan)</i>	<i>Керимов М.К. (Азербайджан)</i>	<i>Санжарова Н.И. (Россия)</i>
<i>Батырбеков Г.А. (Казахстан)</i>	<i>Киевская А.И. (Беларусь)</i>	<i>Serre F. (France)</i>
<i>Béhar C. (France)</i>	<i>Кодина Г.Е. (Россия)</i>	<i>Снакин В.В. (Россия)</i>
<i>Велихов Е.П. (Россия)</i>	<i>Комаров Ф.Ф. (Белоруссия)</i>	<i>Spitaleri C. (Italy)</i>
<i>Виелеба В. (Польша)</i>	<i>Кулипанов Г.Н. (Россия)</i>	<i>Сыдыков Е.Б. (Казахстан)</i>
<i>Воеводин В.Н. (Украина)</i>	<i>Lee M.C. (Korea)</i>	<i>Tanaka H. (Japan)</i>
<i>Гарибов А.А. (Азербайджан)</i>	<i>Матвеев В.А. (Россия)</i>	<i>Tanrikut A. (Turkey)</i>
<i>Градобоев А.В. (Россия)</i>	<i>Mora J.C. (Spain)</i>	<i>Toyohara M. (Japan)</i>
<i>Гриднев К.А. (Россия)</i>	<i>Мутанов Г.М. (Казахстан)</i>	<i>Natada Y. (Japan)</i>
<i>Danesi P.R. (Austria)</i>	<i>Nagy D.L. (Hungary)</i>	<i>Hida T. (Japan)</i>
<i>Драгунов Ю.Г. (Россия)</i>	<i>Оганесян Ю.Ц. (Россия)</i>	<i>Хулка И. (Чехия)</i>
<i>Дубасов Ю.В. (Россия)</i>	<i>Proehl G. (Austria)</i>	<i>Флороу Е. (Греция)</i>
<i>Дүйсебаев А.Д. (Казахстан)</i>	<i>Псахье С.Г. (Россия)</i>	<i>Юлдашев Б.С. (Узбекистан)</i>
<i>Жумагалиев А.К. (Казахстан)</i>	<i>Rusek K. (Poland)</i>	

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Батырбеков Э.Г. (Казахстан)

Зам. Председателя: Чақров П.В. (Казахстан)

Секретарь конференции: Пятова З.И. (Казахстан)

Члены Комитета:

<i>Абрамович С.Н. (Россия)</i>	<i>Коваль Н.Н. (Россия)</i>	<i>Сакута С.Б. (Россия)</i>
<i>Березин С.А. (Казахстан)</i>	<i>Lambert J.D.B. (USA)</i>	<i>Скаков М.К. (Казахстан)</i>
<i>Betak E. (Slovakia)</i>	<i>Lennartz R. (Germany)</i>	<i>Тажыбаева И.Л. (Казахстан)</i>
<i>Борисенко А.Н. (Казахстан)</i>	<i>Лукашенко С.Н. (Казахстан)</i>	<i>Томаровская Н.Н. (Казахстан)</i>
<i>Буртебаев Н. (Казахстан)</i>	<i>Migliorini M. (Slovakia)</i>	<i>Тухватулин Ш.Т. (Россия)</i>
<i>Garner F.A. (USA)</i>	<i>Рамазанов Т.С. (Казахстан)</i>	<i>Углов В.В. (Беларусь)</i>
<i>Дмитриев С.Н. (Россия)</i>	<i>Ремнев Г.Е. (Россия)</i>	<i>Черепнин Ю.С. (Россия)</i>
<i>Жантикин Т.М. (Казахстан)</i>	<i>Рудчик А.Т. (Украина)</i>	<i>Ярмухамедов Р.Я. (Узбекистан)</i>
<i>Жданова Н.А. (Казахстан)</i>	<i>Русаков В.С. (Россия)</i>	
<i>Каракозов Б.К. (Казахстан)</i>	<i>Рыспанов Н.Б. (Казахстан)</i>	

ТЕМАТИКА

1. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- Ядерные энергетические установки
- Радиационное материаловедение и физика твердого тела, ядерное топливо
- Управляемый термоядерный синтез
- Безопасность атомной энергетики и проблемы нераспространения
- Возобновляемые источники энергии (гидро-, гелио-, ветро-, био-энергетика и пр.)

2. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

- Механизмы ядерных реакций и структура ядер
- Тяжелые и сверхтяжелые элементы: синтез и деление
- Ядерная физика низких и средних энергий, ядерная астрофизика

3. РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Радиоэкологические исследования бывших испытательных полигонов и других радиационно-опасных объектов, оценка рисков
- Технологии снижения радиоэкологического риска радиационно-опасных объектов и территорий, обращение с радиоактивными отходами
- Физико-химические методы в радиоэкологии и вопросы дозиметрии

4. ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МЕДИЦИНЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Производство и применение радиоактивных изотопов
- Ядерная медицина
- Радиационные технологии
- Новые материалы и методы их получения
- Коммерциализация ядерных технологий

5. Форум ядерной кооперации в Азии (FNCA)

«ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, УЧЕТ И КОНТРОЛЬ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

6. Круглый стол «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»

CONFERENCE ORGANIZERS

- Ministry of Energy RK
- Local Administration of Kurchatov
- RSE National Nuclear Center of RK
- RSE Institute of Nuclear Physics
- JSC “Park of Nuclear Technologies”
- NAC “Kazatomprom”
- Nuclear Society of Kazakhstan

INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

Chairman: *V.S. Shkol'nik (Kazakhstan)*

Deputy Chairman: *B.M. Dzhaksaliyev (Kazakhstan)*

Board Members:

<i>N.A. Abderrahim (Belgium)</i>	<i>M.G. Itkis (Russia)</i>	<i>T. Sakai (Japan)</i>
<i>Zh.M. Adilov (Kazakhstan)</i>	<i>K.K. Kadyrzhanov (Kazakhstan)</i>	<i>B. Salbu (Norway)</i>
<i>T. Allen (USA)</i>	<i>V. Kashparov (Ukraine)</i>	<i>U.S. Salikhibayev (Uzbekistan)</i>
<i>Z. Alper (Turkey)</i>	<i>M.K. Kerimov (Azerbaijan)</i>	<i>N.I. Sanzharova (Russia)</i>
<i>K. Asami (Japan)</i>	<i>A.I. Kiyevitskaya (Byelorussia)</i>	<i>F. Serre (France)</i>
<i>G.A. Batyrbekov (Kazakhstan)</i>	<i>G.Ye. Kodina (Russia)</i>	<i>V.V. Snakin (Russia)</i>
<i>C. Béhar (France)</i>	<i>F.F. Komarov (Byelorussia)</i>	<i>C. Spitaleri (Italy)</i>
<i>P.R. Danesi (Austria)</i>	<i>G.N. Kulipanov (Russia)</i>	<i>E.B. Sydykov (Kazakhstan)</i>
<i>Yu.G. Dragunov (Russia)</i>	<i>M.C. Lee (Korea)</i>	<i>H. Tanaka (Japan)</i>
<i>Yu.V. Dubasov (Russia)</i>	<i>V.A. Matveyev (Russia)</i>	<i>A. Tanrikut (Turkey)</i>
<i>A.D. Duisebayev (Kazakhstan)</i>	<i>J.C. Mora (Spain)</i>	<i>M. Toyohara (Japan)</i>
<i>E. Florou (Greece)</i>	<i>G.M. Mutanov (Kazakhstan)</i>	<i>E.P. Velikhov (Russia)</i>
<i>A.A. Garibov (Azerbaijan)</i>	<i>D.L. Nagy (Hungary)</i>	<i>V. Viyeleba (Poland)</i>
<i>A.V. Gradoboyev (Russia)</i>	<i>Yu.Ts. Oganessian (Russia)</i>	<i>V.N. Voyevodin (Ukraine)</i>
<i>K.A. Gridnev (Russia)</i>	<i>G. Proehl (Austria)</i>	<i>B.S. Yuldashev (Uzbekistan)</i>
<i>Y. Hamada (Japan)</i>	<i>S.G. Psakhie (Russia)</i>	<i>P.A. Zaytsev (Russia)</i>
<i>T. Hida (Japan)</i>	<i>K. Rusek (Poland)</i>	<i>A.K. Zhumagaliyev (Kazakhstan)</i>
<i>I. Hulka (Czech)</i>	<i>Y. Sagayama (Japan)</i>	

ORGANIZATIONAL COMMITTEE

Chairman: *E.G. Batyrbekov (Kazakhstan)*

Deputy Chairman: *P.V. Chakrov (Kazakhstan)*

Conference Secretary: *Z.I. Pyatova (Kazakhstan)*

Committee Members:

<i>S.N. Abramovich (Russia)</i>	<i>J.D.B. Lambert (USA)</i>	<i>M.K. Skakov (Kazakhstan)</i>
<i>S.A. Berezin (Kazakhstan)</i>	<i>R. Lennartz (Germany)</i>	<i>I.L. Tazhibaeva (Kazakhstan)</i>
<i>E. Betak (Slovakia)</i>	<i>S.N. Lukashenko (Kazakhstan)</i>	<i>N.N. Tomarovskaya (Kazakhstan)</i>
<i>A.N. Borisenko (Kazakhstan)</i>	<i>M. Miglierini (Slovakia)</i>	<i>Sh.T. Tukhvatulin (Russia)</i>
<i>N. Burtebayev (Kazakhstan)</i>	<i>T.S. Ramazanov (Kazakhstan)</i>	<i>V.V. Uglov (Belarus)</i>
<i>Yu.S. Cherepnin (Russia)</i>	<i>G.E. Remnev (Russia)</i>	<i>R.Ya. Yarmukhamedov (Uzbekistan)</i>
<i>S.N. Dmitriev (Russia)</i>	<i>A.T. Rudchik (Ukraine)</i>	<i>T.M. Zhantikin (Kazakhstan)</i>
<i>F.A. Garner (USA)</i>	<i>V.S. Rusakov (Russia)</i>	<i>N.A. Zhdanova (Kazakhstan)</i>
<i>B.K. Karakozov (Kazakhstan)</i>	<i>N.B. Ryspanov (Kazakhstan)</i>	
<i>N.N. Koval' (Russia)</i>	<i>S.B. Sakuta (Russia)</i>	

CONFERENCE TOPICS**1. NUCLEAR ENERGY**

- Nuclear-power plants
- Radiation materials science and solid state physics, nuclear fuel
- Controlled thermonuclear fusion
- Safety of nuclear power and non-proliferation problems
- Renewable power sources (hydro-, helio-, wind-power-, bio-energetics, etc.)

2. NUCLEAR PHYSICS

- Mechanisms of nuclear reactions and structure of nuclei
- Heavy and super-heavy elements: fusion and fission
- Nuclear physics of low and mean energies, nuclear astrophysics

3. RADIATION ECOLOGY

- Radio-ecological research of former nuclear test sites and other radiation-hazardous sites, risk assessment
- Ecology radiation risk reduction technologies for radiation hazardous facilities and territories, radioactive waste management
- Physical-chemical methods in radioecology and dosimetry related issues

4. NUCLEAR AND RADIATION METHODS IN MEDICINE AND INDUSTRY

- Production and application of radioisotopes
- Nuclear medicine
- Radiation technologies
- New materials and their production methods
- Nuclear technologies commercialization

**5. Forum of Nuclear Cooperation in Asia (FNCA),
“NUCLEAR SAFETY, ACCOUNTING AND CONTROL OF NUCLEAR MATERIALS”****6. Round table discussion: “NUCLEAR POWER DEVELOPMENT PROSPECTS”**

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ / PLENARY SESSION	21
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПОЛИТИКИ КАЗАХСТАНА В ОБЛАСТИ МИРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ Батырбеков Э.Г.	23
OVERVIEW AND PROGRESS OF FNCA Tomoaki Wada	24
CHARACTERIZATION OF FUEL DEBRIS BY LARGE-SCALE SIMULATED DEBRIS EXAMINATION FOR FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER STATIONS M. Toyohara, S. Kawano, T. Fujita, T. Hayashi, V.V. Baklanov, A.A. Kolodeshnikov, V.A. Zuev	25
THE EAGLE PROJECT TO ENHANCE THE SAFETY OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS BETWEEN REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AND JAPAN Y. Tsujikura, S. Kubo, K. Kamiyama, I. Sato, H. Kamide, T. Kodama, V.A. Zuev, A.D. Vurim, A.A. Kolodeshnikov, Y.S. Vassiliev, M.K. Skakov, E.G. Batyrbekov	26
CHALLENGES RELATED TO NUCLEAR LEGACY SITES Brit Salbu	27
МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА Тажибаева И.Л., Батырбеков Э.Г., Скаков М.К.	28
Секция 1 / Section 1	
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА / NUCLEAR ENERGY	29
IN- AND EX-VESSEL CORIUM STUDIES AT JRC-ITU, KARLSRUHE P.D.W. Bottomley, Th. Wiss, D. Manara & V.V. Rondinella	31
NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF SILICON NANOPARTICLES Aydan Garibli, Elchin Huseynov, Adil Garibov	32
DECAY SCHEMES COMPLETENESS AND DECAY HEAT CALCULATION PROBLEMS I.N. Izosimov	33
R&D AND EXPERIMENTAL PROGRAMS FOR MITIGATING SEVERE ACCIDENTS CONSEQUENCES IN GENIV SFRs AND IN THE ASTRID TECHNOLOGY DEMONSTRATOR F. Serre, F. Payot, C. Suteau, L. Trotignon, E. Batyrbekov, A. Vurim, A. Pakhnits, V. Vityuk, S. Kubo, A. Kato, Y. Tobita, K. Kamiyama, K. Matsuba, J. Toyooka	34
MAIN OUTCOMES AND FUTURE PLAN OF THE EAGLE PROJECT S. Kubo, Y. Tobita, I. Sato, S. Kotake, H. Endo, K. Koyama, K. Konishi, K. Kamiyama, K. Matsuba, J. Toyooka, V.A. Zuev, A.V. Pakhnits, V.A. Vityuk, V.A. Gaidaichuk, A.D. Vurim, A.A. Kolodeshnikov, Y.S. Vassiliev	35

PROGRESS IN AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE COOLABILITY OF MOLTEN CORE MATERIALS FOR SODIUM-COOLED FAST REACTORS WITH OUT-OF-PILE TESTS IN THE EAGLE PROGRAM K. Matsuba, K. Kamiyama, J. Toyooka, T. Sakai, Y. Tobita, V.A. Zuev, A.A. Kolodeshnikov	36
THE EFFECT OF IRRADIATION AND DEFORMATION ON PHASE TRANSFORMATIONS IN REACTOR Cr-Ni STEELS K.V. Tsay, O.V. Rofman, S.V. Ruban, O.P. Maksimkin and F.A. Garner	36
DIELECTRIC RELAXATION AND CONDUCTIVITY IN γ -IRRADIATED TlGaTe ₂ CRYSTALS AND (TlGaSe ₂) _{1-x} (TlInS ₂) _x , (TlInSe ₂) _{1-x} (TlGaTe ₂) _x , (TlInS ₂) _{1-x} (TlInSe ₂) _x SOLID SOLUTIONS R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, N.A. Alieva, M.Y. Yusiov and A.A. Orujeva.....	38
DEVELOPMENT OF AN ANALYTICAL METHODOLOGY FOR UNPROTECTED LOSS-OF-FLOW ACCIDENT REFLECTING SCIENTIFICALLY NEW KNOWLEDGE AND A PRELIMINARY EVALUATION H. Tagami, T. Suzuki, K. Kawada, T. Sakai, Y. Tobita.....	38
TRANSIENT TESTING SCIENTIFIC INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT TO SUPPORT TREAT Daniel M. Wachs.....	39
РАДИАЦИОННО-ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ГЕКСАНА В ПРИСУТСТВИИ nano-Al ₂ O ₃ Агаев Т.Н., Байрамова И.В.	39
РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ САПФИРА, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ СВИНЦА Арутюнян В.В., Алексанян Э.М.....	40
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Ахмеджанов Ф.Р., Болтабаев А.Ф., Курталиев Э.Н., Эшниязов О.И.	41
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ПРИ УДЕРЖАНИИ КОРИУМА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА Бакланов В.В.	42
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ГАРМОНИК В РАСЧЁТАХ РБМК Балыгин А.А., Краюшкин А.В., Ковалишин А.А.	43
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЗОННЫХ ТВС С ТОРИЕВЫМ ТОПЛИВОМ Большаков В.В.	43
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ Витюк В.А., Вурим А.Д.	44
ТЕПЛОВОЙ РЕАКТОР ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ Котов В.М., Ерыгина Л.А., Иданова Д.С., Сураев А.С.....	45

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ УТС В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» Азизов Э.А., Кузнецова Л.К., Трубников А.С., Хвостенко П.П.	46
ГАЗООБРАЗОВАНИЯ В ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДАХ Курбанов М.А., Мамедов С.Г., Кулиева У.А., Искендерова З.И.	47
РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ (БРЕСТ). ПОДХОДЫ К ЗАМЫКАНИЮ ЯТЦ Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Моисеев А.В., Смирнов В.С.	49
РАДИАЦИОННО-ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ $RaO-SiO_2+H_2O$ Агаев Т.Н., Гарибов А.А., Мансимов З.А., Гулиева Р.Т.	50
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРИУМА ЛЕГКОВОДНОГО РЕАКТОРА С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ОКИСЛЕННОСТИ ЦИРКОНИЯ Скаков М.К., Мухамедов Н.Е., Дерявко И.И., Бакланов В.В., Кукушкин И.М., Виелеба В.К.	51
СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ВОЛЬФРАМЕ И МОЛИБДЕНЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ Рахадиллов Б.К., Скаков М.К.	52
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ В РЕАКТОРНОМ ЗДАНИИ ОТ РЕАКТОРА ВВР-К Садуев Н.О., Оскомов В.В., Седов А.Н., Буртебаев Н.Т., Каликулов О.А., Ережеп Н.О., Кенжина И.Е., Мендибаев К.О., Искаков Б.А.	53
COLOR CENTERS IN γ -IRRADIATED HfO_2 BASED CRYSTALS M.Z. Amonov, I. Nuritdinov, M.M. Ziyadullayev	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПАРООБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕГРЕВА ПАРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК Сураев А.С., Котов В.М., Скаков М.К., Батырбеков Э.Г., Виелеба В.К.	54
УЧЕТ «МЕРТВОГО» ВРЕМЕНИ НЕЙТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДКРИ- ТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛНА-БУСТЕР» МЕТОДОМ ПРЕРЫВАНИЯ ИОННОГО ПУЧКА ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ (МЕТОД СТРЕЛЯЮЩЕГО ИСТОЧНИКА) Бурнос В.В., Киевицкая А.И., Фоков Ю.Г.	55
EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON ELECTROPHYSICAL AND PHOTOELECTRIC PARAMETERS OF DOUBLE-BARRIER STRUCTURE BASED ON SILICON F.P. Abasov, Yu.M. Mustafaev	55
ПРАКТИКА И ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ Черемисин П.И., Трошев А.В., Заритовский С.М., Кишкин С.А., Колпаков А.Н.	56
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ИСПЫТАНИЙ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО УСТРОЙСТВА Адилбеков С.А., Мухамедов Н.Е., Пахниц А.В., Витюк В.А., Иркимбеков Р.А., Мурзагалиева А.А.	57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАФИТА IG-110 С ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ГАЗАМИ Аскербекев С.К., Кульсартов Т.В., Чихрай Е.В., Кенжина И.Е., Шестаков В.П., Гордиенко Ю.Н., Понкратов Ю.В., Миниязов А.Ж., Кукушкин И.М.	59
РАСЧЕТ ЭВОЛЮЦИИ ПЫЛИНОК В ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЕ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА Бастыкова Н.Х., Коданова С.К., Рамазанов Т.С., Майоров С.А.	60
МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦИИ ЛАВООБРАЗНЫХ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» Габелков С.В., Ключников А.А., Пархомчук П.Е., Чемерской Г.Ф.	60
АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБОЛОЧКАХ ОТРАБОТАВШИХ ТВЭЛОВ И ТВС В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ РЕАКТОРА БН-350 Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.	62
РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЯДЕРНО-ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГАЗОВЫХ СРЕД Гордиенко Ю.Н., Батырбеков Э.Г., Понкратов Ю.В., Хасенов М.У., Барсуков Н.И., Заурбекова Ж.А., Тулубаев Е.Ю., Кульсартов Т.В.	63
ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЭЛАХ ТК300 РЕАКТОРА ИВГ.1 Дерявко И.И.	64
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА СКОРОСТЬ ПОЛЗУЧЕСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 12X18N10T ОБЛУЧЕННОЙ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ В РЕАКТОРЕ БН-350 Диков А.С., Ларионов А.С., Сатпаев Д.О., Кислицин С.Б.	65
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ВЛИЯНИЯ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ЗОЛОТА НА НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ $(\text{TiZrHfVNbTa})_x\text{N}_{1-x}$ Жоллыбеков Б.Р., Погребняк А.Д., Y. Takeda, Ташметов М.Ю., Якушенко В.	66
ЯДЕРНОЕ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ – АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕЗАГРУЗКИ Зима Г.В.	67
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С ВАНАДИЕВЫМИ СПЛАВАМИ Кульсартов Т.В., Файзуллаева Ж.Ж., Чихрай Е.В., Аскербекев С.К., Кенжина И.Е., Шестаков В.П., Гордиенко Ю.Н., Понкратов Ю.В., Заурбекова Ж.А.	68
РОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ИОННОМ РАСПЫЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ Козырева М.С., Карпиков А.Н., Кислицин С.Б.	69
РАСПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ TiMoN И TiNbN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ Кислицин С.Б., Горлачев И.Д., Диков А.С., Козловский А.И.	70
СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ Курбанбеков Ш.Р., Скаков М.К.	71

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ He, Kr и Xe НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ TiMoN И КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 12X18N10T Ларионов А.С., Уралов М.К., Диков А.С., Кислицин С.Б.	72
ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И РЕАКТОРНЫХ СПЛАВОВ 12X18N10T И 03X20N45M4БРЦ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ Мережко Д.А., Мережко М.С., Максимкин О.П., Сильнягина Н.С.	73
КРИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЧАЛА ЛОКАЛИЗОВАННОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ АУСТЕНИТНЫХ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ Мережко М.С., Максимкин О.П., Мережко Д.А.	74
МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГРАФИТОВОЙ МАТРИЦЫ ВТГР С SiC-ПОКРЫТИЕМ ПОСЛЕ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ Кульсартов Т.В., Миниязов А.Ж., Кукушкин И.М.	75
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi Магеррамов А.М., Нуруев И.М., Мехтиева Р.Н., Нуриев М.А.	76
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ ИНЕРЦИОННОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА Исмагамбетова Т.Н., Отарбай Ж.Е., Габдуллин М.Т.	78
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛИТИЕВОЙ КПС Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Тулубаев Е.Ю., Заурбекова Ж.А., Бакланов В.В., Скаков М.К., Тажибаева И.Л.	78
РЕЗУЛЬТАТЫ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СХЕМЫ РЕАКТОРНОГО АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНЫЕ НЕЙТРОНЫ Прозорова И.В., Тажибаева И.Л.	79
РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАЛИ 08X16N11M3 ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАКТОРЕ БН-350 Рубан С.В., Захаров М.А., Максимкин О.П.	80
РАЗВИТИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИН И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ДЦ-60 Рысқұлов А.Е., Горлачев И.Д., Иванов И.А., Курахмедов А.Е., Козин С.Г., Самбаев Е.К., Глущенко Н.В.	81
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ГАЛЛИЯ, ОБЛУЧЕННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Наджафов А.И.	83
ДИАГНОСТИКА ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИЛИНДРА ФАРАДЕЯ Тажен А.Б., Досболаев М.К., Рамазанов Т.С.	84

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ И ТЕРМОВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ Тлеубергенов Ж.К., Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А.	86
МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.	87
ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 316 Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.	88
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОГО ЛИТИЯ В МЛД КТМ Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Заурбекова Ж.А., Скаков М.К., Тажибаева И.Л.	89
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ TiMoN НА СТАЛИ 12X18H10T Уралов М.К., Ларионов А.С., Диков А.С., Кислицин С.Б.	89
РЕКОМБИНАЦИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ BaWf ₈ Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б.	90
УРАН-ЭРБИЕВОЕ ТОПЛИВО РЕАКТОРОВ РБМК Федосов А.М.	91
МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ САПФИР 22-МП-ВН ДЛЯ РАБОТЫ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ В ЧАСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА HART Дулов Е.Н., Халабуда Ю.Э., Шурыгин В.А.	92
ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ Хромушин И.В., Аксенова Т.И., Тусеев Т.Т., Мунасбаева К.К., Ермолаев Ю.В., Ермолаев В.Н., Сеитов А.С.	93
МЕХАНИЧЕСКИЕ, МАГНИТНЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H10T ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ Яровчук А.В., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г., Мережко Д.А.	94

Секция 2 / Section 2

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА / NUCLEAR PHYSICS 95

REACTION RATE DETERMINATIONS AT EXTREMELY LOW TEMPERATURES FOR LIGHT ELEMENTS NUCLEAR BURNING: THE IMPACT OF TROJAN HORSE METHOD MEASUREMENTS L. Lamia, C. Spitaleri, R.G. Pizzone, S. Degl'Innocenti, E. Tognelli, A. Mukhamedzhanov, M. La Cognata, P.G. Prada Moroni, S.M.R. Puglia, G.G. Rapisarda, S. Romano, M.L. Sergi, and A. Tumino.....	97
ACCELERATOR PRODUCTION OF ⁹⁹ Mo R.J. Peterson	98

TROJAN HORSE CROSS SECTION MEASUREMENTS AND THEIR IMPACT ON PRIMORDIAL NUCLEOSYNTHESIS R.G. Pizzone, C. Bertulani, R. Spart'а, C. Spitaleri, M. La Cognata, L. Lamia, A. Mukhamedzhanov	98
INVESTIGATION OF ELASTIC SCATTERING OF PROTONS FROM ^{14}N NUCLEI AT LOW ENERGIES N. Burtebayev, D.M. Zazulin, Zh.K. Kerimkulov, M. Baktybayev, D.K. Alimov, Y.S. Mukhamejanov, M. Nassurlla, D. Sairanbayev, D.M. Janseitov, A.N. Bahtibaev	99
NONLINEAR CORRECTIONS AND STRUCTURE FORMATION AT STRONG INTERACTIONS A.T. Temiraliev, I.A. Lebedev	100
FORMATION OF INCLUSIVE SPECTRA OF LIGHT PARTICLES FROM INTERACTION OF 50.5 MeV ^3He IONS WITH ^{27}Al A. Duisebayev, B.A. Duisebayev, T.K. Zholdybayev, B.M. Sadykov, K.M. Ismailov	100
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF (p,xp) AND (p,x α) REACTIONS ON ^{59}Co NUCLEUS AT PROTONS ENERGY OF 30 MeV A. Duisebayev, B.A. Duisebayev, T.K. Zholdybayev, B.M. Sadykov, K.M. Ismailov	101
DETERMINATION OF THE ASYMPTOTIC NORMALIZATION COEFFICIENT FOR $^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr}$ K. Tursunmakhatov, R. Yarmukhamedov, S.B. Igamov	102
GLOBAL OPTICAL POTENTIAL FOR DIFFRACTIVE $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ SCATTERING IN THE ENERGY RANGE FROM 1 UP TO 100 MeV/NUCLEON O.A. Ponkratenko, A.T. Rudchik, Yu.O. Shyrma, Yu.M. Stepanenko, V.V. Uleshchenko.....	103
REDUCED E2-TRANSITION PROBABILITIES IN EXCITED COLLECTIVE STATES OF TRIAXIAL EVEN-EVEN HEAVY NUCLEI M.C. Nadirbekov, F. Temirov	103
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В $\bar{P}P$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 22,4 И 32 ГэВ/с Боос Э.Г., Темиралиев Т., Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А., Федосимова А.И.....	104
КОРРЕЛЯЦИЯ СФЕРИЧНОСТИ СОБЫТИЙ С ЭНЕРГИЕЙ, ПЕРЕДАННОЙ ЗАРЯЖЕН- НЫМ МЕЗОНОМ, В АНТИПРОТОН-ПРОТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 32 ГэВ/с Боос Э.Г., Темиралиев Т., Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А., Федосимова А.И.....	104
ФРАГМЕНТАЦИЯ ЯДЕР $^{22}\text{Ne}_{10}$ С ЛЕГКИМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ Аргынова А.А., Гайтинов А.Ш., Локтионов А.А.	105
ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ К-, L- И M-ОБОЛОЧЕК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИОНОВ АЗОТА ЭНЕРГИЕЙ 11.2, 16.8 И 22.4 МэВ С АТОМАМИ МИШЕНИ Курахмедов А.Е., Горлачев И.Д., Иванов И.А., Глущенко Н.В., Здоровец М.В., Платов А.В.	106
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ ЯДРО-ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Гайтинов А.Ш., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И.	106

КВАЗИУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ЯДЕР ${}^6\text{He}$, ${}^7\text{Be}$ и ${}^8\text{B}$ ЯДРАМИ ${}^{12}\text{C}$ Ковальчук В.И.	107
УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ИОНОВ ${}^3\text{He}$ И ${}^4\text{He}$ С ЭНЕРГИЕЙ 50-60 МэВ НА ЯДРЕ ${}^{24}\text{Mg}$ Дуйсебаев А., Дуйсебаев Б.А., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М.	108
МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ ${}^7\text{Li}(d, t){}^6\text{Li}$ ПРИ ЭНЕРГИИ ДЕЙТРОНОВ 25 МэВ Буртебаев Н.Т., Буртебаева Д.Т., Дуйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Нассурлла М., Жолдыбаев Т.К., Артемов С.В., Караходжаев А.А., Салихбаев У.С., Сакута С.Б., S. Kliczewski, E. Piasecki, K. Rusek, R. Siudak, A. Trzcińska, M. Wolińska-Cichocka, Амар А.	109
СТРУКТУРНЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ GaS, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВОДОРОДА Мадатов Р.С., Комаров Ф.Ф., Мустафаев Ю.М., Моховиков М.А., Ахмедов Ф.И., Джахангиров М.М., Гарибли А.А.	110
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАРАБОТКИ И ВЫДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛИ- ТИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ Заурбекова Ж.А., Кульсартов Т.В.	111
ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ РЕАКЦИЙ ТРАНСМУТАЦИИ I-129, Np-237 И Am-243 НА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ «ЯЛИНА-ТЕПЛОВАЯ» Киевицкая А.И., Фоков Ю.Г., Корнеев С.В.	112
ДЕЙТРОННЫЙ СРЫВ НА ЯДРАХ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ Ковальчук В.И.	112
ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЛЕГКИХ ЯДЕР ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш., Локтионов А.А.	113
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АДРОННОГО РОЖДЕНИЯ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРОТОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СРАВНЕНИИ С НОВЫМИ КОЛЛАЙДЕРНЫМИ ДАННЫМИ Аргынова А.Х., Кочелев Н.И., Квочкина Т.Н., Локтионов А.А.	114
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ TlGaSe ₂ ОБЛУЧЕННОГО γ -КВАНТАМИ Самедов О.А., Алекперов О.З., Наджафов А.И., Самедов С.Ф., Салманов Ф.Т., Фатализаде Х.З., Мосумлу Н.Т., Надилова Х.Б.	115
ДЕФИЦИТ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРИОДАХ СИСТЕМЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА Градобоев А.В.	116
ОБЪЯСНЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ НОВУЮ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ Таниев Д.М.	117
Секция 3 / Section 3 РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ / RADIATION ECOLOGY 119	
ENVIRONMENTAL BEHAVIOUR OF RADIOACTIVE PARTICLES Ole Christian Lind and Brit Salbu	121

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Ларионова Н.В.	122
ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУК- ЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.	123
РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РЕГИОНЕ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА Аскараров С.А., Ахметов М.А., Беркинбаев Г.Д., Каюков П.Г.	123
ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ р. ШАГАН И «АТОМНОГО» ОЗЕРА Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.	124
ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ В ОРГАНЫ И ТКАНИ ОВЕЦ Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Каратаев С.С., Байгазы С.А., Мамырбаева А.С.	124
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ^{210}Po В БИОСУБСТРАТАХ ЧЕЛОВЕКА. ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК Каримова А.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В., Шатров А.Н.	125
ИССЛЕДОВАНИЕ СООТНОШЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ В ПОЧВЕ НА УСЛОВНО-ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Бакланова Ю.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В.	126
ПРЕМИАЛЬНЫЕ ПОЛУ ПЛАНАРНЫЕ ОЧГ ДЕТЕКТОРЫ GEM-SP КОМПАНИИ ОРТЕС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕМИАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ НАЧИНАЯ ОТ 3 кэВ. А ТАКЖЕ УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ Бредихин И.С.	127
ОСОБЕННОСТИ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ р. ШАГАН Есимбеков А.Ж., Айдарханов А.О., Актаев М.Р., Лукашенко С.Н.	128
ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕН- НЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ ПОЧВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Кабдыракова А.М., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Меньдубаев А.Т.	129
СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА В ПОЧВАХ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ» Койгельдинова М.Т., Лукашенко С.Н., Мухамедияров Н.Ж., Ташекова А.Ж.	130
ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ УСЛОВНО «ФОНОВЫХ» ТЕРРИТОРИЙ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Кундузбаева А.Е., Лукашенко С.Н., Кабдыракова А.М., Бакирова Г.А.	131

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛОЩАДКИ МОНИТОРИНГА НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К.....	132
МЕТОДОЛОГИЯ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО УЧЕТА ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ИОНИЗИРУЮЩЕМУ ОБЛУЧЕНИЮ ОТ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ Апсаликов К.Н., Мулдагалиев Т.Ж., Липихина А.В., Жакупова Ш.Б.	133
ЭПР-ДОЗИМЕТРИЯ НА ОСНОВЕ АЛАНИНА И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ Середавина Т.А., Рухин А.Б., Стахов О.В., Сушкова Н.С.....	134
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Тимонова Л.В., Турченко Д.В., Айдарханов А.О.	135
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ П-1 Новиков А.А., Мошков А.С., Умаров М.А., Лукашенко С.Н., Яковенко Ю.Ю.....	136
РАДИОНУКЛИДЫ В ОРГАНИЗМЕ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Паницкий А.В., Лукашенко С.Н., Кадырова Н.Ж.	137
ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАО Ртищев В.А.....	138
ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am В ПОЧВЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС Садчиков В.И., Бондарь Ю.И., Забродский В.Н., Калинин В.Н.	139
ПРИМЕНЕНИЕ МИРОВОГО ОПЫТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ ВЫСОКОЙ АКТИВНОСТИ В БЕЛАРУСИ Салтанова И.В.....	140
КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЮЖНОЙ И ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ СИП Стрильчук Ю.Г., Лукашенко С.Н., Яковенко Ю.Ю., Турченко Д.В., Ляхова О.Н., Ларионова Н.В., Магашева Р.Ю., Паницкий А.В., Субботин С.Б., Кабдыракова А., Топорова А.В., Тоневицкая О.В., Бахтин Л.В., Глущенко В.Н.....	141
НЕРАДИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ОПАСНОСТИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Романенко В.В., Новикова Е.А.	142
ХАРАКТЕР ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.....	143
ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.	144

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ И МЕХАНИЗМОВ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА ТЕРРИТОРИИ СИП Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.	145
СОВРЕМЕННАЯ РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН» Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Новиков А.А.	146
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ РЕДКО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ ХИМИКО-СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ Быченко А.Н., Харкин П.В., Калиева А.К., Гусева Н.В., Эдомская М.А., Ежова С.В.	147
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ КОНТАКТИРУЮЩИХ С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ Чередниченко О.Г., Пилюгина А.Л.	148
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС Ширяева Н.М., Яцко С.Н., Денисова В.В., Томина Н.М., Захаров А.А., Жукова О.М.	149
ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛИГОНОВ «АЗГИР» И КАПУСТИН ЯР В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ Полешко А.Н., Глущенко В.Н., Харкин П.В., Левашов М.А., Глущенко Г.М., Матиенко Л.Д., Позняк В.Л.	150
NEW TRENDS IN MONITORING RADIOLOGICAL EMERGENCIES I. Cespirova, P. Kusa, L. Gryc.	151
SECURITY RESEARCH PERFORMED BY SURO P. Kusa, J. Koc.	152
ПОИСК ПУТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА Зима Г.В., Кутний Д.В., Ванжа С.А.	153
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В НИХ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА Cs-137 Иванова А.Р., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н.	154
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ИССКУСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ СВИНОВОДСТВА ПРИ ИХ ПОСТУПЛЕНИИ С ПОЧВОЙ Каратаев С.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Мамырбаева А.С.	155
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ АНТРОПОГЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ ПОДМОСКОВЬЯ Крапивко В.П., Скоркин В.М.	156
НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКАВАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Глущенко В.Н., Харкин П.В., Иванова А.Р.	157

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ ПТИЦЕВОДСТВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ПОСТУПЛЕНИЯ Мамырбаева А.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Каратаев С.С., Байгазы С.А.....	158
ANALYSIS OF INDIVIDUAL RADIOSENSITIVITY OF PEOPLE LIVING AROUND THE FORMER SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE F.T. Muratova, N.K. Altynova, B.O. Bekmanov, E.M. Khussainova, L.B. Djansugurova, R.I. Bersimbai.....	159
ВЫЯВЛЕНИЕ СЛЕДОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ С СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ БЛИЗКИМ К ФОНОВЫМ ЗНАЧЕНИЯМ Нефедов Р.А., Умаров М.А., Лукашенко С.Н.....	160
ЗНАЧЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ Орлова К.Н., Градобоев А.В.....	161
МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЖИЛЫХ ДОМАХ Орлова К.Н., Градобоев А.В.....	162
THE PLANT'S IDENTIFICATION ACCORDING TO THE TRANSFER FACTOR OF Cs ¹³⁷ INTO THE PLANTS FROM THE MEADOW SOILS OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE R.P. Plisak, S.V. Plisak.....	163
THE ACCUMULATION OF Cs ¹³⁷ BY THE COMPONENTS OF THE DISTURBED ECOSYSTEMS OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE R.P. Plisak, S.V. Plisak.....	164
THE ACCUMULATION OF Cs ¹³⁷ IN THE OVER GROUND PLANT'S PART OF THE HALOPHYTE ECOSYSTEMS OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE R.P. Plisak, S.V. Plisak.....	165
THE MIGRATION OF Cs ¹³⁷ IN THE "SOIL-PLANT" SYSTEM IN THE ZONAL BIOGEOCOENOSES OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE R.P. Plisak, V.V. Polevik, S.V. Plisak.....	166
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ГРУНТА ЗОНЫ НАВАЛА «АТОМНОГО» ОЗЕРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Раимканова А.М., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.....	167
КОНЦЕПЦИЯ ДОЗИМЕТРА НА БАЗЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ Садыгов А., Ахмедов Ф., Ахмедов Г., Садыгов З., Гарибов А., Мадатов Р., Самедов О., Сулейманов С., Нагиев Д., Акберов Р.....	168
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТРИТИЯ (³ H) В ГРУНТАХ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (СИП) Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.....	170

ОЦЕНКА ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА Торопов А.С., Лукашенко С.Н.	171
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ АНИОНОВ НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОЧИСТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ РАСТВОРОВ Торопова В.В., Вороник Н.И., Давыдов Д.Ю., Радкевич А.В.	172
ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФО-АНАТОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СИП Янкаускас А.Б., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Насыров Ф.С.	173
ВАРИАТИВНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В.	174
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВОЛН В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЗРЫВЕ Хайдаров Р.Н.	175
Секция 4 / Section 4	
ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МЕДИЦИНЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ / NUCLEAR AND RADIATION METHODS IN MEDICINE AND INDUSTRY 177	
ПЯТЬ ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕНЕРАТОРА ^{99m} Tc ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Тажединов И.Т., Аманкулов Ж.М., Жунусов К.Т.	179
СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ РИСА И ЯЧМЕНЯ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ Бакирулы К., Тохетова Л.А., Ершин З.Р., Касымжанов М.Т.	180
РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-10 Кокежанова А.Д., Борисенко А.Н., Ершин З.Р., Касымжанов М.Т.	181
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ Генералова В.В., Громов А.А., Жанжора А.П.	181
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ И РАДИОХИМИЧЕСКОЕ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РТ, РD, RE, IR, AU И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КВАРЦ АДУЛЯРНЫХ ЖИЛАХ МИЛОГРАДОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, ПРИМОРЬЕ Зиновьев В.Г., Егоров А.И., Митропольский И.А., Шуляк Г.И., Сушков П.А., Тюкавина Т.М., Окунев И.С.	182
WAYS OF REDUCING THE ONCOLOGICAL DISEASES CAUSED BY DEPRESSIONS R.K. Kapassova, B.Y. Kaliullayev, Monzavi Karbasi Arga	183
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ Кожухметов Н.Б., Бурханова М.Н.	184

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИТОЗАНА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ДЛЯ ^{131}Cs И ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ Маркелова Е.А., Хужаев С., Васидов А.	185
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИКЕЛЯ-58 Князев А.М., Юсупова А.О., Медведева З.В., Афанасьева Н.Н., Сламкулов И.Е., Чакрова Е.Т.	185
ПРОИЗВОДСТВО ГЕНЕРАТОРА ТЕХНЕЦИЯ-99 _m ОДНОИГОЛЬЧАТОГО ТИПА ПО БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ Нестеров Е.А., Рогов А.С., Садкин В.Л., Скуридин В.С.	186
SUBSTANCE INSTRUMENTAL ANALYSIS ACCORDING TO GAMMA RADIATION ALBEDO VALUE D. Pak, Yu. Pak, M. Ponomareva, K. Sagindikov	187
ДЕЙСТВИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА Филиппова Е.О., Пичугин В.Ф., Градобоев А.В.	188
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НАСЕКОМЫХ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ Сагитов А.О., Сарсенбаева Г.Б., Мухамадиев Н.С., Салпиев Р.К., Ершин З.Р., Кокежанова А.Д.	189
ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТОВ ПЭВП/ α - Fe_2O_3 В УСЛОВИЯХ НАГРЕВ-ОХЛАЖДЕНИЕ Маггеррамов А.М., Кулиев М.М., Алиев Н.Ш., Исмайилова Р.С., Байрамов М.Н., Имамалиева А.А.	190
РАДИАЦИОННОСТОЙКИЙ ЭЛАСТОМЕР ИЗ ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА Маммадов Ш.М., Рзаева С.В., Алиева С.Б., Мамедов Д.Ш., Махмудова А.У., Ахундзаде Г.Н., Ахмедов Э.Н., Гулуев А.М.	192
WATER RADIOLYSIS ON THE SURFACE OF Al_2O_3 NANO-CATALYST H.M. Mahmudov, S.M. Aliyev, S.A. Hasanova	193
РАДИАЦИОННАЯ ВУЛКАНИЗАЦИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ СЕНСИБИЛИЗАТОРА ДИСУЛЬФОХЛОРИД БЕНЗОЛА И С ДОБАВКОЙ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЦИНКА Ханкишиева Р.Ф., Алиева С.Б., Мамедов Д.Ш., Махмудова А.У., Ахундзаде Г.Н., Мамедов Ш.М.	194
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.....	195

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ



PLENARY SESSION

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПОЛИТИКИ КАЗАХСТАНА В ОБЛАСТИ МИРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Батырбеков Э.Г.

РГП Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов, Казахстан

В конце XX – начале XXI века Казахстан под руководством Президента Нурсултана Абишевича Назарбаева прочно занял место одного из региональных лидеров и успешно продемонстрировал воплощенные в жизнь внешнеполитические инициативы по обеспечению региональной безопасности и укреплению сотрудничества. Одним из первых решений на заре Независимости стало закрытие Указом Президента Казахской ССР от 29 августа 1991 года Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и создание на базе комплекса бывшего СИП и соответствующих научных организаций и объектов, находящихся в городе Курчатове, Национально-ядерного центра Республики Казахстан (далее – НЯЦ РК).

В настоящее время НЯЦ РК представляет собой республиканское государственное предприятие с четырьмя филиалами – Институт атомной энергии, Институт радиационной безопасности и экологии, Казахстанский государственный центр взрывных работ и предприятие «Байкал». Центр имеет самую крупную в Казахстане экспериментальную базу, включающую в себя 3 исследовательских ядерных реактора, экспериментальные стенды и установки, а также – строящийся в поддержку проекта ИТЭР казахстанский материаловедческий токамак КТМ.

Работы ведутся по нескольким стратегическим направлениям: развитие атомной энергетики в Казахстане; радиационная экология Казахстана и СИП; поддержка режима нераспространения; развитие альтернативной (возобновляемой) энергетики; информационная и кадровая поддержка атомной отрасли.

В рамках этих направлений НЯЦ РК реализуются проекты по выполнению государственных программ. Не менее объемным является пакет международных соглашений, в соответствии с которыми выполняются программы научных исследований EAGLE, CORMIT, FUKUSHIMA, SAIGA и другие.

НЯЦ РК реализует уникальный проект создания казахстанского материаловедческого токамака КТМ, который будет презентован на посвященной «энергии будущего» всемирной выставке ЭКСПО-2017 в столице Казахстана – Астане. Реализация международных научных программ на КТМ позволит получить важные сведения необходимые для создания установок управляемого термоядерного синтеза – будущего мировой энергетики.

В связи с принятием решения Президента по строительству АЭС на территории Казахстана стоит вопрос о научно-техническом сопровождении их строительства и эксплуатации. По нашему мнению, такой организацией в Казахстане может стать НЯЦ РК – единственная в стране организация с развитой мощной экспериментальной базой, огромным опытом исследований в атомной науке и ядерной экспериментальной физике, включая физику ядерных реакторов. Также важным фактором является наличие высококвалифицированных кадров, которыми НЯЦ РК по праву гордится и постоянно осуществляет мероприятия по подготовке ученых и специалистов, в т.ч. за рубежом в известных атомных энергетических компаниях.

НЯЦ РК продолжает решать радиэкологические проблемы бывшего СИП и всей территории Республики Казахстан в целом. К настоящему времени нами исследовано более 6 860 км² территории СИП, что составляет около 40%. Определено, что около 6 500 км² может использоваться для любых целей без ограничений.

Наряду с исследовательской деятельностью НЯЦ РК проводит практические мероприятия по улучшению радиационной обстановки на СИП. Проведены работы по ремедиации наиболее радиационно-опасных объектов СИП, что позволило значительно снизить, а в некоторых случаях и полностью устранить их радиационную опасность. Выполнены работы по ликвидации инфраструктуры проведения ядерных испытаний на всей территории бывшего СИП.

НЯЦ РК при поддержке DOE США и Аргоннской национальной лаборатории выполняет исследования по оценке возможности конверсии своих исследовательских реакторов ИВГ.1М и ИГР на топливо пониженного обогащения. К настоящему времени завершено расчетно-теоретическое обоснование и начата подготовка к проведению испытаний пилотных образцов нового топлива.

Следует отметить еще один важный проект, реализация которого самым непосредственным образом связана с поддержкой режима нераспространения. В свое время Казахстан принял решение о выводе из эксплуатации реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем БН-350 в Актау. Проект, в котором принимал участие и НЯЦ РК, является показательным примером международной кооперации – в его реализации принимали участие организации, ученые и специалисты Казахстана, США, Великобритании и России при тесном сотрудничестве с МАГАТЭ. В итоге усилий интернациональной команды специалистов все отработавшее ядерное топливо было упаковано в контейнеры и перевезено на КИР «Байкал-1», расположенный на территории бывшего

го СИП, где обеспечены все необходимые условия для его безопасного долговременного хранения под контролем МАГАТЭ.

Результаты комплекса работ, выполненных НЯЦ РК в поддержку режима нераспространения оружия массового уничтожения, получили самую высокую оценку и были отмечены в совместном заявлении Президентов РК и США в 2010 году на Саммите по ядерной безопасности в Вашингтоне и в совместном заявлении Президентов РК, США и РФ в 2012 году на Саммите в Сеуле.

OVERVIEW AND PROGRESS OF FNCA

Tomoaki Wada

Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA), Coordinator of Japan

The 1st International Conference for Nuclear Cooperation in Asia (ICNCA) was held in March 1990 to promote cooperation in the field of nuclear energy with neighboring Asian countries more efficiently. Since then, Japan has held many ICNCAs where the ministers in charge of development and utilization of nuclear energy exchanged frank views on how to proceed with regional cooperation, and has carried out practical cooperation on specified subjects as well.

At the 10th International Conference for Nuclear Cooperation in Asia held in March 1999, it was agreed to move to a new framework, "Forum for Nuclear Cooperation in Asia" (including Coordinator and Project Leader System) with a view and information to shifting to more effective and organized cooperation activities.

Under this framework, view and information exchanges are made on the following fields: (1) Radiation Utilization Development (Industrial Utilization/Environmental Utilization, and Healthcare Utilization), (2) Research Reactor Utilization Development, (3) Nuclear Safety Strengthening, and (4) Nuclear Infrastructure Strengthening.

The FNCA framework consists of Ministerial Level Meeting, Senior Official Meeting, Coordinators Meeting, Study Panel Meeting, and 10 projects. In my presentation, major successful results of FNCA projects and the future directions will be explained.

In addition, I will discuss the new *Strategic Energy Plan* of Japan including nuclear energy policy, and the human resource development program of MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology).

CHARACTERIZATION OF FUEL DEBRIS BY LARGE-SCALE SIMULATED DEBRIS EXAMINATION FOR FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER STATIONS

M. Toyohara^{1,2}, S. Kawano^{1,2}, T. Fujita^{1,2}, T. Hayashi^{1,2},
V.V. Baklanov³, A.A. Kolodeshnikov³, V.A. Zuev³

¹ *International Research Institute for Nuclear Decommissioning, Tokyo, Japan*

² *Toshiba Corporation, Yokohama, Japan*

³ *Institute of Atomic Energy Branch of the RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The understanding of characteristics of the damaged fuel debris in Fukushima Daiichi Nuclear power station (F1) is one of the important issues for the defueling operations such as removing from the reactor, handling and storage. Previous knowledge in Three Mile Island Unit 2 (TMI-2) accident is valuable to estimate the characteristic of fuel debris. However, the reactor type of F1 is BWR and has different component structure compared to TMI-2, which is PWR. The difference of reactor type induces the difference of chemical composition of debris. Therefore, several segment scale experiments for debris characterization of F1 have been ongoing as national R&D project in Japan [1].

Actual fuel debris are considered to have heterogeneous morphology due to complicated solidification process of the mixture of melted UO_2 and structural components. Reports on TMI-2 accident also revealed that melted fuel debris were surrounded by hard crust, which consisted of UO_2 ceramics and molten metal, and had heterogeneous morphology [2]. The crust was known to be quite difficult to crush by defueling tools². Hence it is necessary to conduct large-scale experiment of simulated debris for BWR in order to estimate the characteristics of heterogeneous debris and to prepare the mockup machining sample that simulates fuel debris without UO_2 and that undergoes defueling test for developing removing tools in future.

The objective of this study is to investigate the characteristic of heterogeneous fuel debris under F1 conditions using simulated fuel debris at large-scale experimental facility (LAVA-B) in National Nuclear Center of Kazakhstan (NNC) as an international co-operation research project.

The debris sample was fabricated by LAVA-B which consists of two major units: the electric melting furnace (EMP) and the melt receiver, in which a trap is mounted. UO_2 , Zr and B_4C were melted in EMP. The chemical composition is as follows: 71.5 UO_2 , 27.8 Zr, 0.7 B_4C in wt. %, which was selected as average weight proportion at in-core fuel region of F1. Total weight of the raw materials was 60 kg. After melting at 2873 K, the melt was discharged into the steel trap with a spherical bottom, in which metal plates used in BWR were located; that is type304 and 316L stainless steel, Ni alloy600, and low alloy steel. Outside of the tray was water-cooled during the test to prevent the damage due to the high temperature of melt. The sample dismantled from the tray underwent cross-sectional metallurgical observation, X-ray diffraction analysis (XRD) and energy dispersive X-ray spectrometry (EDS). Vicker's micro-hardness tests were performed on the cross-section of the sample. The fracture toughness was also evaluated.

After the test, black solidified debris and partially melted metals were observed in the tray. Molten metals were solidified on the debris or between the crevices of debris, so that heterogeneous mixture was formed. Cross-sectional observation revealed that although debris contacted to metal plates, obvious chemical reaction or compound was not found at the boundary. U-rich phase, Zr-rich phase and a very small amount of Zr-B phase were observed in the debris region. Measured values of hardness and toughness of debris region show quite hard and brittle property similar to ceramic material. The obtained information about the morphology and characterization of heterogeneous solidified debris in this study is valuable for designing the refueling device from the view point of mechanical property.

This study is commissioned by the Agency for Natural Resources and Energy and International Research Institute for Nuclear Decommissioning, Japan, Fiscal Year 2014.

References:

1. T. Washiya, et. al., Characterization of Fuel Debris Properties for Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, Proceedings of WRFPM 2014, Sendai, Japan, Sep. 14-17, 2014, Paper No. 100151.
2. W. C. Holton, et. al., The cleanup of Three Mile Island Unit 2, A Technical History: 1979 to 1990, EPRI NP-6931, Research Pj. 2558-8, Final Report Sept. 1990.

THE EAGLE PROJECT TO ENHANCE THE SAFETY OF SODIUM-COOLED FAST REACTORS BETWEEN REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AND JAPAN

Y. Tsujikura¹, S. Kubo¹, K. Kamiyama¹, I. Sato¹, H. Kamide¹, T. Kodama¹, V.A. Zuev², A.D. Vurim², A.A. Kolodeshnikov², Y.S. Vassiliev², M.K. Skakov², E.G. Batyrbekov²

¹ Japan Atomic Energy Agency

² National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan

In order to solve the important safety issue of sodium-cooled fast reactors (SFRs), so-called “re-critically issue” in hypothetical core disruptive accident, clarification of core melt process and its relocation behavior had significant importance in the safety research field of SFRs. Since 1998, Kazakhstan and Japan have been conducting an experimental project EAGLE, abbreviation of “Experimental Acquisition of Generalized Logic to Eliminate recriticalities” by utilizing Impulse Graphite Reactor (IGR), which has highest capability of molten fuel generation with fission reaction in the world, as well as out-of-pile test facilities.

Up to now, two major series of comprehensive experimental programs, EAGLE-1 and EAGLE-2 were successfully conducted and precious experimental results are obtained concerning fuel melt and relocation behavior in the liquid sodium. The knowledge obtained by the EAGLE project and related design and evaluation study for SFRs produce splendid feedback on establishment of the Safety Design Criteria (SDC) for Generation IV SFRs, which is developed to be global standard under Generation IV international Forum.

As the results of close and eager collaboration between Kazakhstan and Japan, the EAGLE project has been producing great outcomes, not only experimental results but also experimental technologies in a broad range of scientific fields, including reactor physics, material physics and thermal hydraulics in high temperature, high frequency induction heating for melt generation, instrumentation for high temperature melt and sodium, sodium handling, power housing fabrication and so on. These outcomes will contribute to the safety design and the related R&Ds on ASTRID through the France-Japan collaboration on the ASTRID, which started in 2014.

Kazakhstan and Japan just started the EAGLE-3 project in March, 2015. A number of out-of-pile tests and in-pile tests are planned in coming five years. The EAGLE-3 project has played an important role in the safety study for SFR and is expected to keep its role in the future.

Furthermore, greater progress for enhancement of SFR safety in the worldwide level will be expected by enlarged collaboration among Kazakhstan, Japan, and France.

CHALLENGES RELATED TO NUCLEAR LEGACY SITES

Brit Salbu

*CERAD CoE, Department of Environmental Sciences, Norwegian University of Life Sciences,
P.O. Box 5003, N-1432 Ås, Norway
e-mail: brit.salbu@nmbu.no*

There is a significant number of past, present or potential nuclear sources associated with nuclear weapon or nuclear fuel cycles or with civil use, which have contributed, are still contributing, or have the potential to contribute to radioactive contamination of the environment. Nuclear legacy issues are usually related to old installations (e.g., reactors), objects (e.g., weapons) or missing objects (orphan sources) that are subjected to decommissioning, as the safe handling and storage of large amount of high activity waste represent a key challenge. However, all sites with contamination levels above limits set by regulating authorities represent a legacy site. Thus, there is a sufficient number of contaminated sites such as nuclear weapon test sites, nuclear reactor operated or accidental sites and uranium mining sites, that call for a clean-up strategy.

To protect the environment from past, present and future contamination, impact and risk assessments associated with contaminated areas are performed prior to releases, during releases, short or long term after deposition, or prior and after the implementation of countermeasure. Thus, the nuclear legacy problem must be characterized, and site-specific facts are needed to perform impact and risk assessments. Monitoring program should to be established and proper analytical competence as well as proper models and modeling ability/capacity are needed to perform the assessment and to estimate uncertainties. Thus, scientific competence is needed to prioritize among sources or sites to be managed and to prioritize among alternative measures (dose saved/cost).

To manage nuclear legacies, regulative systems must be in place, including intervention criteria. To regulate, however, you need to know what to regulate. Science should therefore provide the risk assessments, while the risks are to be handled by the risk manager/ authority. Thus, there is a symbiotic relationship between regulation and science. As the nuclear legacy issues call for international collaboration, the present paper will focus on key challenges associated with contaminated legacy sites such as nuclear test sites and U mining sites of relevance for Central Asia.

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Тажибаева И.Л., Батырбеков Э.Г., Скаков М.К.

РГП Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов, Казахстан

Выбор и создание материалов термоядерных реакторов (ТЯР) является очень сложной задачей, поскольку они должны работать в течение многих лет при непрерывной бомбардировке интенсивным потоком ($\sim 2,5 \text{ МВт} \cdot \text{м}^{-2}$) нейтронов с энергией около 14 МэВ. Кроме того, материалы, непосредственно контактирующие с плазмой и пластины дивертора, подвергаются дополнительным воздействиям потоков частиц плазмы и электромагнитного излучения. Мощность таких потоков является очень высокой ($500 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ и $10 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$, соответственно), поэтому к материалам ТЯР предъявляют особые требования. Например, материалы первой стенки и blankets должны работать в течение нескольких десятков лет в условиях высокой температуры и нейтронного облучения с полным флюенсом 14,1 МэВ-ных нейтронов до $15 \text{ МВт лет} / \text{м}^2$. Сплавы и композитные материалы не должны содержать элементов, которые под действием нейтронов превращаются в долгоживущие радиоактивные изотопы. Материалы blankets должны быть химически совместимы с теплоносителем и материалами, производящими тритий, такими как литий.

На стадии технического проектирования реактора ИТЭР были определены как типы, так и конкретные марки материалов для каждого из элементов конструкции ИТЭР.

Преимущество было дано имеющимся, промышленно освоенным материалам. В то же время, некоторые из имеющихся материалов были модифицированы для обеспечения проектных характеристик реактора. Это сталь 316L(N)-IG, сплавы меди CuCrZr-IG и CuAl25-IG, бериллий S65-C и ДШГ-200, углерод-углеродный композит (CFC), вольфрам в холодно-деформируемом состоянии и после отжига для релаксации напряжений. Испытания показали, что существуют некоторые проблемы использования традиционных материалов, обращенных к плазме, таких как бериллий, графит и вольфрам, ввиду их распыления, накопления трития и гелия. Поэтому возникла идея использования материалов с самовозобновляемой поверхностью. Проведенные в последние годы исследования показали, что одним из наилучших материалов для применения в качестве обращенного к плазме материала в установках термоядерного синтеза является жидкий литий и материалы на его основе, например, литиевые капиллярно-пористые системы (КПС). Основными преимуществами КПС по сравнению с твердыми материалами являются их устойчивость к деградации свойств и способность к самовосстановлению поверхности на основе капиллярных сил в условиях нормального плазменного разряда в установках термоядерного синтеза, а также ЭЛМ-ов и срывов плазмы. Другим направлением исследований является создание дисперсионно-твердеющих (наноструктурированных) малоактивируемых материалов, например, сплавов на основе ванадия (V-4Ti-4Cr) и сталей (RUSFER-EK-181) с улучшенными жаропрочными и физико-механическими характеристиками. Основными задачами при этом являются: управляемое создание зёрновой структуры и внутризёрных дислокационных субструктур; равномерное насыщение объёмов и границ зёрен наноразмерными окси-карбо-нитридо-частицами (преципитатами) размерами 5-10-50-(100) нм. Получение и применение наноструктурированного бериллия в качестве материала облицовки первой стенки также является приоритетной задачей.

В докладе приводится обзор и результаты исследований, проводимых в Национальном ядерном центре РК, перспективных материалов и технологий ТЯР. Особое внимание уделено работам, планируемыми на казахстанском материаловедческом токамаке КТМ в международной кооперации.

Секция 1
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



Section 1
NUCLEAR ENERGY

IN- AND EX-VESSEL CORIUM STUDIES AT JRC-ITU, KARLSRUHE

P.D.W. Bottomley, Th. Wiss, D. Manara & V.V. Rondinella

*EC Joint Research Centre-Institute for Transuranium Elements (ITU Karlsruhe),
Hermann-von-Helmholtz Pl. 1, 76125 Karlsruhe, Germany*

Severe Accident research has been carried out following both the TMI-2 accident and the Chernobyl accidents and has resulted in major projects to elucidate the behaviour of nuclear materials and fission. Particularly the fuel-cladding reactions and some fission products volatility at high temperatures remain major problems. JRC-ITU Karlsruhe has carried out investigations into the molten corium formed from fuel, cladding and structural materials, very often in collaboration with national institutes under European Commission-sponsored framework programmes. It has used specialised techniques such as fast laser pyrometry combined with post-test metallography of major reactor materials to evaluate their melting ranges. Good quality data at very high temperatures is in short supply and more is required if the mechanisms are to be understood and the severe accident models to be verified.

This paper examines the experiments carried out on the $\text{UO}_2\text{-Zr}$ and $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ systems as products of the fuel-cladding interaction, then of the $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2\text{-FeO}$ system as applied to the results of fuel-cladding and structural materials and then finally (following the events at Fukushima) the $\text{UO}_2\text{-PuO}_2\text{-ZrO}_2$ system to evaluate the effects of MOX (mixed oxide fuel) on the melting ranges. The U-Zr-O system has been well examined in its fully-oxidised state and the phase diagram shows that it is a refractory system, but if Zr metal is present then its liquid states appear above $\sim 1800^\circ\text{C}$ (compared to 2500°C in the fully oxidic $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ system). Thus reducing conditions promoting the metallic state could greatly extend the melting range and promote loss of the core's geometry. Addition of FeO to a fully oxidic $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ was also seen to extend the melting range and this even in a fully oxidic state. The examination of the $\text{PuO}_2\text{-UO}_2\text{-ZrO}_2$ system is still underway, but shows that MOX will be similar to UO_2 fuel with melting points falling slightly with increasing PuO_2 content. Examples will be given from JRC-ITU's contributions to the OECD TMI-2 investigation and IRSN-led Phébus project. They have shown the influence of corium's oxidation state and of atmosphere during the accident. They have also demonstrated the effect of absorber and other materials in the corium's behaviour. This research has also become more important as the in-vessel retention strategy has become a preferred option for accident mitigation measures. In the event of reactor vessel rupture the molten material released from the vessel will be the starting material for the molten corium concrete interactions (MCCI) as the concrete degrades and melts and fuses together with the ejected melt. Characterising this phase presents great difficulties in view of the many and varied components (eg. viscous silica and degradable carbonates).

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF SILICON NANOPARTICLES

Aydan Garibli, Elchin Huseynov, Adil Garibov

*Department of Nanotechnology and Radiation Material Science, National Nuclear Research Center,
AZ 1143, B.Vahabzade 9, Baku, Azerbaijan
e-mail: hus.elchin@yahoo.com, hus.elchin@gmail.com*

It is known that the nanomaterial used in the experiment possesses has an $80 \text{ m}^2/\text{g}$ specific surface area, 100 nm size, 0.08 g/cm^3 density and some parameters of the used sample oxide have been studied [1-5]. In the presented work the samples have been irradiated with neutron flux ($2 \cdot 10^{13} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) in full power mode (250 kVt) in central channel (channel A1) in TRIGA Mark II (light water pool type reactor) type research reactor in “Reactor Center” of Jozef Stefan Institute of Ljubljana, Slovenia. It should be mentioned that the parameters of existing neutron flux in full power mode in this channel are $5.107 \cdot 10^{12} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1 ± 0.0008 , $E_n < 625 \text{ eV}$) for thermal neutrons, $6.502 \cdot 10^{12} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1 ± 0.0008 , $E_n \sim 625 \text{ eV} \div 0.1 \text{ MeV}$) for epithermal neutrons, $7.585 \cdot 10^{12} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1 ± 0.0007 , $E_n > 0.1 \text{ MeV}$) for fast neutrons and finally flux density in central channel for all neutrons is $1.920 \cdot 10^{13} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (1 ± 0.0005) [6-13]. Therefore, an average energy of neutrons in central channel corresponds approximately to the energy of epithermal neutrons ($E_n \sim 625 \text{ eV} \div 0.1 \text{ MeV}$).

Nano silicon has been irradiated continuously with neutrons with $2 \cdot 10^{13} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ flux density up to 20 hours in various periods in TRIGA Mark II type research reactor. It had been studied activities of sample 360 hours after neutron irradiation. It is investigate the initial radioactivity of the irradiated samples change within $0.1 \text{ kBq} - 3.1 \text{ GBq}$ range. Define of elements' concentration is determined based on the activities formed in the relevant energy range. After the irradiation, the result of activity analysis carried out the element content of 1% mixture existing in nano Si has been defined with radionuclides of the relevant element. From activities of mixed radioisotopes, it has been determined their amounts in percentage.

After the interaction with neutron, the radionuclides being formed in the composition of nano Si have been analyzed in spectrometers “Ortec HPGe detectors (Coaxial, Low and Well-Type)” and “Canberra coaxial HPGe detector”. Radioactivity, isotope composition and quantity of blend elements of the irradiated samples have been on the methodology [14-17].

It has been defined the radioactivity formed in nano Si under neutron flux influence and conducted the identification of isotopes by which it was formed. It has been studied the dependencies of samples' activity and amount of dose on irradiation time. It has been established that the initial activities and survival terms of blend elements inside the sample sharply differ from each-other. Dependencies of radioactivity of the revealed isotopes on observation time and percentage of blend elements have been defined. In the studied nano Si samples it has been revealed isotopes with much more half-life decay and it is offered to take them into account after irradiation period in description of physical properties of nano Si.

References:

1. Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva “Influence of neutron irradiation and temperature on the electric conductivity of SiO₂ nanoparticles” Journal of Electrostatics 74, 73–78, 2015
2. Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva, Eršte Andreja, Anar Rustamov “Influence of neutron flux, frequency and temperature to electrical impedance of nano silica particles” AIP Advances, v.4, N11, 117122 (2014)
3. Elchin Huseynov, Adil Garibov, and Ravan Mehdiyeva “Effect of neutron flux, temperature and frequency on the permittivity of nanocrystalline silica” International Journal of Modern Physics B, Vol. 28, N30, 1450213 (2014)
4. Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva “Temperature and frequency dependence of electric conductivity in nano-grained SiO₂ exposed to neutron irradiation” Physica B: Condensed Matter 450, 77 – 83, 2014
5. Elchin Huseynov, Adil Garibov and Ravan Mehdiyeva “Study of blend composition of nano silica under the influence of neutron flux” Nano Convergence 2014 1:21
6. Luka Snoj, Gasper Zerovnik, Andrej Trkov, “Computational analysis of irradiation facilities at the JSI TRIGA reactor”, Applied Radiation and Isotopes 70, 483–488 (2012)
7. L. Snoj, A. Trkov, R. Jačimović, P. Rogan, G. Žerovnik, M. Ravnik, “Analysis of neutron flux distribution for the validation of computational methods for the optimization of research reactor utilization”, Appl. Radiat. Isotopes, Vol. 69, 136-141 (2011)
8. Luka Snoj, Andrej Kavcic, Gasper Zerovnik, Matjaz Ravnik, “Calculation of kinetic parameters for mixed TRIGA cores with Monte Carlo”, Ann. Nucl. Energy, 37 (2), 223–229 (2010)

9. Luka Snoj, Andrej Trkov, Matjaz Ravnik, Gasper Zerovnik, "Testing of cross section libraries on zirconium benchmarks", *Ann. Nucl. Energy* 42, 71–79 (2012)
10. Luka Snoj, Matjaz Ravnik, "Power peaking in mixed TRIGA cores", *Nuclear Engineering and Design*, Volume 238, Issue 9, 2473-2479 (2008)
11. Jazbec Anze, Zerovnik Gasper, Snoj Luka, Trkov Andrej, *Atw. Internationale Zeitschrift für Kernenergie*, iss. 12, vol. 58, 701-705 (2013)
12. Vladimir Radulović, Žiga Štancar, Luka Snoj, Andrej Trkov, "Validation of absolute axial neutron flux distribution calculations with MCNP with $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ reaction rate distribution measurements at the JSI TRIGA Mark II reactor", *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 84, 57-65 (2014)
13. Gasper Zerovnik, Manca Podvratnik, Luka Snoj, "On normalization of fluxes and reaction rates in MCNP criticality calculations", *Ann. Nucl. Energy* 63, 126–128 (2014)
14. Frontasyeva M.V. "Neutron Activation Analysis in the Life Sciences" *Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*, ISSN 0367-2026, Volume 42, part 2 (2011) 636 – 718
15. Steinnes E. "Some Neutron Activation Methods for the Determination of Minor and Trace Elements in Rocks" 3 editions published, Kjeller, Norway (1972)
16. Ghania Medkour Ishak-Boushaki, Khelifa Boukeffoussa, Zahir Idiri, Malika Allab "Thick activation detectors for neutron spectrometry using different unfolding methods: sensitivity analysis and dose calculation" *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 70, Issue 3 (2012) 515–519
17. Hans Mommsen "The importance of a reliable grouping – Neutron activation analysis (NAA) data of Mycenaean pottery sherds re-evaluated with the Bonn filter method" *Journal of Archaeological Science*, Volume 39, Issue 3 (2012) 704–707

DECAY SCHEMES COMPLETENESS AND DECAY HEAT CALCULATION PROBLEMS

I.N. Izosimov

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
e-mail: izosimov@jinr.ru

The β - and γ -decay energies realized through the natural decay of fission products may be up to 10% of the total energy generated during the fission process and becomes dominate component following reactor shutdown [1]. This energy source is commonly called decay heat. There are some discrepancies between calculations of decay heat with using different libraries and the experiments connected with γ - and β -components of the fission products [1]. To improve agreement between decay heat calculations and experiments it is necessary to have more complete decay schemes of fission products [2].

The total absorption γ -ray spectroscopy (TAGS) is based on summation of cascade gamma quantum energies in the 4π -geometry [3]. The TAGS may be applied for β -decay strength function $S_{\beta}(E)$ measurement, for total β -decay energy Q_{β} determination and for decay scheme completeness testing. The combination of the TAGS with high resolution γ -spectroscopy may be applied for $S_{\beta}(E)$ fine structure study and for detailed decay schemes construction [3].

The principles of the more complete decay schemes construction by using the combination of the TAGS spectroscopy with high resolution gamma spectroscopy [3, 4] are presented. The possibilities of TAGS applications for decay schemes completeness testing and more complete data using for decay heat calculations are discussed.

References:

1. T. Yoshida et al. // *Journal of Nucl. Science and Technology*. 1999. V.36. P.135.
2. I.N. Izosimov et al. // *Phys. At. Nucl.* 2004. V.67. P.1876.
3. I.N. Izosimov // *Phys. Part. Nucl.* 2011. V.42. P.963. DOI: 10.1134/S1063779611060049.
4. I.N. Izosimov et al. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2012. V.381. P. 012054. DOI:10.1088/1742-6596/381/1/012054.

R&D AND EXPERIMENTAL PROGRAMS FOR MITIGATING SEVERE ACCIDENTS CONSEQUENCES IN GENIV SFRS AND IN THE ASTRID TECHNOLOGY DEMONSTRATOR

F. Serre¹, F. Payot¹, C. Suteau¹, L. Trotignon¹, E. Batyrbekov², A. Vurim², A. Pakhnits², V. Vityuk², S. Kubo³, A. Katoh³, Y. Tobita³, K. Kamiyama³, K. Matsuba³, J. Toyooka³

¹ *Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternative, CEA Cadarache, CEA/DEN/CAD/DER, Blg 1222, 13108 St Paul lez Durance – FRANCE*

² *National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Krasnoarmeyskaya St., 071100, Kurchatov, VKO, Kazakhstan*

³ *Advanced Fast Reactor Cycle System Research and Development Center, JAEA, 4002 Narita-cho, O-arai, Ibaraki, JAPAN, 311-1393*

The ASTRID reactor (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) is a technological prototype designed by the CEA with its industrial partners, with very high levels of requirements. Innovative options have been integrated to enhance the safety, to reduce the capital cost and improve the efficiency, reliability and operability, making the Generation IV SFR an attractive option for electricity production. The WENRA (Western European Nuclear Regulators Association), in line with the continuous improvement of nuclear safety, proposes to extend, at the design stage of new reactor, 'the design beyond traditional design basis, in the area of core melt prevention and mitigation'; therefore severe accident sequences have to be considered as a fourth level of defense in depth. It is specified that for accident with core melt, 'design provisions have to be taken so that only limited protective measures in area and time are needed for the public'.

In the ASTRID project, the safety objectives are first to prevent the core melting, in particular by the development of an innovative core with heterogeneous pins and complementary safety prevention devices (named CFV core), and second, to enhance the reactor resistance to severe accident by design. In order to minimize the mechanical energy releases in severe accident conditions and to mitigate the consequences of hypothetical core melting situations, specific dispositions or mitigation devices are added to the core and to the reactor.

It is also required to provide a robust safety demonstration (with high level of confidence). For a comprehensive safety analysis of hypothetical severe accidents analyses, each event families (unprotected loss of coolant flow, of heat sink, of power excursion, of single assembly faults) are analyzed till reaching a safe state of the reactor.

To meet these ASTRID or future SFR requirements, a large R&D program was launched in the Severe Accident domain, with a large number of partners, and in particular with JAEA. This R&D program covers the approach to define the mitigation devices, the methodology to study the hypothetical severe accident situations, the development and adaptation of simulation tools, and, despite an already large existing experimental database, a complementary experimental program for new code developments and validation.

To extend the CABRI and SCARABEE in-pile test programs carry-out by CEA/IPSN at Cadarache, France, jointly funded by Japan, with homogeneous fuel pins as used in Phenix or SuperPhenix reactors, a feasibility study is underway for running a complementary program in the Impulse Graphite Reactor (IGR) operated by IAE-NNC, with heterogeneous fuel pins. For the feasibility study, this program, named SAIGA standing for 'Severe Accident In-Pile experiments for Generation IV reactor and Astrid project', is supposed to be composed of i) an unprotected loss of coolant flow test (an Instantaneous Total flow Blockage) in a heterogeneous fuel-pin sub-assembly, and ii) of power excursion tests on a single heterogeneous fuel-pin. SAIGA feasibility is studied in cooperation with NNC-RK.

For studying the Fuel-Coolant Interaction, and developing mitigation devices, CEA is designing a dedicated PLINIUS-2 platform for out-of-pile experiments with large masses of UO₂ and Sodium coolant.

This paper will present:

- the ASTRID project,
- the innovative ASTRID CFV core and the general ASTRID lay-out reactor with mitigation devices,
- the associated R&D related to the SFR Severe Accident issue including:
 - The CFV core behavior in Severe Accident Situations, and the CABRI, SCARABEE and SAIGA programs.
 - The Corium Relocation out of the core through dedicated Ducts, and the EAGLE1&2 and PLINIUS-2 programs.
 - The Fuel Coolant interaction and the PLINIUS-2 program
 - The Core-Catcher development and the PLINIUS and PLINIUS-2 programs.

MAIN OUTCOMES AND FUTURE PLAN OF THE EAGLE PROJECT

S. Kubo¹, Y. Tobita¹, I. Sato¹, S. Kotake², H. Endo³, K. Koyama⁴, K. Konishi¹,
K. Kamiyama¹, K. Matsuba¹, J. Toyooka¹, V.A. Zuev⁵, A.V. Pakhnits⁵, V.A. Vityuk⁵,
V.A. Gaidaichuk⁵, A.D. Vurim⁵, A.A. Kolodeshnikov⁵, Y.S. Vassiliev⁵

¹ Japan Atomic Energy Agency

² The Japan Atomic Power Company

³ Central Research Institute of Electric Power Industry

⁴ Mitsubishi FBR Systems Inc.

⁵ National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan

In order to enhance the safety of sodium-cooled fast reactors (SFRs), it would be important to contain radioactive materials even if the core-melt accident should occur, and, therefore, an experimental study to investigate molten-core behavior has been essential. An experimental project EAGLE, abbreviation of “Experimental Acquisition of Generalized Logic to Eliminate recriticalities”, has been conducted under the cooperation of the Republic of Kazakhstan and Japan since 1998.

The EAGLE project, aiming at obtaining core material relocation data to demonstrate principle of design measures to achieve Controlled Material Relocation (CMR) and In-Vessel Retention (IVR), is complementary combination of out-of-pile and in-pile tests. It has been started from development of experimental techniques. The test facility called the “EAGLE test stand” was newly developed for the out-of-pile tests. High frequency induction furnace for the melt generation, melt transportation and sodium handling and cleaning technique as well as instrumentation technique has been established in the early stage of the project. For the in-pile tests using Impulse Graphite Reactor (IGR), which is the unique experimental facility in the world, step-by-step approach was used for the development and data acquisition. Some methodical experiments for investigating instrumentation and power control as well as pellet-scale fuel melting tests were conducted and these results are basis of more complex and larger scale tests. A set of integral tests to realize molten fuel discharge through a liquid sodium contained steel duct were successfully conducted as the first phase, EAGLE-1. EAGLE-2 has been conducted as the second phase, in which up-ward molten fuel discharge behavior through a steel duct has been investigated both in the out-of-pile and in-pile tests. Break-up and fragmentation behavior of melt jet was also investigated in the out-of-pile tests. Post Test Examination (PTE) technique has also been developed and applied for EAGLE-1 and EAGLE-2. Taking these results into account, core damage process for an innovative sodium-cooled reactor design equipped with steel duct inside every each fuel subassembly named FAIDUS has been evaluated using SIMMER code. The results shows that about 20% of fuel is discharged outside of the core through FAIDUS ducts and recriticality can be prevented.

Since 2014, JAEA participates the ASTRID program in which severe accident study is one of important issues. The EAGLE-1 and 2 data will be also used as an essential part of the severe accident study for ASTRID.

After a feasibility study, a new phase of EAGLE, EAGLE-3 was just started from beginning of 2015. Points of experiments moved into the later phase of core damage process, i.e., material relocation and cooling after achieving neutronic shutdown. A number of out-of-pile tests and in-pile tests are planned in coming five years.

PROGRESS IN AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE COOLABILITY OF MOLTEN CORE MATERIALS FOR SODIUM-COOLED FAST REACTORS WITH OUT-OF-PILE TESTS IN THE EAGLE PROGRAM

K. Matsuba¹, K. Kamiyama¹, J. Toyooka¹, T. Sakai¹,
Y. Tobita², V.A. Zuev³, A.A. Kolodeshnikov³

¹ *Advanced Fast Reactor Cycle System Research and Development Center, Japan Atomic Energy Agency,
4002 Narita-cho, Oarai, Ibaraki, Japan, 311-1393*

² *Sector of Fast Reactor Research and Development, JAEA,
1 Shiroki, Tsuruga, Fukui, Japan, 919-1279*

³ *Institute of Atomic Energy, National Nuclear Center,
10, Krasnoarmeyskaya St., Kurchatov, 071100, EKO, Republic of Kazakhstan*

Sodium-cooled Fast Reactors (SFRs) have a great advantage in a large safety margin against the occurrence of Core Disruptive Accidents because of the high coolant-boiling temperature, which does not necessitate a significant pressurization to prevent coolant from boiling. Nevertheless, if the occurrence of CDAs, it may initiate a large-scale core melting and thus cause significant impacts on the integrity of reactor vessels. In a probable scenario for CDAs, it is foreseen that molten core material would be discharged into lower sodium plenums through control rod guide tubes. Such material relocation may seem to lead to a considerable thermal load on lower structures such as a core catcher. However, based on the existing experimental knowledge, it is suggested that in SFRs, as soon as the molten core material is discharged into coolant (liquid sodium), it may be fragmented into smaller particles by Fuel-Coolant Interactions and, as a result, efficiently cooled in the reactor vessels. Therefore, in order to enhance the safety characteristics of SFRs, it is important to gain deeper understanding on the fragmentation of molten core materials discharged into sodium.

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) and National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC/RK) have carried out a collaborative research over more than 15 years, called the EAGLE (Experimental Acquisition of Generalized Logic to Eliminate re-criticalities) program, whose objective is to obtain experimental evidences to establish the innovative safety logic for SFRs. Within the framework of this program, to reinforce experimental knowledge on the fragmentation of molten core materials discharged into sodium, a series of out-of-pile tests was conducted using a test facility of NNC/RK. In these tests, molten alumina was used as a simulant material for the molten fuel and discharged into a sodium pool. Quantitative and well-organized experimental data on the fragmentation was obtained through these tests. It is concluded that the experimental data is beneficial to confirm a high-level of the Coolability of Molten Core Materials in SFRs.

THE EFFECT OF IRRADIATION AND DEFORMATION ON PHASE TRANSFORMATIONS IN REACTOR Cr-Ni STEELS

K.V. Tsay¹, O.V. Rofman¹, S.V. Ruban¹, O.P. Maksimkin¹ and F.A. Garner²

¹ *Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Republic of Kazakhstan*

² *Radiation Effects Consulting, Richland, WA, USA*

It is known that microstructure and phase composition of austenitic Cr-Ni stainless steels change with stress and temperature during deformation. The most pronounced effect is when paramagnetic austenitic matrix (fcc) transforms into magnetic martensitic α' -phase (bcc). These deformation-induced changes are also influenced by irradiation and test temperature. The objective of this research was to investigate microstructural and mechanical changes of non-irradiated and irradiated with neutrons 12Cr18Ni10Ti and 12Cr18Ni9 steels, deformed at different temperatures.

Steel samples were irradiated in WWR-K research reactor (Almaty, Kazakhstan) at ~ 80 °C with different fluencies of neutrons ($10^{18} - 10^{20}$ n/cm²). Uniaxial tensile tests were performed at room and sub-zero ($-100, -60, -40, -20, 0$) temperatures at a strain rate of 8.3×10^{-4} s⁻¹ using Instron-1195 testing machine. Tensile tests at sub-zero temperatures were performed using automatically controlled flow of the liquid nitrogen to the specially designed chamber. The surface of flat tensile samples was marked to perform extensometer measurements. Constant strain-rate tests were periodically stopped at intermediate strains to determine cross-section areas and to measure local magnetization in marked

points along the gauge. Microhardness measurements were carried out along the deformed surface of specimens when tensile tests were finished. Phase transformations in the samples were studied by TEM and XRD.

A decrease of deformation temperature towards sub-zero values ($-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) resulted in an increase of strength characteristics for studied samples irrespective of preliminary irradiation (Table 1). Irradiated Cr-Ni steels demonstrated higher strength characteristics compared to those for the non-irradiated material at the same temperatures. There was observed synergistic effect of test temperature and fluence on the volume fraction of α' -phase formed during deformation (Figure 1). A decrease of testing temperature led to an increase of intensity for $\gamma \rightarrow \alpha'$ martensitic transformations, while an increase of neutron fluence influenced their kinetics.

Table 1. Mechanical characteristics of 12Cr18Ni10Ti and 12Cr18Ni9 steels deformed at a room temperature and $T = -100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Steel grade	12Cr18Ni10Ti			12Cr18Ni9		
	T=20 °C					
Fluence, n/cm ²	Non-irrad.	4.9×10 ¹⁹	1.3×10 ²⁰	Non-irrad.	8.8×10 ¹⁸	9×10 ¹⁹
Total deformation δ , rel.units	0.8	0.42	0.45	0.56	0.52	0.54
Uniform deformation, ϵ_p , rel.units	0.65	0.33	0.38	0.54	0.52	0.54
Yield stress σ_Y , MPa	240	460	530	225	504	515
Ultimate strength σ_{UI} , MPa	640	655	680	680	660	725
Microhardness prior to deformation, kg/mm ²	125	190	230	155	-	-
T=-100 °C						
Fluence, n/cm ²	Non-irrad.	4.9×10 ¹⁹	1.3×10 ²⁰	Non-irrad.	8.8×10 ¹⁸	9×10 ¹⁹
Total deformation δ , rel.units	0.55	0.45	0.55	0.45	0.45	0.57
Uniform deformation, ϵ_p , rel.units	0.47	0.45	0.50	0.43	0.45	0.55
Yield stress σ_Y , MPa	330	720	870	260	550	670
Ultimate strength σ_{UI} , MPa	1100	1040	1080	1025	1075	1100

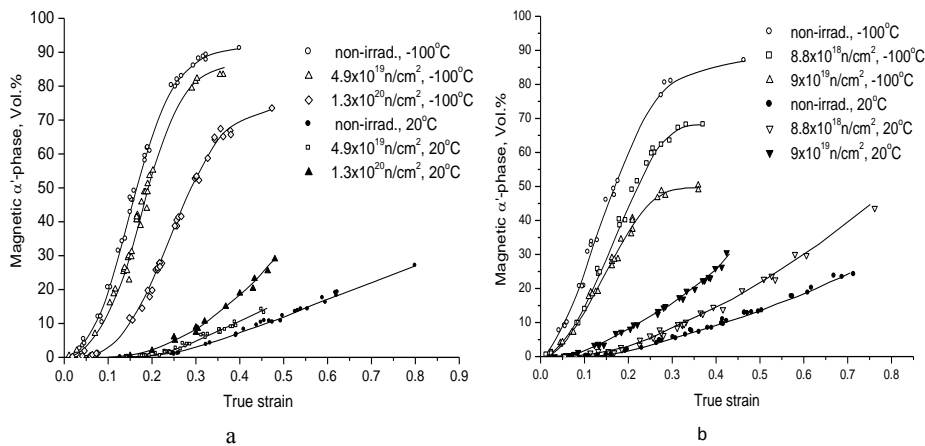


Figure 1. Changes in ferromagnetic α' -phase with deformation for non-irradiated and irradiated with neutrons (a) 12Cr18Ni10Ti and (b) 12Cr18Ni9 steels at $T_{test} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Contribution to the strain-induced hardening of steel, needed to initiate strain-induced martensitic transformations, decreased with temperature for non-irradiated and irradiated samples. Alpha (prime)-phase nuclei development in non-irradiated 12Cr18Ni9 and 12Cr18Ni10Ti steels deformed at $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ was studied by TEM and XRD. Research results explain the effect of diffusionless phase transformations on strength and plasticity for two reactor steels with different stacking fault energies.

DIELECTRIC RELAXATION AND CONDUCTIVITY IN γ -IRRADIATED TlGaTe₂ CRYSTALS AND (TlGaSe₂)_{1-x}(TlInS₂)_x, (TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x, (TlInS₂)_{1-x}(TlInSe₂)_x SOLID SOLUTIONS

R.M. Sardarli, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov,
N.A. Alieva, M.Y. Yusiov and A.A. Orujeva

*Institute of Radiation Problems, National Academy of Sciences of Azerbaijan,
B.Vahabzade 9, Baku, AZ1143 Azerbaijan
e-mail: sardarli@yahoo.com*

The switching effect, field and temperature dependences of the permittivity and conductivity of TlGaTe₂ crystals and (TlGaSe₂)_{1-x}(TlInS₂)_x, (TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x, (TlInS₂)_{1-x}(TlInSe₂)_x solid solutions subjected to various γ -irradiation doses are studied. Under rather low electric fields, the phenomenon of threshold switching with an S-shaped current-voltage characteristic containing a portion with negative differential resistance is observed in the crystals. In the region of critical voltages, current and voltage oscillations and imposed modulation are observed. Possible mechanisms of switching, ionic conductivity, disorder, and electrical instability in TlGaTe₂ crystals are discussed.

DEVELOPMENT OF AN ANALYTICAL METHODOLOGY FOR UNPROTECTED LOSS-OF-FLOW ACCIDENT REFLECTING SCIENTIFICALLY NEW KNOWLEDGE AND A PRELIMINARY EVALUATION

H. Tagami¹, T. Suzuki¹, K. Kawada¹, T. Sakai¹, Y. Tobita²

¹ Advanced Fast Reactor Cycle System R&D Center, JAEA,
4002 Narita-cho, O-arai, Ibaraki, JAPAN, 311-1393

² Sector of Fast Reactor Research and Development, JAEA,
1 Shiroki, Tsuruga, Fukui, JAPAN, 919-1279

For mitigation of severe-accident consequences in Sodium Cooled Fast Reactors (SFRs), it is important to achieve In-Vessel Retention (IVR) against hypothetical core-disruptive accidents (CDAs). As a representative sequence of CDAs, an unprotected loss of flow (ULOF), which is one of the technically considerable events postulated beyond design basis, is evaluated in the present paper. In the ULOF event, core materials melt, the molten-core region progresses toward a radial direction and a molten-core pool would be formed. This situation is called as a transition phase (TP). TP has a potential to fail IVR since a sloshing behavior of molten-core material will cause recriticality and it will result a large mechanical energy release against the reactor vessel.

In order to evaluate whether or not recriticality events leading to release of mechanical energy occur during TP, the SIMMER code has been developed under international cooperation. The SIMMER code can simulate multi-phase and multi-component flows coupled with structure and neutronics models which are indispensable to evaluate the accident progression with the whole reactor scale.

In TP analysis, a discharge of molten-core materials through control rod guide tubes (CRGTs) should be considered adequately because it will affect the potential of core reactivity. To analyze the molten material discharge, the SIMMER code introduced following scientific knowledge mainly obtained in EAGLE:

- heat transfer from molten-core materials to CRGTs and radial blanket walls
- pressure build-up due to fuel-coolant interaction at the failure of CRGTs
- break-up length of molten-core materials at the contact with liquid sodium in the lower plenum
- discharge of molten-core materials into the intra-subassembly gap of radial blanket

This paper will present a preliminary evaluation of TP during ULOF for a prototype fast-breeder reactor with reflections of above new knowledge to the SIMMER code.

TRANSIENT TESTING SCIENTIFIC INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT TO SUPPORT TREAT

Daniel M. Wachs

Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho USA

The execution of transient testing to support development of nuclear fuels and materials requires the availability of unique reactor facilities and scientific infrastructure. The Transient Test Reactor (TREAT) facility at the Idaho National Laboratory will be resuming operations in the near future to enable these missions. The scientific infrastructure to support utilization of the reactor is being developed in parallel to the restart effort. This infrastructure includes the development of advanced modeling and simulation tools necessary to perform high fidelity experiments, irradiation vehicles that provide the desired operational environments, in-pile instrumentation (including the fast neutron hodoscope), and post irradiation examination tools targeted at evaluation of disrupted fuels. Recent progress in these areas is discussed in this presentation.

РАДИАЦИОННО-ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ГЕКСАНА В ПРИСУТСТВИИ $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$

Агаев Т.Н., Байрамова И.В.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,
AZ 1143 Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9
e-mail: agayevteymur@rambler.ru*

В последнее время радиолитические процессы в углеводородных системах, в основном, изучены в газовой фазе. Поэтому закономерности влияния фазового состояния и состава смеси на значения радиационно-химического выхода молекулярного водорода не изучены и представляют большой интерес. В связи с истощением запасов углеводородов и возрастанием спроса к энергоносителям, возросла необходимость выявления закономерностей радиационно-химических процессов в жидкофазных системах углеводород + вода, которые в свою очередь, могут служить в качестве модельных систем для нефтезагрязненных водных бассейнов. Поэтому в данной работе приведены результаты радиационно-химических процессов получения молекулярного водорода из модельной системы гексана, n-гексан + вода в присутствии $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$ при $T=300$ К.

Изучена кинетика накопления молекулярного водорода при радиационно-каталитических процессах разложения гексана и система гексан + вода в присутствии $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$ при $T=300$ К. Радиолитиз отдельных компонентов системы проводился в стационарном режиме в присутствии $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$. Количество катализатора в ампуле составляло 0,4 г. Отношение масс катализатора и смеси гексан + вода составляла как 1:1.

Изучена кинетика накопления молекулярного водорода, при гетерогенном радиолитическом разложении n- C_6H_{14} и смеси n- $\text{C}_6\text{H}_{14}+\text{H}_2\text{O}$ в присутствии $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$ при $T=300$ К.

На основе начального линейного участка кинетической кривой, определено значение скорости накопления и радиационно-химического выхода молекулярного водорода. Для выявления вклада катализатора в процессе радиолитического разложения веществ, определены значения радиационно-химического выхода водорода, рассчитанные по энергии ионизирующего излучения, поглощенной адсорбированной фазой $G_{\text{общ}}(\text{H}_2)$. При определении значения $G_{\text{общ}}(\text{H}_2)$, необходимы знать точные значения мощности поглощенной дозы облучения. Значения мощности поглощенной дозы облучения в воде и гексана определены на основе электронной плотности их и дозиметрических систем. При мощности поглощенной дозы облучения в дозиметрических системах $D=0,26$ Гр/с, значение мощности поглощенной дозы облучения в отдельных компонентах составляют $D_{\text{вода}}=0,98 \cdot D_{\text{доза}}$ и $D_{\text{гексан}}=0,66 \cdot D_{\text{доза}}$ соответственно.

На основе полученных результатов выявлено, что значение выхода водорода уменьшается при переходе от гексана к системе n- $\text{C}_6\text{H}_{14}+\text{H}_2\text{O}$ и причем, это уменьшение пропорционально уменьшению гексана в смеси. Сравнение значения $G_{\text{адс}}(\text{H}_2)=40,4$ молекул/100 эВ при гетерогенном радиолитическом разложении n- C_6H_{14} , со значением $G(\text{H}_2)=5,5$ молекул/100 эВ при гомогенном радиолитическом разложении n- C_6H_{14} в идентичных условиях свидетельствует о том, что $\text{nano-Al}_2\text{O}_3$ обладает радиационно-каталитической активностью в процессе разложения гексана.

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ САПФИРА, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ СВИНЦА

Арутюнян В.В., Алексанян Э.М.

*Ереванский Физический Институт им А. Алиханяна,
Ереван 0036, Армения*

Управление оптическими свойствами кристаллов с помощью ионных пучков интересно как в научных, так и прикладных аспектах, например, при создании элементов интегральной оптики (световодов, фильтров и т. п.). Огромный интерес представляет изучение природы образования дефектов, возникающих при облучении (в частности тяжелыми ионами свинца) в ультрафиолетовой и вакуумной ультрафиолетовой областях спектра.

В настоящей работе исследованы особенности влияния облучения тяжелых ионов свинца на радиационно-стимулированные процессы в широкозонных оксидных монокристаллах сапфира – корунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) т.е. выяснение природы центров окраски по оптическим спектрам отражения и возбуждения люминесценции.

Экспериментальные исследования оптических характеристик монокристаллов корунда выполнены с использованием синхротронного излучения на установке спектрально-кинетических измерений в области 5-30 эВ, а в рентгеновской области излучения с энергиями фотонов 70-600 эВ с разрешением 0,5 эВ.

Изучались монокристаллы корунда выращенные методами горизонтально-направленной кристаллизации (ГНК) и Чохральского, в которых концентрации неконтролируемых примесей (Ti, Cr, Mn, Fe, Co) составляет от 10^{-4} до 10^{-3} мас %. Кристаллы ГНК были выращены в вакууме, а кристаллы Чохральского подвергались термообработке в вакууме под давлением $1.5 \cdot 10^3$ Па при температуре 2223 К. Облучение монокристаллов корунда проводилось ионами свинца с энергией 3.5 МэВ/а.е.м. После облучения ионами свинца образцы подвергались термообработке при 1720 К. Показано, что в результате облучения ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) высокоэнергетичными ионами свинца образуются сложные $[\text{Al}_i \text{ F}]$ и кластерные дефекты типа $\text{Al}^{3+}:[\text{O}^{2-}]_6$. В облученных кристаллах корунда происходит уменьшение значений коэффициентов отражения, что является подтверждением влияния радиации на поверхность материала. Кроме приповерхностных дефектов увеличивается рассеяние носителей заряда, которое также дает вклад в коэффициент отражения кристалла. Установлено увеличение интенсивности отражения в областях спектра выше 25 эВ и 550 эВ, из-за заполнения присутствующих механических нарушений атомами Al и соответственно металлизацией поверхности кристалла. Проведенные исследования показали, что среднее значение энергии теряемое на единице пути dE/dx равно 42 кэВ при дозе $1.2 \cdot 10^{12}$ ион/см². Расчет числа точечных дефектов образованных в результате облучения показали, что каждый ^{208}Pb с 3.5 МэВ/а.е.м. инициирует каскад замещений атомов 420 для Al и 233 для O.

Проведенные исследования показали, что радиационные повреждения на поверхности кристалла могут оказать существенное влияние на кинетику диффузии атомов из-за наличия ступеней “естественной шероховатости” в результате радиационно-стимулированного явления – десорбции.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Ахмеджанов Ф.Р.^{1,2}, Болтабаев А.Ф.², Курталиев Э.Н.¹, Эшниязов О.И.¹

¹ СамГУ, г. Самарканд, Узбекистан

² ИЯФ АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

В работе определены скорость распространения и коэффициент затухания ультразвуковых волн в конструкционных материалах ядерных реакторов САВ-1 и АМГ-2. Согласно рентгенографическому анализу массовая доля основных элементов – алюминия, кремния и магния в сплаве САВ-1 составила 97.6, 2.09 и 0.07%, в сплаве АМГ-2 – 97.3, 0.1 и 1.85%, соответственно [1]. Измерения производились с помощью ультразвуковой установки эхо-импульсным методом [2] на частоте 30 МГц, в температурном интервале 290–600 К. Продольные ультразвуковые волны возбуждались кварцевыми преобразователями Х-среза. Акустический контакт преобразователя с образцом осуществлялся через слой эпоксидной смолы.

Коэффициент затухания волн α определялся по амплитудам соседних импульсов A_1 и A_2 в серии затухающих импульсов из соотношения:

$$\alpha = \frac{20 \lg(A_1/A_2)}{2L}, \quad (1)$$

где L – длина образца.

Точность определения коэффициента затухания составляла около 10%. Одновременно, из измерений задержки эхо-импульсов определялась скорость акустических волн с погрешностью примерно 0.2%.

Исследования показали, что затухание акустических волн в алюминиевых сплавах обнаруживает максимум (1.3-1.5 дБ/см) при температуре 316 К для САВ-1 и 322 К для АМГ-2. В дальнейшем, с увеличением температуры до ~ 560 К величина акустического затухания монотонно уменьшается примерно в 3 раза. После отжига образцов в течение 4 часов при ~ 773 К, температурная зависимость практически не изменяется, однако максимальное значение коэффициента затухания сильно уменьшается.

Исследованные сплавы являются твердыми растворами внедрения [1], в которых распределение растворенных атомов квазиизотропно относительно каждого атома основной решетки. Деформация, создаваемая акустической волной, нарушает такое равновесное распределение. За счет перемещения и переориентации внедренных атомов осуществляется переход в новое равновесное состояние, характеризуемый некоторым временем релаксации τ

$$\tau \cong \frac{1}{v_0} e^{W/kT}, \quad (2)$$

где v_0 – частота колебаний внедренного атома в позиции внедрения, W – энергия активации движения внедренных атомов, определяемая типом позиции внедрения и природой, как внедренных атомов, так и атомов растворителя, k – постоянная Больцмана. В результате происходит внутреннее трение, обусловленное упорядочением атомов под внешним воздействием [3], которое приводит к релаксационному пику затухания.

Одним из основных механизмов затухания ультразвуковых волн в твердых телах является термоупругий эффект [2]. В металлах, в которых велики коэффициенты теплового расширения и теплопроводности, вклад этого механизма может составлять примерно половину от полной величины затухания. Так, экстраполяция данных работы [4] дает величину коэффициента затухания продольных волн в сплаве АМГ-2, равную 0.45 дБ/см.

Для выявления природы наблюдаемых изменений затухания продольных акустических волн и разделения вкладов отдельных механизмов затухания, планируется проведение исследований на других частотах ультразвуковых волн до и после воздействия нейтронного излучения.

Литература:

1. Alikulov Sh.A., Akhmedzhanov F.R., Baytelesov S.A., Boltabaev A.F., Kungurov F.R., Rakhimov E.T., Salikhbaev U.S. High-Temperature Electric and Thermal Conductivity of the Aluminum Alloys SAV-1 and AMG-2 Atomic Energy. 2015, Vol. 117, N 5, p. 334-339.
2. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. - М.: Мир, 1972. – 307 с.
3. Постников В. С. Температурная зависимость внутреннего трения чистых металлов и сплавов. УФН, 1958. Т. 66, вып. 1, С. 43-77.
4. Новик А., Бери Б. Релаксационные явления в кристаллах. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ПРИ УДЕРЖАНИИ КОРИУМА В КОРПУСЕ РЕАКТОРА

Бакланов В.В.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В докладе представлены некоторые наиболее значимые результаты экспериментов по изучению нестационарных процессов при удержании прототипа кориума в корпусе легководного реактора при имитации остаточного тепловыделения, проведенных в ИАЭ НЯЦ РК.

Работы выполнялись в рамках проекта МНТЦ «Эксперименты по перемещению и удержанию расплава прототипного кориума в модели силового корпуса реактора (INVECOR)», а также Республиканской программы исследований в области обоснования безопасности атомной энергетики в Республике Казахстан, в период 2006-2013 гг.

Эксперименты проводились на установке ЛАВА-Б, используемой в ИАЭ НЯЦ РК для осуществления экспериментов с плавлением имитатора активной зоны реактора. Установка была модернизирована путем оптимизации технологии плавки и отработки технологии имитации остаточного тепловыделения, после чего было проведено 5 крупномасштабных экспериментов с поддержанием энерговыделения в бассейне расплава и использованием оксидного кориума С-30 (30% оксида циркония), а также оксидно-металлического кориума С-30+10% (мас.) нержавеющей стали.

Анализ результатов, включал в себя исследование результатов взаимодействия кориума со сталью, изучение состава и свойств продуктов взаимодействия.

Постэкспериментальные исследования проб кориума и корпусной стали состояли из: выполнения разрезов модели корпуса реактора и слитка кориума, отбора проб для анализа; определения фазового и элементного состава полученных материалов; выполнения оптической металлографии образцов стали и кориума; обобщения результатов экспериментов. В объем исследований результатов последнего эксперимента был добавлен локальный элементный ЭДС-анализ с помощью растрового электронного микроскопа.

В интегральных крупномасштабных экспериментах расплав кориума С-30 массой до 60 кг сливался из электроплавильной печи с высоты ~1,7 м в модель днища реактора (масштаб модели ~1/12) с размещенным в нем устройством для имитации остаточного тепловыделения. Длительность эксперимента по удержанию кориума в корпусе составляла от 1 до 2 часов. Удельная мощность энерговыделения в кориуме поддерживалась в пределах от 4 до 8 Вт/см³. Максимальная температура стенки модели корпуса достигала 1300 °С, что достигалось за счет теплоизоляции на внешней поверхности модели корпуса и регулирования расхода охлаждающей воды. Добавка стали в кориум выполнялась путем имитации плакировки внутренней поверхности корпуса нержавеющей сталью (в эксперименте INVECOR-2) и сбросом стального листа на поверхность бассейна кориума (в эксперименте INVECOR-3). В двух экспериментах (INVECOR-1/3 и INVECOR-2) в модель корпуса предварительно помещалось до 10 кг оксидного кориума С-90. В четвертом эксперименте (INVECOR-1/4) была увеличена эффективность теплоизоляции на внешней поверхности модели корпуса и установлен дополнительный тепловой экран над кориумом снизивший тепловые потери на излучение. В последнем эксперименте (INVECOR-5) были соблюдены условия предыдущего эксперимента за исключением толщины модели днища. Толщина стенки была уменьшена до 30 мм, что позволило существенно снизить массовую теплоемкость модели корпуса и, соответственно, осуществить более быстрый ее прогрев за счет теплообмена с кориумом. Уменьшение толщины стенки модели корпуса также позволило также снизить перетечки тепла вдоль стенки корпуса к верхнему фланцу, что обеспечило более высокие тепловые потоки через стенку модели в радиальном направлении.

В процессе постэкспериментальных исследований обнаружено, что затвердевший кориум находится как в виде сплошной слитка, так и виде мелких фрагментов, расположенных поверх слитка. Выявлена локальная эрозия внутренней поверхности стальной стенки модели корпуса.

Фазовый анализ затвердевшего кориума показал, что нижний слой корки кориума, прилегающей к стенке модели корпуса, и верхний слой фрагментов по составу почти идентичны и соответствуют быстрому охлаждению расплава (quench-эффект). Это позволяет предположить, что фрагменты кориума в основной массе сформировались в результате первичного контакта струи расплава с относительно холодной стальной поверхностью.

Масса фрагментированного кориума может зависеть от соотношения масс кориум/сталь. При этом следует иметь в виду, что в эксперименте INVECOR-1/4 получена наибольшая масса фрагментов по сравнению с

предыдущими экспериментами. Исследования показали, что частицы нижнего слоя выглядят как фрагменты верхней корки на слитке кориума. Следовательно, они могли сформироваться в результате взламывания верхней корки при повышении давления в закрытых порах в слитке кориума, а также в результате термических расширений.

Взаимодействие кориума с материалом корпуса имеет неоднозначный характер. В результате исследования шлифов, приготовленных на сечениях границы кориум/сталь видно, что проникновение компонентов кориума имеет несколько механизмов протекания. Это диффузионное проникновение компонентов кориума в сталь по границам зерен, а также более выраженное образование легкоплавких соединений с последующей абляцией материала.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ГАРМОНИК В РАСЧЁТАХ РБМК

Балыгин А.А., Краюшкин А.В., Ковалишин А.А.

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

В настоящее время для расчёта нейтронно-физических характеристик РБМК используются программы, основанные на диффузионном гетерогенном приближении. Для компенсации погрешностей указанного приближения и получения удовлетворительного согласия с результатами измерений коэффициентов и эффектов реактивности приходится использовать некоторые подгоночные параметры.

Программа STEPAN-МПП является новой версией программы STEPAN. В отличие от конечно-разностной версии программы STEPAN в программе STEPAN-МПП не используется традиционный метод гомогенизации гетерогенных ячеек РБМК, и не используется диффузионное приближение.

Основой программы STEPAN-МПП является метод поверхностных гармоник, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт» Н.И. Лалетиним и сотрудниками. Метод обеспечивает гетерогенный расчет реактора в транспортном приближении, что приближает программу, его использующую, к прецизионным программам, использующим метод Монте-Карло. При этом временные затраты на расчет и возможности остаются близкими к затратам и возможностям обычного расчета по программе STEPAN. В частности, рассчитывается весь набор коэффициентов и эффектов реактивности.

В докладе приводятся результаты расчётов критическихборок и активных зон РБМК. Полученные результаты сравниваются с результатами измерений. Показано, что расчётные результаты хорошо совпадают с результатами измерений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЗОННЫХ ТВС С ТОРИЕВЫМ ТОПЛИВОМ

Большаков В.В.

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Проведен комплекс работ с целью практической реализации ториевого топливного цикла. На основе различных вариантов конструкции ТВС, тепло-гидравлических и нейтронно-физических расчетов была сконструирована двух зонная топливная сборка в форм-факторе ТВС реактора ВВЭР-1000. В этой ТВС, периферийная зона бланкета содержит традиционные цилиндрические твэлы. Центральная, «сид»-зона, в отличие от зоны бланкета, формируется из самодистанционирующихся витых твэлов трехлучевой формы поперечного сечения. Успехи в технологии изготовления витых твэлов необходимой конфигурации методом экструзии позволяют реально рассматривать их использование в конструкции ТВС. На теплофизическом стенде КС НИЦ «Курчатовский институт» были проведены серии экспериментальных исследований пучков витых стержней по гидравлике и кризису теплоотдачи.

Технологии, полученные при проведении всего комплекса работ, имеют ряд дополнительных применений.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Витюк В.А., Вурим А.Д.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Разработка новых типов реакторного топлива и совершенствование существующих невозможно без проведения комплекса исследований различного характера. Одной из составляющих таких исследований являются испытания модельных твэлов и тепловыделяющих сборок в исследовательских реакторах. Наиболее подходящим инструментом для исследования поведения топлива в переходных и аварийных режимах с резким ростом мощности являются импульсные реакторы, к которым относится и реактор ИГР Национального ядерного центра Республики Казахстан.

Важной задачей при проведении испытаний твэлов и ТВС в импульсных режимах изменения мощности является определение энергетических параметров экспериментов, которые необходимы как для правильной интерпретации их результатов, так и для повышения точности реализации заданного энерговыделения. В настоящее время для решения этой задачи при проведении экспериментов на реакторе ИГР применяется методика прямого измерения интегрального энерговыделения посредством спектрометрических исследований топливной композиции после облучения топлива при относительно низком энерговыделении с последующей экстраполяцией полученных значений на весь диапазон заданных режимов испытаний. Основным недостатком такого подхода является его низкая оперативность, обусловленная как длительностью процедуры спектрометрических измерений, так и необходимостью выдержки ТВС после облучения до образования значимого количества реперных продуктов деления. Кроме того, по результатам спектрометрических измерений может быть получена информация только об интегральном энерговыделении в ТВС за все время эксперимента. С другой стороны, модельные ТВС оснащаются достаточно развитой системой измерения теплофизических параметров, что позволяет рассмотреть возможность оценки энергетических характеристик ТВС по ее термическому состоянию. Подобные решения успешно применяются на исследовательских реакторах, обеспечивающих продолжительные стационарные режимы испытаний ТВС.

В докладе представлена методика определения энергетических параметров внутриреакторных импульсных экспериментов, основанная на установлении связи между теплофизическими и энергетическими параметрами модельных ТВС в нестационарных условиях теплообмена, характерных для импульсных испытаний. Результаты проведенных в поддержку методики экспериментальных исследований показали ее работоспособность при реализации различных уровней энерговыделения в реакторе. Погрешность результатов применения методики оценивается в диапазоне от 6% до 13%. Преимуществом предложенного подхода является высокая оперативность и возможность применения методики для оценки энергетических параметров ТВС как по результатам эксперимента в целом, так и на отдельных этапах.

ТЕПЛОВОЙ РЕАКТОР ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Котов В.М., Ерыгина Л.А., Иданова Д.С., Сураев А.С.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Высокая эффективность работы теплового ядерного энергетического реактора предполагает в первую очередь высокие экономические показатели, которые, в свою очередь, основываются на таких технических характеристиках, как полнота использования природного урана в его топливном цикле, коэффициент преобразования тепловой энергии в электрическую и затраты на поддержание рабочих процессов. В современных тепловых реакторах доля использования природного урана близка к одному проценту, КПД преобразования энергии около 30-33%.

Повышение использования природного урана возможно при уменьшении потерь нейтронов в реакторе и включении в топливный цикл тория. При этом возникают свои проблемы:

- уменьшение потерь нейтронов ведет к росту избыточной реактивности в начале кампании. Для ее компенсации в современных реакторах вводят различные поглотители. Эффект получается нулевой, если не принять особых мер;

- при выработке из тория урана-233 в составе твэлов образуется паразитный уран-232, дочерний нуклид которого, талий-208 является источником высокоэнергетического гамма-излучения, сдерживающего обязательную в этой технологии переработку топлива. Приемлемым считается содержание урана-232 в уране-233 на уровне $5 \cdot 10^{-6}$ при реальных значениях до $3 \cdot 10^{-3}$ в реакторах PWR [1].

- наиболее производительная технология получения урана-233 возможна в канальных реакторах с тяжеловодным замедлителем, при этом энергия замедления и протечек тепла из каналов теряется из процесса получения электроэнергии.

Повышение КПД возможно только за счет повышения максимальной температуры цикла Ренкина.

Предложенный канальный реактор основан на использовании газового теплоносителя, обеспечивающего максимальную температуру цикла ~ 500 °С, использующего тепло выделяемое в замедлителе для нагрева конденсата, тройной перегрев пара в трех ступенчатой турбине [2]. Последнее обеспечивает сухость пара вплоть до его выхода из турбины. Соответственно, становится возможным отказ от высоколегированных сталей в лопатках турбины.

Решением, обеспечивающим возможность снижения потерь нейтронов в реакторе для повышения использования природного урана, является введение компенсаторов избыточной реактивности в виде ториевых стержней [3]. Эти стержни устанавливаются между ТВС реактора в прямоугольной ячейке. Время облучения тория ограничивается выработкой в них урана-233. Характеристики предшественника урана-233 протактиния позволяют довести время облучения до 90 суток. Количество тория в активной зоне устанавливают таким, чтобы реактивность была менее 1β . После облучения торий выдерживается около 120 суток для перевода протактиния в уран-233.

Такая технология ускоряет выработку урана-233, снижает содержание в нем урана-232 до $2 \cdot 10^{-6}$. Отделение урана от тория ведется экстракцией $UO_2(NO_3)_2$ из $Th(NO_3)_4$, полученных после взаимодействия ториевых стержней с азотной кислотой.

Снижению затрат на изготовление топлива, повышению нейтронно-физических характеристик реактора способствует использование твэла с составным металлическим сердечником [4].

Разделение процессов деления в ТВС и выработки части делящегося вещества в ториевых стержнях при равновесии образования плутония и его расхода позволяют реализовать высокую длительность кампании с высоким выгоранием делящихся веществ. Сумма используемых решений обеспечивает возможность применения для изготовления свежего топлива отвалов разделительных производств, практически полного использования природного урана.

Сопряжение реактора с турбиной в цикле Ренкина по данному решению позволяет получить КПД на уровне схем ВТГР при использовании хорошо отработанных на практике стержневых твэлов.

Литература:

1. М.Ф. Троянов, В.Г. Илюнин, А.Г. Калашников и др. Некоторые исследования и разработки ториевого топливного цикла. – Атомная энергия, 1998, вып.4, с. 287–293.

2. Котов В.М., Витюк Г.А., Сураев А.С. Возможности газоохлаждаемых реакторов с водяным замедлителем – Атомная энергия, 2014, вып.1, с. 6–10.
3. Kotov V.M. Thermal reactors with high reproduction of fission materials. – In: Nuclear Power – Practical Aspects. Rijeka: Intechopen.com, 2012, p.179–218.
4. Котов В.М., Ерыгина Л.А. Твэл с составным металлическим сердечником. – Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение. Национальный институт интеллектуальной собственности Министерства юстиции РК. № 250/14 от 10 декабря 2014 г.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ УТС В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Азизов Э.А., Кузнецова Л.К., Трубников А.С., Хвостенко П.П.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
пл. академика Курчатова, д.1, г. Москва, Россия, 123182*

Споры о роли и месте управляемого термоядерного синтеза (УТС) в структуре глобальной энергетики XXI века не утихают и по сей день, поскольку на смену блестящим успехам первых двух десятилетий пришли долгие годы борьбы за термоядерные параметры и обуздание плазмы. Несмотря на всю сложность проблемы, имеется понимание того, что никакие альтернативные энергоисточники, кроме ядерной энергетики, при условии решения проблемы переработки и утилизации ОЯТ, не способны вывести человечество из энергетического тупика, а продолжение работ и поиск новых оригинальных решений в области УТС — открывает дорогу к успеху.

Исторически сложилось так, что Курчатовскому институту выпала честь быть руководителем и координатором исследований в области УТС в СССР и России. В далёкие 1950-е годы был дан старт, задан уровень и динамика исследований, позволившие на протяжении многих лет СССР удерживать лидирующие позиции в мире в этом направлении.

Термоядерные исследования в НИЦ «Курчатовский институт» сегодня представлены экспериментальными исследованиями на токамаке Т-10, набирающей обороты модернизацией токамака Т-15; работами по проекту международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР; а также перспективными проектами — развития гибридных систем «синтез-деление» (ТИН-ГИБРИД) и ИГНИТОР, которые идут в фарватере современной российской программы термоядерных исследований.

Мегапроект ИТЭР является в настоящее время самым крупномасштабным международным проектом сооружения термоядерного экологически чистого источника энергии, создающего базу для следующего шага — демонстрационного реактора ДЕМО. Перевооружение инженерных и технологических систем токамака Т-15 позволит России иметь национальную современную экспериментальную установку с вытянутым сечением и дивертором и проводить широкий диапазон актуальных исследований в поддержку ИТЭР и источника термоядерных нейтронов (ТИН) для гибридного реактора. Экспериментальные работы на токамаке Т-10 направлены на изучение режимов улучшенного удержания плазмы в условиях мощного СВЧ нагрева, на отработку диагностик для токамака Т-15. Важное место в работах на токамаке Т-10 занимают исследования по развитию диагностик ИТЭР и, прежде всего, рефлектометрии со стороны высокого поля, CXRS диагностики и Н-альфа диагностики. Курчатовским институтом предложена стратегия исследований и программа развития гибридных систем «синтез-деление» в России на основе токамаков и жидкосольевых ядерных технологий, открывающая новые возможности для энергетики XXI века в решении сложнейшей проблемы переработки и утилизации долгоживущих радиоактивных отходов. Достигнут прогресс в продвижении российско-итальянского проекта сооружения токамака ИГНИТОР. Это будет компактный токамак с высоким удельным термоядерным энерговыделением только за счет омического нагрева плазмы, сооружение которого предполагается в г. Троицке Московской области.

НИЦ «Курчатовский институт» активно ищет выход из острейшей кадровой проблемы, сложившейся на всем постсоветском пространстве, и предлагает свои подходы к решению этой общей для научного сообщества проблемы.

ГАЗООБРАЗОВАНИЯ В ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДАХ

Курбанов М.А., Мамедов С.Г., Кулиева У.А., Искендерова З.И.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку

Радиационно-химическое превращение компонентов жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в значительной мере определяет условия безопасного их хранения, что диктует детальное изучение процесса радиолитического разложения низкомолекулярных органических компонентов. Под действием ионизирующего излучения в водных растворах щавелевой и муравьиной кислоты образуется целый ряд органических кислот и газообразные продукты, такие как углекислый газ и водород [1]. Несмотря на целый ряд работ, посвященные радиолизу водных растворов щавелевой кислоты отсутствует комплексный подход к определению условия безопасного хранения ЖРО, содержавшие органические кислоты в качестве малых компонентов [2-5].

Целью работы является определение основных параметров радиолитических превращений щавелевой и муравьиной кислоты в водных растворах, включая изменения газообразных продуктов и моделирование механизма протекающих процессов.

МЕТОДИКА

Насыщенный воздухом ($[O_2] = 2,7 \cdot 10^{-4}$ М) растворы кислот (10^{-2} М) облучали γ -излучением от изотопа ^{60}Co , в статических условиях, в запаянных стеклянных ампулах при комнатной температуре. Мощность дозы определена ферросульфатной дозиметрии и составляла 0,21 Гр/сек, химическое потребление кислорода (ХПК) по окислению перманганатом калия ($KMnO_4$), H_2 и CO_2 – хроматографически.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 приведены экспериментальные данные по изменению общего органического углерода, концентрации углекислого газа и водорода в зависимости от поглощенной дозы.

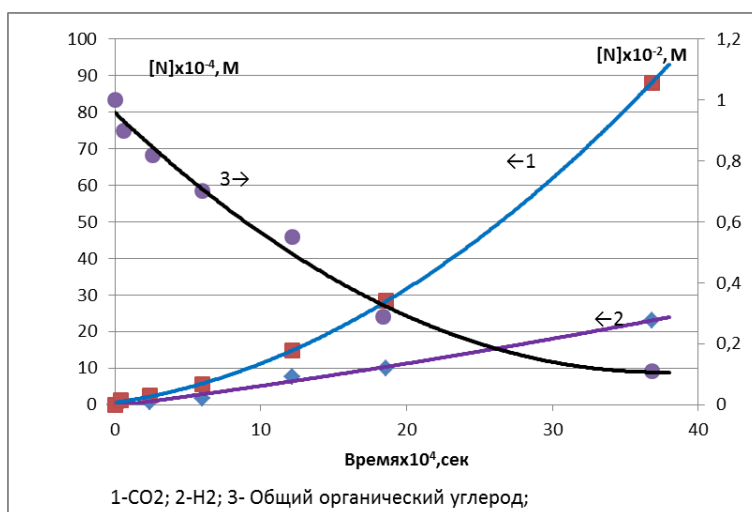


Рис. 1. Кинетика изменения общего органического углерода, концентрации углекислого газа и водорода при облучении азрированного водного раствора ($1 \cdot 10^{-2}$ М) щавелевой к-ты. $[O_2] = 2,7 \cdot 10^{-4}$ М, Мощность дозы 0,21 Гр/сек.

Как видно из рис.1, с ростом поглощенной дозы общее количество органических веществ уменьшается. При этом происходит накопление углекислого газа и водорода. При дозе порядка 80 кГр, степень превращения органической части составляет 90%, при начальной концентрации щавелевой кислоты 10^{-2} М. Накопление газообразных продуктов вызывает риск для безопасного хранения ЖРО. Но с ростом парциального давления углекислого газа повышается его растворимость в воде и при достижении $pH \geq 4$ углекислый газ находится в равновесии с угольной кислотой в растворе.

Компьютерное моделирование проводилось по программе GEPASI(VER.3.30). Формально – кинетическая схема протекающих процессов при радиолизе водных растворов щавелевой кислоты приведена нами ранее [6]. В расчетах учтены, что вода является основным компонентом жидких радиоактивных отходов и при воздействии ионизирующего излучения прямому радиолизу подвергается вода и возникающие активные частицы ОН радикалы, Н атомы и электроны эффективно реагируют с молекулами щавелевой кислоты и продуктов при-

вода к их деградации в растворе. Результаты расчетов приведены в рисунках 2-4 и сравнены с экспериментальными данными.

На рис.2 представлена кинетика изменения концентрации углекислого газа при облучении аэрированного водного раствора ($1 \cdot 10^{-2}$ М) муравьиной к-ты.

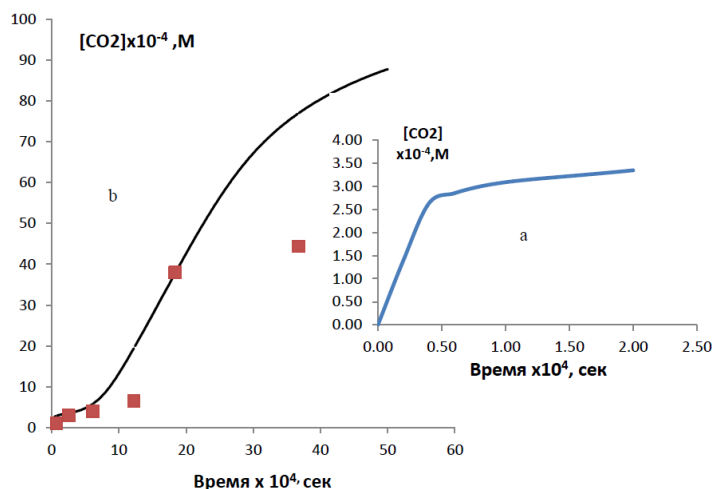


Рис.2. Кинетика изменения концентрации углекислого газа при облучении аэрированного водного раствора ($1 \cdot 10^{-2}$ М) муравьиной к-ты. $[O_2] = 2,7 \cdot 10^{-4}$ М, Мощность дозы 0.21 Гр/сек.. (точки экспериментальные, линия – расчетная); а – начальный участок кинетической кривой.

Как видно, образование углекислого газа наблюдается с начала облучения и линейно растет с повышением поглощенной дозы, что указывает на его образование, как при окислении муравьиной кислоты, так и продуктов его превращения. Наблюдаемая зависимость свидетельствует о практически полном расходовании кислот и что согласуется с экспериментальными данными, приведенными на рис. 1 и 2.

Литература:

1. А.В. Гордеев, Б.Г. Ершов, И.М. Косарева, Диффузионно-кинетическая модель радиационно-химических превращений щавелевой кислоты и оксалат – ионов в водных растворах, Химия Высоких Энергий, 2005, том 39, № 4, с. 250-2540.
2. N. Getoff, F. Schwörer, V.M. Markovic, K. Sehested and S.O. Nielsen, Pulse Radiolysis of Oxalic Acid and Oxalates, The Journal of Physical Chemistry, Vol.75, No.6, 1971, с. 749-755.
3. Т.П. Жесткова, Т.Н. Жукова, И.Е. Макаров, А.К. Пикаев, Ингибирующий эффект кислорода при радиолитическом разложении щавелевой кислоты в водном растворе, Доклады Академии НАУК, 2001, том 379, № 5, с. 635-637
4. Н.А. Аристова, Т.С. Мокино, И.М. Пискарев, Окисление муравьиной и щавелевой кислот в безэлектродной электрохимической реакции, Журнал общей химии, 2003, Т.73.Вып.5, с. 756-760.
5. Т.П. Жесткова, Т.Н. Жукова, И.Е. Макаров, Особенности радиолитического разложения щавелевой кислоты в аэрированных водных растворах, Химия Высоких Энергий, 2001, том 45, № 2, с. 115-118.
6. Z.I. Isgenderova, U.A. Guliyeva, S.G. Mammadov, M.A. Gurbanov, E.T. Abdullayev, Radiolysis of aerated formic acid solution. European J. of Analitical and Applied Chemistry, 2015, #1, 44-50.

РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ (БРЕСТ). ПОДХОДЫ К ЗАМЫКАНИЮ ЯТЦ

Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Моисеев А.В., Смирнов В.С.

АО «НИКИЭТ», г. Москва, Россия

Проект энергокомплекса с реакторной установкой (РУ) БРЕСТ-ОД-300 включает разработку проекта энергоблока с опытно-демонстрационным реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем и электрической мощностью 300 МВт, а также проекты замкнутого пристанционного ядерного топливного цикла и комплекса по переработке и хранению облученного ядерного топлива (ОЯТ).

Важным итогом работы стал выпуск в 2014 г. технического проекта РУ естественной безопасности БРЕСТ-ОД-300, работающей в замкнутом ЯТЦ.

Реактор БРЕСТ разрабатывается в России начиная с конца 90-гг. прошлого столетия в рамках развития концепции новой ядерной энергетики естественной безопасности, основными принципами которой являются:

- Исключение тяжелых аварий АЭС (реактивностные, потеря охлаждения, пожары, взрывы), требующие отселения населения;
- Замыкание ЯТЦ для полного использования энергетического потенциала уранового сырья;
- Экологическая приемлемость, максимальное снижение количества высокоактивных долгоживущих нуклидов РАО – продуктов ЯТЦ, направляемых на окончательное захоронение;
- Технологическое усиление нераспространения ядерного оружия;
- Конкурентоспособность, технологическая и системная приемлемость.

В докладе представлены принципиальные аспекты замкнутого ЯТЦ с реактором на быстрых нейтронах и свинцовым охлаждением БРЕСТ, обеспечивающие естественную безопасность реактора и экологическую приемлемость топливного цикла при поддержке режима ядерного нераспространения:

- Полное воспроизводство топлива в активной зоне.
- Включение собственных минорных актинидов (МА) в топливо.
- Приреакторный ЯТЦ.
- Технологическая поддержка режима нераспространения.
- Отсутствие бланкета, в котором возможна наработка оружейного плутония.
- Трансмутация МА.
- Подпитка только природным или обедненным ураном.

Равновесный топливный режим означает, что реактор работает при полном воспроизводстве делящихся нуклидов в активной зоне реактора (коэффициент воспроизводства ≈ 1) и топливо рециркулируется через вне-реакторные установки – компоненты комплекса замкнутого топливного цикла.

Избыток нейтронов в цепной реакции в быстром реакторе (без уранового бланкета) и высокая плотность потока быстрых нейтронов могут обеспечить в активной зоне нейтронную трансмутацию актинидов – без нарушения естественной безопасности реактора.

РАДИАЦИОННО-ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ $\text{RaO-SiO}_2+\text{H}_2\text{O}$

Агаев Т.Н., Гарибов А.А., Мансимов З.А., Гулиева Р.Т.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана
AZ 1143 Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9
e-mail: agayevteymur@rambler.ru*

Радий-силикаты благодаря радиационной и термической стойкости, а также уникальный физико-химическим свойствам представляет большой интерес в областях ядерной и радиационной технологии. Поэтому в последнее время научные интересы к радий-силикатам расширились и проводятся широкомасштабные исследования под действием ионизирующих излучений.

В данной работе исследовано радиационно-гетерогенные разложения воды в присутствии радий-силиката в зависимости от содержания радия при различных температурах.

Синтезированы радий-силикат с различным содержанием радия путем гидролиза этилортосиликата в среде уксусной кислоты при $T=333$ К. Содержание радия в составе синтезированных образцов, определяли γ - и α - спектроскопическими методами.

С целью выявления вклада термокаталитических процессов в радиационно- термокаталитическое разложение воды исследована кинетика накопления молекулярного водорода при термокаталитическом и радиационно-термокаталитическом разложении воды в присутствии радий-силиката в зависимости от содержания радия в интервале температур $T=300-673$ К. Установлено, что радий-силикат при $T>573$ К обладает термокаталитической активностью в процессе разложения воды. Выход молекулярного водорода при этом зависит, в основном только от температуры. На основе этих результатов можно сделать предположение, что на поверхности радий силиката имеются термокаталитически активные центры, которые активизируются при различных температурах.

На основе значений скоростей радиационной составляющей радиационно-термокаталитических процессов определены значения радиационно-химического выхода молекулярного водорода. Они свидетельствует о том, что только определенная часть радия, введенная в состав радий силиката, играет роль радиационно-каталитически активных центров в процессе радиолиза воды. Энергия активации радиационно-термокаталитического процесса разложения воды определена на основе температурной зависимости скорости накопления молекулярного водорода, где $E_a=13.65$ кДж/моль.

При этом полученные результаты показывают, что повышение температуры от 300 до 673 К обуславливает увеличение радиационно-химического выхода молекулярного водорода от 0.81 до 1.63 молекул/100 эВ. Наблюдаемый прирост радиационно-химического выхода молекулярного водорода с температурой свидетельствует о влиянии температуры на процессе переноса энергии в системе $\text{RaO-SiO}_2+\text{H}_2\text{O}$.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРИУМА ЛЕГКОВОДНОГО РЕАКТОРА С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ОКИСЛЕННОСТИ ЦИРКОНИЯ

Скаков М.К.², Мухамедов Н.Е.¹, Дерявко И.И.²,
Бакланов В.В.², Кукушкин И.М.², Виелеба В.К.³

¹ Государственный университет им. Шакарима города Семей, Казахстан

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

³ Вроцлавский политехнический университет, г. Вроцлав, Польша

Обеспечение безопасности эксплуатации ядерных энергетических установок является одной из важнейших проблем атомной энергетики. Для решения вопросов, связанных с безопасностью реакторов, проводится большой объем работ, включающих в себя как теоретические, так и экспериментальные исследования.

В настоящей работе исследованы фазовый состав и состояние микроструктуры прототипного (полученного во вне реакторном эксперименте) кориума легководного энергетического реактора и определены его теплофизические свойства (удельная теплоемкость, температуропроводность и теплопроводность) в диапазоне температур от комнатной до ~450 °С. Полученные данные по температурным зависимостям теплофизических свойств кориума предназначены для проведения расчетов температурных полей при моделировании процессов по удержанию расплава кориума в корпусе реактора.

Рентгеновский фазовый анализ фрагментов кориума, извлеченных из ловушек экспериментальных устройств, позволил установить, что основными компонентами фазового состава кориума по результатам рентгеновского фазового анализа является ряд твердых растворов (U,Zr)O₂ с гранцентрированной кубической (ГЦК) решеткой двуокиси урана и фаза α-Zr(O,U) на основе α-модификации металлического циркония. Стехиометрический состав твердых растворов (U,Zr)O₂ был определен оценочно путем линейной интерполяции значений периодов решеток ГЦК-фаз UO₂ и ZrO₂ (равных соответственно ~0,547 и ~0,511 нм) к периоду решетки твердого раствора, определяемому по дифрактограмме.

Измерение теплофизических свойств прототипного кориума легководного реактора осуществлялись на тонких дисковых образцах, подготовленных применительно к условиям лабораторной установки теплофизических измерений УТФИ-2.

При определении теплофизических свойств образцов кориумов на установке УТФИ-2 использовалась методика [1], основанная на известном методе тепловой вспышки. Сущность методики, реализуемой на установке УТФИ-2, заключается в нагреве одного из торцев дискового образца кратковременным воздействием теплового импульса и регистрации временной зависимости температуры на противоположном торце образца.

При определении теплофизических свойств у дисковых образцов прототипных кориумов было уделено большое внимание воспроизводимости результатов измерений. Анализ полученных результатов измерения ТФС кориумов при комнатной температуре показал близость теплофизических параметров у образцов всех кориумов. Причем значения удельной теплоемкости у всех образцов кориумов оказались выше, чем у образцов диоксида урана, а значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности – ниже.

Получение в целом непротиворечивых результатов измерений ТФС образцов кориумов при комнатной температуре позволило приступить к изучению температурных зависимостей ТФС этих образцов. Полученные данные по ТФС прототипных кориумов в диапазоне температур от 20 °С до 430 °С показывают увеличение теплопроводности, температуропроводности и удельной теплоемкости кориума при повышении температуры измерений. Такая тенденция изменения ТФС с температурой заметно отличается от температурного изменения ТФС диоксида урана.

Литература:

1. Жданов В.С., Бакланов В.В., Саблук В.В. и др. Методика определения теплофизических свойств образцов перспективного топлива для ВВЭР // Доклады Междунар. конф. «Ядерная энергетика Республики Казахстан, Курчатов, 11-13 июня 2008 г.», Курчатов, ИАЭ НЯЦ РК, 2009, с. 150-156.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ВОЛЬФРАМЕ И МОЛИБДЕНЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

Рахадиллов Б.К., Скаков М.К.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Актуальным вопросом, возникающим при реализации проекта термоядерного реактора, является выбор материалов, обращенных к плазме [1]. Выбор конструкционных материалов основывается на результатах изучения процессов, происходящих при взаимодействии плазмы термоядерного реактора с обращенными к ней элементами конструкции [2]. Результатом воздействия плазмы на материал является распыление и испарение материала, изменения структуры и фазового состояния материала, образование на поверхности новых химических соединений и т.д. Таким образом, изучение процессов, происходящих при взаимодействии плазмы с материалами, представляет научный и практический интерес, как для исследований в области физики плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза, так и с точки зрения изучения элементарных физических процессов, происходящих при воздействии на поверхность твердого тела потоков корпускулярных излучений, при которых активируются радиационно-стимулированные эффекты [3].

В связи с этим, целью настоящей работы было изучение структурных изменений вольфрама и молибдена при воздействии водородной плазмы.

В соответствии с поставленными задачами в качестве объекта исследования был выбран поликристаллический вольфрам марки СВИ-1 и молибден марки МЧ. Образцы для испытания были вырезаны на электроэрозионном станке в виде цилиндра диаметром 10 мм и высотой 5 мм. Перед проведением эксперимента облучаемая поверхность образцов были подготовлены путем шлифования и полирования. Основные параметры облучения: мощность первичного пучка 2,5 кВт, потенциал на мишени – 1600 В, рабочий газ – водород, давление газа в режиме плазменно-пучкового разряда составило $2-5 \times 10^{-4}$ Тор, время облучения – 60 мин. Максимальная температура, до которой нагревались образцы в ходе облучения, не превышала 1000°C. Исследование структуры вольфрамового образца до испытания проводили при помощи оптического микроскопа OLIMPUS BX41M и растрового электронного микроскопа JSM-6390, оснащенного приставкой энергодисперсионного анализа.

В результате взаимодействия с дейтериевой плазмой произошло структурные изменения поверхности вольфрама и молибдена. После облучения вольфрама и молибдена наблюдается изменение рельефа поверхности. На поверхности также обнаружены распыленные участки, образованные за счет бомбардировки ионами водорода.

Топография облученной поверхности вольфрама свидетельствует о ее сильной эрозии. Видно, что в результате облучения вольфрама стационарной плазмой в теле зерна проявляются ямки травления размером 100-500 нм, как результат вытравливания поверхности в процессе облучения. Помимо этого в поверхностном слое образовались микротрещины и поры. В частности при облучении при ускоряющем потенциале 1600 В образуется большое количество мелких пор размерами 0,2-1,0 мкм. Также после облучения на поверхности вольфрама присутствуют мелкие темные пятна. Рентгеноспектральный микроанализ структуры этих пятен показывает, что они представляют собой ямки, обогащенные углеродом, образующихся в результате воздействия плазмы. Также анализ показал, что по границам зерен накапливался углерод.

После воздействия водородной плазмы на поверхности молибдена то же наблюдаются структурные изменения. На поверхности обнаружена большое количество ямок травления размерами 1-5 мкм и не обнаружены дефекты виде трещин и пор. Рентгеноспектральный микроанализ показал наличие углерода в этих ямках.

Причиной обнаруженных структурных изменений в вольфраме и молибдене, по-видимому, являются механические напряжения в решетке вольфрама, вызванные имплантированным водородом.

Литература:

1. A. Makhankov, V. Varabash, I. Mazul, D. Youchison. Performance of the Different Tungsten Grades under Fusion Relevant Power Loads, *Journal of Nuclear Materials*, 290-293 (2001), pp 117-1122.
2. Э.А. Азизов, Е.П. Велихов, И.Л. Тажибаева и др. Казахстанский материаловедческий токамак КТМ и вопросы управляемого термоядерного синтеза / Под ред. акад. Е.П. Велихова. Алматы, 2006 г. 236 с.
3. Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 184 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ В РЕАКТОРНОМ ЗДАНИИ ОТ РЕАКТОРА ВВР-К

Садиев Н.О.¹, Оскомов В.В.¹, Седов А.Н.¹, Буртебаев Н.Т.², Каликулов О.А.¹,
Ережеп Н.О.¹, Кенжина И.Е.¹, Мендибаев К.О.¹, Искаков Б.А.¹

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

² *РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан*

Для проведения экспериментов по изучению нейтронных потоков от реактора ВВР-К, была модернизирована система сбора нейтронных потоков (ССНП).

В ССНП использованы оригинальные схемные решения, позволяющие добиться снижения потребляемой мощности. Частотная характеристика была оптимизирована с целью получения максимального отношения сигнал/шум. Разработано оригинальное программное обеспечение для микроконтроллера ССНП. Отработаны методика и режимы работы микроконтроллера для реализации задачи непрерывного измерения амплитуды сигнала на выходе усилителя и отправки данных на компьютер. А также реализована функция управления источником высокого напряжения для нейтронного детектора.

Для регистрации нейтронов использовались детекторы тепловых нейтронов, окруженные водородосодержащими веществами.

В результате исследования потока нейтронов в реакторном здании при помощи нейтронных детекторов с новой системой сбора данных и с использованием различных замедлителей, были получены спектры нейтронов.

COLOR CENTERS IN γ -IRRADIATED HfO₂ BASED CRYSTALS

M.Z. Amonov, I. Nuritdinov, M.M. Ziyadullayev

Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences RU, Tashkent
e-mail: amonov@inp.uz

Spectra induced by $10^6 - 5 \cdot 10^6$ R dose γ -irradiation were studied for 300 K absorption in nonactivated crystals based on HfO₂, TR₂O₃ (TR₂O₃ - Yb₂O₃, Eu₂O₃). In nonactivated crystals (apart from crystals stabilized by Yb₂O₃, Eu₂O₃) one can observe wide structureless band at 270-700 nm. Irradiation with dose of $6 \cdot 10^4$ R at the temperature of 77 K leads to blackening of these crystals, caused by additional absorption band with maximum at 400-420 nm, which points on a large number of charge free carrier trapping centers in them. It is most probable that those can be primarily oxygen vacancies existing in the crystals in large amounts.

Dependence of γ -induced absorption at 400 nm wavelength on concentration of introduced stabilizer was studied. One can see that the concentration of γ -induced color centers increases with concentration of stabilizing impurity.

Study of absorption spectra of HfO₂ (ZrO₂) based crystals stabilized by YbO₂ and Eu₂O₃ demonstrated that the number of defects determined by UV absorption in these crystals is much higher than in those stabilized by other TR³⁺ ions, and absorption edge is significantly shifted to the long wavelength region of spectrum. Under γ -irradiation at the temperature of 77 K, the color of stabilized crystals at the same radiation doses is paler, than that of nonactivated crystals. Such reduction in absorption is caused by the fact that Yb and Eu ions are electron trapping centers in crystals competing with electron trapping centers of the crystalline host.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПАРООБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕГРЕВА ПАРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК

Сураев А.С.¹, Котов В.М.², Скаков М.К.², Батырбеков Э.Г.³, Виелеба В.К.⁴

¹ Государственный университет им. Шакарима города Семей, Семей, Казахстан

² Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

³ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», г. Курчатова, Казахстан

⁴ Вроцлавский технологический университет, Вроцлав, Польша

Актуальность работы заключается в необходимости повышения КПД АЭС за счет улучшения нейтронно-физических, теплофизических характеристик оборудования и снижения капитальных затрат на строительство. Объектом исследования является газоохлаждаемый реактор с водным замедлителем и циклом Ренкина [1]. В работе рассмотрены теплообменные аппараты АЭС на основе газоохлаждаемого реактора, а именно – использование тонкостенных теплообменных трубок в условиях интенсивного перегрева пара.

Как известно, на АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 имеется четыре горизонтальных парогенератора ПГВ мощностью 800 МВт каждый. Однако в схеме АЭС с газоохлаждаемым реактором – пять теплообменных аппаратов (подогреватель, парогенератор, три пароперегревателя), которые имеют разную мощность и назначение. В работе [2] показаны основные характеристики и преимущества предлагаемой схемы АЭС на основе газоохлаждаемого реактора. К отличительным особенностям этой схемы можно отнести: использование энергии замедления нейтронов и утечек тепла в замедлитель для подогрева питательной воды; высокую степень сухости пара, которая достигается за счет перегрева пара на 130–212 °С, высокий КПД – не менее 46%; малую металлоемкость и т.д. Перегрев пара происходит в трех пароперегревателях, и необходим для приведения параметров пара к начальным перед каждой ступенью турбины.

Еще одной особенностью схемы является применение тонкостенных теплообменных труб, толщина стенки и внутренний диаметр которых значительно меньше используемых сегодня. Такой подход позволит уменьшить требуемую площадь теплообмена, снизить металлоемкость и массу теплообменных аппаратов, а значит и их стоимость. Эксплуатация теплообменных трубок сопряжена с определенными сложностями, такими как: коррозия, вследствие нарушения водно-химического режима; вибрационный износ по причине высоких скоростей теплоносителя; растрескивание в местах заделки труб в трубные решетки; накопление отложений; разрыв и т.д. [3]. Однако влияние интенсивного парообразования и перегрева пара на тонкостенные теплообменные трубки не изучено. Кроме того использование газового теплоносителя также накладывает дополнительные требования к работоспособности трубного пучка. Например, если в парогенераторах ПГВ допускается течь теплоносителя первого контура во второй, то в теплообменниках газоохлаждаемого реактора это недопустимо.

Таким образом, целью планируемых экспериментальных работ является исследование возможности применения тонкостенных теплообменных трубок для теплообменных аппаратов газоохлаждаемого реактора. Для этого разработана методика проведения эксперимента и схема экспериментальной установки. В результате будут получены экспериментальные данные, на основе которых будут выпущены рекомендации по использованию тонкостенных трубок в теплообменниках газоохлаждаемого реактора.

Литература:

1. Котов В.М., Витюк Г.А., Сураев А.С. Возможности газоохлаждаемых реакторов с водным замедлителем / Атомная энергия. – 2014. – Т.116. – Вып. 1. – С. 6-10.
2. Котов В.М., Сураев А.С. Расчет характеристик газоохлаждаемого реактора с водным замедлителем / Вестник НЯЦ РК – 2014. – Вып. 3, – С. 87-93.
3. Лукаевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г. и др. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций, ИКЦ “Академкнига”, Москва, 2004 – 391 с.

**УЧЕТ «МЕРТВОГО» ВРЕМЕНИ НЕЙТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
КАНАЛОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛНА-БУСТЕР» МЕТОДОМ ПРЕРЫВАНИЯ
ИОННОГО ПУЧКА ГЕНЕРАТОРА НЕЙТРОНОВ
(МЕТОД СТРЕЛЯЮЩЕГО ИСТОЧНИКА)**

Бурнос В.В., Киевицкая А.И., Фоков Ю.Г.

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны, г. Минск, Беларусь

В дополнение к традиционным методам оценки мертвого времени в работе предлагаются два альтернативных метода определения мертвого времени детектора.

Первый может быть применен с источником переменной интенсивности, такими, как управляемые ускорителем нейтронные источники. Этот метод состоит в изучении отношения между скоростью счета детектора и интенсивностью источника как следствие присутствия мертвого времени. Этот метод можно применить, используя второй детектор с низкой эффективностью вместо измерения интенсивности источника.

Вторая вариация этого метода, который не требует ни второго детектора нейтронов, ни знания интенсивности источника основана на использовании для определения реактивности системы метода стреляющего источника.

Второй метод можно применять, если система сбора данных регистрирует времена отдельных событий вместо средней интенсивности излучения. Таким образом, может быть получено распределение интервалов между регистрируемыми событиями. Из этого может быть получено значение мертвого времени. Преимущество этого метода – не требуется дополнительный нейтронный детектор и используется только один источник излучения. Кроме того, этот метод, в принципе, способен к определению типа потери времени.

Установлено, что нейтроны, производимые в мишени в результате испарения, не следуют статистике Пуассона.

Найдено выражение, которое связывает умножение нейтронов в мишени, интервал измерения и величину мертвого времени. Это выражение позволяет размещать нейтронные детекторы в тех местах, где относительная погрешность минимальна.

**EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON ELECTROPHYSICAL
AND PHOTOELECTRIC PARAMETERS OF DOUBLE-BARRIER
STRUCTURE BASED ON SILICON**

F.P. Abasov, Yu.M. Mustafaev

*Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences
AZ 1143, Baku, ul. F.Agaeva 9*

Developed a silicon-based photodetector with high sensitivity integrated in the short range. The influence of gamma radiation on the mechanism of current flow in the structure type Schottky barrier, and the $p-n$ junctions. It is shown that the double-barrier structure can improve the photoelectric parameters of conventional detectors.

ПРАКТИКА И ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Черемисин П.И., Трошев А.В., Заритовский С.М., Кишкин С.А., Колпаков А.Н.

АО «ЭКОМЕТ-С», Россия, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

Наиболее целесообразным подходом при решении проблемы обращения с металлическими РАО является их переработка с целью уменьшения объема РАО, подлежащих захоронению, и рециклинга металла.

Мировая практика показывает, что оптимальным решением проблемы рециклинга является применение на заключительной стадии переработки металлических РАО метода переплавки с получением шихтовых слитков металла, которые в качестве вторичного сырья направляются на металлургические предприятия.

Необходимость применения предварительной переплавки прошедших дезактивацию металлических РАО связана с тем, что металлические отходы, которые по остаточному содержанию в них радиоактивных веществ снимаются с радиационного контроля, при их переплавке на металлургических предприятиях могут являться источником образования вторичных РАО в виде шлаков и пыли за счет концентрирования в них отдельных радионуклидов. Такие радионуклиды, как стронций-90, цирконий-95, цезий-137, церий-144, уран-235, 238, плутоний-239, 241 в процессе переплавки практически полностью переходят в шлак. В результате переплавки в шлаке, объем которого составляет 2-3% от объема металла, происходит значительное концентрирование радионуклидов, что и приводит к образованию вторичных РАО. Значительные концентрации радионуклидов цезия наблюдаются в пыли, образующейся при переплавке прошедших дезактивацию металлических РАО. Как показали эксперименты, в процессе плавления в газовую фазу переходит от 10 до 99% присутствующего на поверхности металла цезия, который конденсируется на частицах пыли и попадает в систему вентиляции. Удельная активность этой пыли, может превышать уровни, соответствующие критериям отнесения к РАО.

Таким образом, в отдельных случаях при переплавке прошедших дезактивацию металлических отходов и уже не относящихся к категории РАО, могут образовываться вторичные РАО в виде шлака и пыли. Это может привести к радиоактивному загрязнению футеровки промышленных печей и оборудования систем вентиляции. Следовательно, для того, чтобы предотвратить нежелательное образование вторичных РАО при переплавке металлических отходов с объектов ядерной энергетики и атомной промышленности в условиях металлургических предприятий, их необходимо дезактивировать по отдельным радионуклидам до практически «нулевых» уровней остаточной загрязненности, что технически трудно выполнимо и требует больших затрат. Радиометрический контроль металла с таким низким уровнем радиоактивности также вызывает серьезные затруднения.

Поэтому оптимальным решением проблемы утилизации является использование на заключительной стадии переработки металлических РАО метода переплавки в индукционных печах с получением в качестве конечной продукции слитков металла.

Слитки металла, направляемые на повторное использование, являются экологически безопасными при их любой последующей переработке. Кроме того, благодаря глубокому удалению из металла при переплавке таких долгоживущих радионуклидов, как цезий, стронций, уран и плутоний, резко сокращается время необходимой выдержки некондиционных слитков, загрязненность которых, особенно, при переработке отходов с АЭС, определяется, в основном, кобальтом-60.

Использование технологии переплавки прошедших дезактивацию металлических РАО имеет следующие основные преимущества:

- обеспечивает выполнение требований нормативных документов по контролю за наличием и уровнем нефиксированного (снимаемого) радиоактивного загрязнения поверхности материалов и изделий, предназначенных для использования в хозяйственной деятельности;
- позволяет удалить бета- и альфа- активные радионуклиды (стронций, уран, плутоний, америций), радиометрический контроль которых затруднен и практически не выполним в труднодоступных местах, с металлических отходов в контролируемых условиях;
- позволяет исключить попадание металлического лома, загрязненного бета- и альфа- активными радионуклидами, на металлургические предприятия;
- позволяет исключить загрязнение вентиляционных систем металлургических предприятий легколетучими бета- и альфа- активными радионуклидами;
- позволяет исключить образование РАО в условиях металлургических предприятий;

– позволяет получать в качестве конечной продукции шихтовые слитки металла с равномерным распределением оставшихся радионуклидов по всему объему, что существенно упрощает и повышает надежность радиометрического контроля;

– шихтовые слитки, передаваемые на повторное использование в качестве вторичного сырья, имеют более высокую стоимость по сравнению со стоимостью металлического лома в любом другом виде.

В целом, применение переплавки на заключительной стадии обращения с металлическими РАО обеспечивает:

– возврат металла в промышленность для повторного неограниченного использования в виде шихтовых слитков, которые являются экологически безопасными при их любой последующей переработке;

– повышение уровня радиоэкологической безопасности на всех стадиях обращения с металлическими РАО, вторичными ТРО и металлом, направляемым на повторное использование;

– значительное сокращение объемов ТРО (в 20-80 раз), направляемых на долговременное хранение/захоронение (количество вторичных РАО – 3-10% от исходного количества перерабатываемых металлических РАО) и позволяет практически исключить необходимость долговременного хранения/захоронения металлических РАО, накопленных и образующихся на объектах атомной энергетики и промышленности.

Целесообразность и перспективность этого направления подтверждается тем, что переплавка металлических РАО в качестве основной технологической стадии при обращении с ними используется практически всеми специализированными предприятиями стран с развитой ядерной энергетикой (Siempelcamp, Германия, (начало работ 1989 г.); Studsvik, Швеция (начало работ 1987 г.); BNFL, Великобритания (начало работ 1994 г.); Duratek Inc., США (начало работ 1991 г.).

Основанная на рециклинге металла концепция обращения с металлическими РАО, накопленными и образующимися в РФ, была разработана АО «ЭКОМЕТ-С» (начало работ 1994 г.). Используемая предприятием технология переработки, включающая переплавку, позволяет вернуть большую часть металла в промышленность для неограниченного повторного использования. Для реализации данной концепции имеются все необходимые условия, включая нормативную базу (ГОСТ Р, методика контроля слитков металла); производственные мощности; сертифицированные транспортные контейнеры.

Имеющаяся практика переработки «ЭКОМЕТ-С» более 25 тыс. тонн металлических РАО показала высокую эффективность применяемой технологии и подтвердила, что оптимальным и экологически обоснованным в настоящее время способом, обеспечивающим рециклинг металла с объектов использования атомной энергии, является использование на заключительной стадии обращения с металлическими методами переплавки.

Основные проблемы рециклинга металла при его возврате без предварительной переплавки, связаны в настоящее время с практическим отсутствием аттестованных методик, позволяющих с достаточной степенью достоверности контролировать допустимые уровни поверхностной альфа-, бета-загрязненности в труднодоступных местах отходов сложной геометрической формы и при их размещении навалом. Массовый рециклинг металлических РАО без предварительной переплавки может привести к образованию РАО на металлургических предприятиях и соответствующим неблагоприятным радиоэкологическим последствиям.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ИСПЫТАНИЙ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО УСТРОЙСТВА

Адилбеков С.А., Мухамедов Н.Е., Пахниц А.В., Витюк В.А.,
Иркимбеков Р.А., Мурзагалиева А.А.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

Одной из важнейших задач атомной энергетики является обеспечение безопасной эксплуатации ядерных установок в различных режимах работы, в том числе при возникновении аварийных ситуаций, способных привести к тяжелым повреждениям активной зоны и разрушению защитных барьеров. В этой связи важным условием безопасного развития атомной энергетики является реализация научно-исследовательских программ по изучению процессов, протекающих в активной зоне реактора в ходе развития тяжелой аварии. Наиболее информативные данные о возможных последствиях тяжелых аварий энергетических реакторов, вызванных различными исходными событиями могут быть получены в условиях экспериментов в исследовательских реакторах, позволяющих обеспечить максимально приближенное к реальным условиям моделирование таких процессов. Такие исследования позволяют получить комплекс экспериментальных данных для разработки и верификации расчетных методик определения параметров тяжелых аварий при обосновании безопасности реакторных установок АЭС [1].

В рамках программы по исследованию тяжелых аварий энергетических реакторов с плавлением активной зоны в ИАЭ НЯЦ РК была разработана и изготовлена серия экспериментальных устройств и проведены их испытания на реакторе ИГР в целях изучения закономерностей плавления и перемещения расплава топлива ТВС, его взаимодействия с элементами конструкционных материалов и теплоносителем. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью получения однозначного ответа о возможности выведения расплава топлива из активной зоны в безопасные области внутри корпуса реактора с учетом конструктивных особенностей активной зоны.

В работе представлены основные результаты расчетных исследований по обоснованию режимов испытаний, а именно по определению диаграммы энерговыделения в топливе ТВС экспериментального устройства, предназначенного для исследования влияния расходозадающего устройства потока натрия, установленного в имитаторе направляющей трубы стержня регулирования, на параметры течения расплавленных материалов активной зоны реактора на быстрых нейтронах.

Основным элементом внутриреакторного экспериментального устройства является испытательная секция, в которой размещается графитовый стакан с модельной ТВС, внутренняя труба, по которой будет перемещаться расплав, и имитатор расходозадающего устройства.

Расчет теплового состояния чехла ТВС при реализации выбранной диаграммы (рисунок 1) выполнен с использованием четырех расчетных моделей созданных в программном комплексе ANSYS [2], характеризующих четыре основные конфигурации элементов чехла ТВС в процессе эксперимента. При проведении расчета предполагалось, что изменение конфигурации элементов чехла ТВС происходит мгновенно, при этом начальное распределение температуры в элементах чехла ТВС в каждой последующей модели определялось исходя из соответствующего распределения на момент окончания расчета с использованием предыдущей модели. Теплопередача в элементах конструкции осуществляется за счет теплопроводности и лучистого теплообмена. Объемное распределение энерговыделения в топливе определялось по результатам проведенных нейтронно-физических расчетов

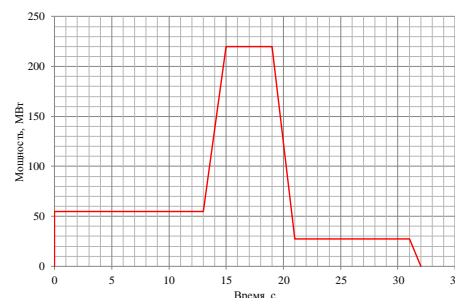


Рис. 1. Планируемая диаграмма изменения мощности ИГР в эксперименте

По результатам расчетных исследований, проведенных в рамках настоящей работы, были определены режимы испытаний для внутриреакторного устройства. Реализация расчетных диаграмм позволила достичь главной цели испытаний – исследование влияния расходозадающего устройства потока натрия, установленного в имитаторе направляющей трубы стержня регулирования, на параметры течения расплавленных материалов активной зоны реактора на быстрых нейтронах. Полученные экспериментальные результаты позволят улучшить представление о последовательности событий, сопровождающих тяжелые аварии с плавлением активной зоны реактора на быстрых нейтронах.

Литература:

1. Васильев Ю.С., Вурим А.Д., Колодешников А.А. и др. Исследование процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны. – В кн. «Экспериментальные исследования в области безопасности атомной энергетики», ч. 1, Курчатов, НЯЦ РК, 2010, с. 225-263.
2. ANSYS release 14.5 Documentation for ANSYS WORKBENCH [Электронный ресурс]: ANSYS Inc. — Электрон. дан. и прогр. — [Б. м.], 2014.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАФИТА IG-110 С ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ГАЗАМИ

Аскербек *С.К.*¹, Кульсартов *Т.В.*^{1,2}, Чихрай *Е.В.*¹, Кенжина *И.Е.*¹, Шестаков *В.П.*¹, Гордиенко *Ю.Н.*², Понкратов *Ю.В.*², Миниязов *А.Ж.*², Кукушкин *И.М.*²

¹ НИИ «Экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби», г. Алматы, Казахстан

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

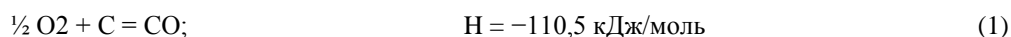
Работа посвящена актуальной проблеме исследования коррозии реакторных графитов. На сегодняшний день появились новые марки реакторных графитов, превосходящие существующие по качеству и безопасности. Поэтому исследование и испытание реакторных графитов новых марок, в особенности исследование их взаимодействия с химическими активными газами (воздух, вода), остается одной из актуальных и приоритетных задач прикладного материаловедения. Это особенно актуально для реакторов ВТГР (высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов), в которых графит присутствует в больших количествах. В настоящей работе приведены результаты экспериментов по моделированию случая аварий с попаданием атмосферных газов, паров воды в активную зону реактора, где в частности находится графит, который в этих условиях окисляется, теряя свои свойства.

В работе приводится схема созданной установки для проведения эксперимента коррозии графитовых образцов с химически активными газами при температуре до 1600 °С и давлении газа до 100 кПа.

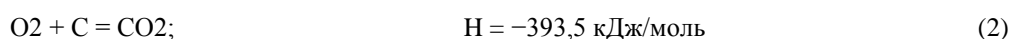
В эксперименте используется высокотемпературная вакуумная трубчатая печь GSL-1600 на базе алундовой трубки (длиной 1000 мм, наружным диаметром 50 мм и внутренним диаметром 40 мм) и образец графита (цилиндр длиной 50 мм и диаметром 5 мм). Образец размещается в центре зоны нагрева печи. Для исследования коррозии графита, в камеру с образцом организовывались напуски смеси паров воды и атмосферных газов (кислород, азот).

В ходе проведенных исследований были получены зависимости изменения состава газа в камере при напуске газовой смеси на различных температурах образца графита. Предложена феноменологическая модель, описывающая процессы высокотемпературной коррозии графита. В частности были учтены следующие процессы и реакции:

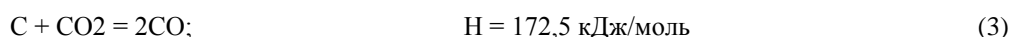
1. Окисление графита в атмосфере кислорода:



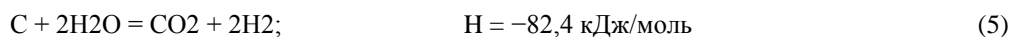
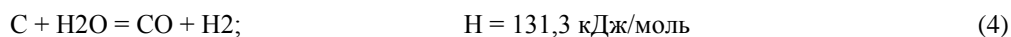
где H – стандартная энтальпия



2. Реакции графита с CO_2 :



3. Реакции графита с водой:



Модель позволяет получить численное значение констант взаимодействия и скоростей реакций и их температурные зависимости.

РАСЧЕТ ЭВОЛЮЦИИ ПЫЛИНОК В ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЕ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Бастыкова Н.Х.¹, Коданова С.К.¹, Рамазанов Т.С.¹, Майоров С.А.²

¹ НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

² Институт общей физики РАН, г. Москва, Россия

Исследования влияния пыли в установках управляемого термоядерного синтеза стали важным направлением при реализации крупномасштабных экспериментов с термоядерной плазмой. Определение механизмов образования пыли, исследование взаимодействия пылинок с плазмой и поверхностью реактора, моделирование переноса пылинок и оценка их влияния на характеристики реактора и безопасности термоядерных установок – все эти вопросы занимают большое место в исследованиях современных проблем управляемого термоядерного синтеза [1-3].

В данной работе исследованы влияния магнитного поля на заряд пылинок, а также динамика и время жизни пылинки в пристеночной плазме дивертора. Магнитное поле может оказывать значительное влияние на процессы зарядки пылинок в диверторной плазме. Перенос пылинок, их испарение во многом определяет состав пристеночной плазмы, и соответственно, ее транспортные характеристики.

В первых работах [4, 5] заряд пылинок с учетом магнитного поля рассчитывался в приближении ограниченных орбит (OML). В настоящей работе заряд пылинки определялся методом частиц в ячейках, кроме того методом Монте Карло проводился учет столкновений ионов с атомами. Были рассчитаны характеристики зарядки пылинок с радиусом $0,5; 1; 2 \mu\text{m}$ при значениях магнитного поля в диапазоне $B=10\div 10^5 \text{ Гс}$. В результате этих расчетов получены зависимости заряда пылинки и потоков частиц плазмы на ее поверхность. Эти данные необходимы для моделирования динамики и времени жизни пылинки.

Для характерных параметров плазмы в диверторе [6] исследовалась эволюция образовавшихся на поверхности стенки дивертора пылинок. Для этого решаются уравнения ее движения в заданных электрических и магнитных полях, уравнения баланса массы и энергии. В результате этих расчетов определяются температура и радиус пылинки, как функции времени. На основе этих расчетов получены оценки времени жизни и пути пылинки пристеночной плазме дивертора.

Литература:

1. J. Winter // Physics of Plasmas 7, 3862 (2000)
2. A.Yu. Pigarov, S.I. Krashenninnikov and et al. // Physics of Plasmas 12, 122508 (2005)
3. L. Vignitchouk, P. Tolia and S. Ratynskaia // Plasma Phys. Control. Fusion, 56, 095005 (2014)
4. V.N. Tsytoovich, N. Sato, G.E. Morfill // New Journal of Phys. 5, 43.1-43.9 (2003)
5. Y. Tomita, G. Kawamura, T. Yamada, O. Ishihara // J. Plasma Fusion Ser. 8, 273-276 (2009)
6. F. Taccogna, R. Schneider, K. Matyash, S. Longo, M. Capitelli, D. Tskhakaya // Contrib. Plasma Phys. 48, 147-152 (2008)

МОДЕЛЬ ДЕГРАДАЦИИ ЛАВООБРАЗНЫХ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Габелков С.В., Ключников А.А., Пархомчук П.Е., Чемерской Г.Ф.

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, г. Чернобыль, Украина

Лавообразные топливосодержащие материалы (ЛТСМ) определяют ядерную, радиационную и экологическую безопасность объекта «Укрытие». Это обусловлено тем, что они содержат основную часть радионуклидов вышедшего из-под контроля ядерного реактора 4-го блока Чернобыльской АЭС. За 29 лет после аварии достаточно полно изучены кристаллические включения и силикатная стекломатрица ЛТСМ. Получены данные по фазовому составу, содержанию и размерам включений, элементному составу стеклофазы, содержанию урана во включениях и стеклофазе и параметрам открытой пористости материалов.

Исследования, проведенные в последние несколько лет [1, 2], показали, что помимо газовых пор и трещин, поровое пространство ЛТСМ содержит и наноразмерные поровые каналы с диаметром в несколько десятков нанометров. Показано, что именно наноканалы обеспечили формирование открытой пористости материала,

соединив газовые поры между собой и с внешней средой. Наноразмерные поровые каналы в ЛТСМ являются результатом накопления радиационных дефектов. Основной механизм их формирования – взаимодействие с материалом α -частиц, образовавшихся при α -распаде радионуклидов. Наноразмерные поровые каналы являются элементом структуры ЛТСМ, характерным только для материалов, содержащих радионуклиды и продукты активации. Именно они определяют формирование структуры, а также, и её эволюцию, и физико-механические свойства материалов.

Основываясь на новых знаниях, мы можем выделить стадии эволюции структуры ЛТСМ, определить их последовательность и оценить их продолжительности. Изложим модель деградации ЛТСМ.

В первые месяцы после аварии в силикатной стекломатрице находились кристаллические включения оксидов урана, уран-циркониевой фазы, чернобылита и др., которые сформировались в результате разрушения таблеток ядерного топлива, взаимодействия оксида урана с цирконием, взаимодействия силикатного расплава с оксидом урана и цирконием, соответственно. В материале имелись округлые поры, сформировавшиеся за счет уменьшения растворимости газов в силикатном расплаве при охлаждении.

В ЛТСМ проходило формирование треков от α -частиц. С течением времени их становилось все больше. Через несколько лет, возможно, после превышения некоторой пороговой концентрации α -треков, часть из них стали соединяться и образовывать каркас открытых поровых наноразмерных каналов.

В результате воздух получил возможность проникнуть во внутрь ЛТСМ по наноканалам до включений оксида урана. При температурах окружающей среды в течении нескольких лет проходило окисление оксида урана UO_2 до U_3O_8 и, возможно, до UO_3 . Увеличению объема кристаллических включений оксидов урана за счет изменения их фазового состава привело к формированию трещин в материале, еще одной составляющей порового пространства ЛТСМ. Толщина трещин составляла несколько микрон.

Вода объекте «Укрытие» получила возможность проникать по трещинам вовнутрь ЛТСМ и взаимодействовать с включениями оксидов урана. Это приводило к формированию различных гидроксидов и карбонатов и в итоге, к вымыванию урана, продуктов деления и активации из ЛТСМ в грунт и грунтовые воды.

Предложенная модель позволяет сделать прогноз поведения ЛТСМ в будущем. Объем наноканалов будет увеличиваться. Формирование трещин прекратится после полного окисления оксидов урана. ЛТСМ будут представлять собой материал, пронизанный трещинами с толщиной 2-3 мкм и длиной до 100-150 мкм. С течением времени при воздействии окружающей среды и/или при механическом нагружении в результате их перемещения, ЛТСМ будут разрушаться на частицы стеклофазы с размерами 300-500 мкм, выколотые из них несколькими трещинами, и малые частицы оксидов урана с размерами 5-15 мкм. Последние будут представлять собой легко разрушающиеся агломераты из наноразмерных (5-50 нм) частиц оксидов урана.

Предложена модель деградации ЛТСМ объекта «Укрытие». Деградацию ЛТСМ проходит по стадиям: формирование каркаса открытых поровых наноразмерных каналов, окисление включений оксидов урана, формирование трещин и взаимодействие воды с оксидами урана. В ближайшие 10-20 лет существенная часть ЛТСМ будут представлять собой совокупность частиц стеклофазы (300-500 мкм) и оксидов урана (5-15 мкм) с возможностью разрушения последних до наноразмерного (5-50 нм) порошка.

Литература:

1. Габелков С.В., Ключников А.А., Олейник Е.Е. и др. Наноразмерные поровые каналы как составляющая порового пространства лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» / Проблемы безопасности атомных станций и Чернобиля. – 2014. – вып. 22. – С. 70 - 75.
2. Габелков С.В., Ключников А.А., Пархомчук П.Е., Чемерский Г.Ф. Природа формирования наноразмерных поровых каналов лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие», Вопросы атомной науки и техники – 2015. – № 2(96). сер. ФРП и РМ (105). – С. 77 - 83.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБОЛОЧКАХ ОТРАБОТАВШИХ ТВЭЛОВ И ТВС В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ОЯТ РЕАКТОРА БН-350

Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Республика Казахстан

Целью настоящего анализа является оценка времени безопасного сухого хранения элементов оболочек отработанного топлива, в частности, сохранность оболочки твэла в зависимости от времени.

Механизм разрушения оболочки ТВЭЛа следующий: под действием напряжений, инициированных остаточным давлением газа, происходит монотонный рост максимального напряжения и относительной деформации, которые могут превысить критические значения со временем. По оценкам, остаточное давление газа в оболочке твэла составляет порядка 0.2-0.4 МПа, температура оболочки порядка 673-773 К.

В настоящей работе оценка времени безопасного хранения топлива проведена на основе дислокационной модели ползучести. Предполагается, что в условиях напряженного состояния направленное движение ансамбля дислокаций определяет скорость ползучести. Скорость перемещения линии дислокации обусловлена поглощением точечных дефектов и направлением вектора Бюргерса по отношению к приложенному напряжению. Анализируемые облучённые стали характеризуются дефектной структурой (поры, дислокационные петли, выделения фаз), которые являются стопорами для скользящих дислокаций. Время записания на препятствиях определяется, в частности, размером структурного дефекта, например, диаметром поры. Расчёты деформации ползучести основаны на использовании ряда параметров, таких как коэффициенты диффузии вакансий, междоузельных атомов, их равновесные концентрации, численные значения которых выбираются в значительной степени произвольно. Расчёты скорости ползучести в данной работе выполнялись с общепринятыми в радиационной физике значениями этих параметров.

В расчетах учитывались следующие ансамбли дефектов-стопоров: сетка дислокаций, междоузельные петли Франка, газовые поры. Параметры дефектной структуры взяты типичными для облучённых сталей до доз ~20-40 сна. В процессе температурного отжига в условиях длительного хранения происходит эволюция дефектной структуры и, соответственно, изменение скорости ползучести. В расчетах учитывались отжиг дислокационной сетки вследствие аннигиляции дислокаций противоположного знака; кинетика ансамбля пор, обусловленная броуновским движением и дрейфом в поле напряжений; эволюция петель Франка. С учетом этих процессов основное выражение для скорости ползучести $\epsilon_{,t}$ при одноосной растягивающей имеет вид:

$$\epsilon_{,t} = \epsilon_{0,t} \cdot (1 + (C_p \cdot d_p + C_L \cdot d_L + \rho) / (C_p \cdot d_p^2 + C_L \cdot d_L^2 + \rho \cdot d_D)^2),$$

где $\epsilon_{0,t}$ – скорость ползучести обусловленная только переползанием дислокаций, C_p, C_L, ρ – плотности пор, петля, сетки дислокаций; $d_p, d_L, d_D = 4b$ – эффективный диаметр, поры, петли, дислокации, соответственно, b – вектор Бюргерса. Результаты расчётов скорости ползучести удовлетворительно совпали с экспериментальными результатами, полученными для образцов чехлов отработавших ТВС из стали 12X18H10T [1]. Зависимость скорости ползучести в виде приведенного выше соотношения соответствует одноосному растяжению. Для расчета напряжений в стенке цилиндра (оболочка твэла) необходимо перейти к тензорному представлению для анализа сложнапряжённого состояния. Для тензора скорости относительной ползучести $\epsilon_{,t}$ получено следующее выражение для относительной скорости ползучести $\epsilon_{,t}(\text{год}^{-1})$:

$$\epsilon_{,t} = \exp(30.4590 - 1.16 \cdot e^4 \cdot 2.1189/T) \cdot \{0.98812 \cdot (p/10) - 0.021797\}.$$

Выполненные расчеты напряжений и относительной деформации оболочки твэла при остаточном давлении газа в оболочке порядка 0.2-0.4 МПа и температуре ~673-773 К для периода времени $t=50-100$ лет показывают, что они не превышает критических значений.

Работа выполнена в рамках Республиканской программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

Литература:

1. Диков А.С., Киреев В.В., Горцев А.П., Кислицин С.Б., Нестерова А.Ю. Ползучесть стали 12X18H10T – материала чехлов отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350 в условиях, моделирующих длительное хранение отработанного ядерного топлива // Вестник НЯЦ РК, вып. 3, 2011, С. 77 - 82.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЯДЕРНО-ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ГАЗОВЫХ СРЕД

Гордиенко Ю.Н.¹, Батырбеков Э.Г.¹, Понкратов Ю.В.¹, Хасенов М.У.²,
Барсуков Н.И.¹, Заурбекова Ж.А.¹, Тулубаев Е.Ю.¹, Кульсартов Т.В.¹

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

² ЧУ «National Laboratory Astana», г. Астана, Казахстан

Исследования ядерно-возбуждаемой люминесценции газовых смесей представляют интерес для решения задач связанных с поиском рабочих газовых сред с высокой эффективностью преобразования ядерной энергии в энергию лазерного или спонтанного излучения. Такие среды могут применяться для вывода энергии из ядерного и термоядерного реакторов в виде оптического излучения, а также для контроля и регулирования параметров реакторов.

Исследования спектров люминесценции газовых сред возбуждаемых продуктами ядерных реакций дают информацию о спектроскопических характеристиках переходов, позволяют выяснить кинетику заселения и «тушения» возбужденных состояний и оценить возможность получения лазерной генерации на отдельных переходах.

Несмотря на то, что изучение спектрально-люминесцентных характеристик газовых сред (на основе инертных газов и их смесей), возбуждаемых ионизирующими излучениями, началось более 50 лет назад, исследования в этом направлении нельзя считать завершенными.

В НЯЦ РК на реакторе ИВГ.1М (г. Курчатов, Казахстан) в настоящее время проводятся работы по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик газовых сред, возбуждаемых продуктами ядерных реакций, с целью отбора газовых смесей с высоким коэффициентом преобразования ядерной энергии в оптическое излучение.

В данной работе описана схема экспериментов по исследованию ядерно-возбуждаемой люминесценции газовых сред в условиях работы стационарного ядерного реактора ИВГ.1М и приведено описание экспериментального стенда и облучательного ампульного устройства, используемых в этих экспериментах.

Работа финансируется Министерством образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта № 2068/ГФ4 (договор № 271 от 12.02.2015).

ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЭЛАХ ТК300 РЕАКТОРА ИВГ.1

Дерявко И.И.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан
e-mail: ilya@nnc.kz

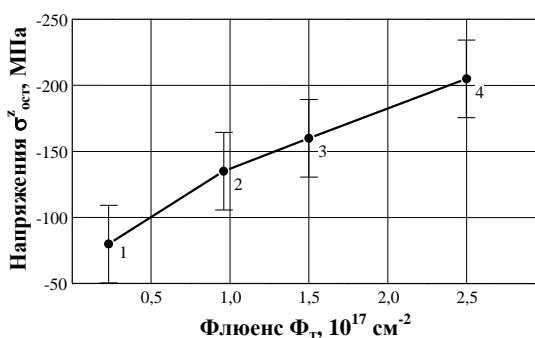
Серия испытаний проточных водородоохлаждаемых технологических каналов ТК300 в составе первой опытной активной зоны реактора ИВГ.1 была выполнена, как известно, в 1975-1976 годах; в трех пусках реактора этой серии (ЭП, ИП-1 и ИП-2) прошли испытания 36 таких каналов. В послереакторных исследованиях каналов ТК-300 было установлено вполне удовлетворительное состояние витых стержневых двухлопастных карбидных твэлов из (Zr,U)C во входных (низкотемпературных) нагревных секциях (НС) восьмисекционных активных блоков ТК высотой 800 мм: отсутствие закруток пучков твэлов в НС, незначительное количество поломок отдельных топливных стержней, отсутствие изменений их массы и значительное повышение исходной прочности (механическими испытаниями облученных твэлов 8 каналов ТК300 методом кручения на базе 90 мм было зафиксировано почти двукратное их упрочнение в первых трех НС).

Причины значительного упрочнения твэлов в каналах ТК300 были найдены (и экспериментально подтверждены) примерно через четыре года после обнаружения этого положительного эффекта. При рентгенографическом исследовании состояния облученных твэлов сначала было замечено, что периоды решетки (a_o)_{пов}, измеренные на поверхностях твэлов, заметно превышают среднемассовые периоды решетки (a_o)_{пор}, измеренных на порошках, изготовленных из твэлов. Затем с использованием прицельной съемки на поверхностях сильно скошенных срезов твэлов были построены кривые изменения периодов решетки исходных и облученных твэлов по их радиальным сечениям $a_o = f(r)$, после сопоставления которых стало ясно, что упрочнение твэлов под облучением связано с образованием на поверхностях топливных стержней сжимающих остаточных напряжений $\sigma_{ост}$.

Действительно, поскольку твэлы входных НС каналов ТК300 облучаются в условиях значительных радиальных перепадов температур (из-за одновременного наличия внутреннего энерговыделения и обдува поверхности холодным водородом), это вызывает неоднородное радиационное распухание материала твэлов по их сечениям: объем поверхностных (более холодных) областей твэлов увеличивается сильнее, чем объем внутренних (более горячих) областей, что и обеспечивает появление сжимающих напряжений $\sigma_{ост}$ на поверхностях твэлов и растягивающих внутри (внутренние области, препятствуя чрезмерному расширению поверхностных областей, создают в них упругие сжатия, а сами при этом оказываются упруго растянутыми).

Для исследования напряжений $\sigma_{ост}$ в твэлах каналов ТК300 был специально разработан рентгенографический способ их измерений на поверхности лопасти витого стержня в осевом направлении (способ базировался на известном двухсъёмочном $\sin^2\psi$ -методе поворотов образца по отношению к падающему рентгеновскому пучку). Для осуществления измерений осевых остаточных напряжений $\sigma_{ост}^z$ этим способом была разработана и изготовлена специальная рентгеновская камера на базе камеры КРОС-1, в которой вместо держателя образца был установлен поворотный узел камеры РКСО, а для фиксации дифракционных линий на одну и ту же пленку (при разных углах наклона образца) использовалась накладка на кассете с пленкой, закрывающая в момент рентгенографирования необходимую (верхнюю или нижнюю) часть пленки.

Результаты выполненных исследований напряжений в твэлах первой НС шести каналов ТК300, прошедших испытания в различных пусках реактора ИВГ.1 и получившие соответственно различные флюенсы тепловых нейтронов, приведены на рис. 1.



- 1 – ТК300 №№22 и 40 (пуск ЭП);
- 2 – ТК300 №27 (пуск ИП-2);
- 3 – ТК300 №05 (пуск ИП-1);
- 4 – ТК300 №№36 и 42 (пуски ЭП, ИП-1, ИП-2).

Рис. 1. Осевые остаточные напряжения $\sigma_{ост}^z$, измеренные на поверхностях лопастей твэлов из НС №1 каналов ТК300, прошедших испытания в реакторе ИВГ.1 в составе первой опытной активной зоны

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА СКОРОСТЬ ПОЛЗУЧЕСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 12X18Н10Т ОБЛУЧЕННОЙ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ В РЕАКТОРЕ БН-350

Диков А.С., Ларионов А.С., Сатпаев Д.О., Кислицин С.Б.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), в частности его долговременное сухое хранение, требует знаний о механических свойствах материалов оболочек ОЯТ. Одним из определяющих механизмов разрушения оболочек ОЯТ является ползучесть материала оболочки под действием напряжений и температуры в период длительного хранения, усугубленная предысторией – нейтронным облучением в период эксплуатации. Для разработки прогнозных моделей для оценок состояния оболочек ОЯТ необходимо знать зависимость скорости ползучести материала оболочек от температуры. В связи с этим, целью настоящих исследований является экспериментальное определение температурной зависимости скорости ползучести нержавеющей стали 12X18Н10Т – конструкционного материала отработавшей тепловыделяющей сборки (ТВС) первого поколения реактора на быстрых нейтронах БН-350. Результаты представленных исследований являются продолжением работ авторов по выявлению остаточного ресурса материалов оболочек отработавших ТВС в условиях, имитирующих длительное хранение ОЯТ [1, 2].

В настоящей работе представлены результаты длительных механических испытаний нержавеющей стали 12X18Н10Т – материала чехла отработавшей экранной ТВС реактора БН-350, выполненные при температурах 350 °С и 450 °С и постоянной нагрузке 100 Н.

Испытания проводились на специально приготовленных образцах размерами 20×2×0.3 мм³ вырезанные из верхней части грани чехла отработавшей ТВС. Условия облучения в период эксплуатации сборки следующие: температура облучения – 400 °С, повреждающая доза ~2-3 сна, скорость набора дозы – 0,5·10⁻⁸ сна/с.

Предварительно, до проведения испытаний на ползучесть, при тех же температурах 350 °С и 450 °С выполнялись испытания на одноосное растяжение с постоянной скоростью деформации 0,5 мм/мин для определения характеристик прочности и пластичности облученной стали.

Испытания на ползучесть при 100 Н и температурах 350 °С так и при 450 °С согласуются с результатами полученными ранее для стали 12X18Н10Т. Показано, что как при температурах 350 °С, так и при 450 °С на диаграмме испытаний присутствуют начальная и установившаяся стадии. На начальной стадии скорость ползучести при 350 °С составила 51·10⁻⁶ мм/мин при длительности стадии 24 ч, на установившейся стадии – 0,1·10⁻⁶ мм/мин. При повышении температуры испытания до 450 °С скорость ползучести на начальной стадии уменьшается до 6,4·10⁻⁷ мм/мин, при этом длительность стадии увеличивается до 96 ч. На установившейся стадии скорость ползучести увеличивается до 2,7·10⁻⁶ мм/мин. Длительность испытания при обеих температурах составила ~1500 часов.

Из проведенных кратковременных испытаний следует, что предел прочности уменьшается на ~25% с повышением температуры испытания на 100 °С, в то же время, испытания на ползучесть показали, что такое же повышение температуры испытаний с 350 °С до 450 °С приводит к увеличению скорости ползучести почти в ~30 раз.

Работа выполнена в рамках Республиканской программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

Литература:

1. Диков А.С., Киреев В.В., Горцев А.П., Кислицин С.Б., Нестерова А.Ю. Ползучесть стали 12X18Н10Т – материала чехлов отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350 в условиях, моделирующих длительное хранение отработавшего ядерного топлива // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 3(47) . – С.77-82.
2. Ларионов А.С., Кислицин С.Б., Диков А.С., Сатпаев Д.А. Исследование физико-механических свойств конструкционной стали 1X13M2БФР, облученной быстрыми нейтронами в реакторе БН-350// Сб. трудов конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в области точных и естественных наук». Новосибирск – 2014 г. – С.28-34.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ВЛИЯНИЯ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ЗОЛОТА НА НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ $(\text{TiZrHfVNbTa})_x\text{N}_{1-x}$

Жоллыбеков Б.Р.¹, Погребняк А.Д.², Y. Takeda³, Ташметов М.Ю.⁴, Якущенко В.²

¹ Каракалпакский государственный университет, 230100, г. Нукус, Узбекистан

² Сумский государственный университет, 40007, г. Сумы, Украина

³ National Institute for Materials Science (NIMS), Ibaraki St. 305-0047 Tsukuba, Japan

⁴ Институт ядерной физики, Академия наук Республики Узбекистан, 100214, г. Ташкент, Узбекистан

В настоящее время интенсивно ведутся исследования по разработке нового класса высокоэнтропийных сплавов (ВЭС). Основной особенностью ВЭС является то, что в них формируется однофазный твердый раствор замещения с гранецентрированной кубической (ГЦК) или объемно центрированной кубической (ОЦК) решеткой. Получение нитрида и карбида из многокомпонентного ВЭС важно для материаловедения, так как такие сплавы характеризуются устойчивостью к окислению, сопротивлению износу, коррозионной стойкостью, высокой твердостью и пластичностью. Актуальной в этой проблеме является выяснение влияния имплантации на характеристики ВЭС, так как она является важным инструментом для управления свойствами сплавов.

Таким образом, целью настоящего исследования является изучение микроструктуры, свойств многокомпонентного наноструктурного покрытия $(\text{Ti, Zr, Hf, Nb, Ta})_x\text{N}_{1-x}$ и влияние на них имплантации отрицательных ионов золота (Au^-). Выбор отрицательных ионов золота в качестве имплантанта основан на том, что большинство элементов исследуемого высокоэнтропийного покрытия (Ti, Zr, Hf, Nb, Ta) не образуют с золотом интерметаллидных фаз.

Покрытия получены методом вакуумно-дугового осаждения при испарении мишени из высокоэнтропийного сплава системы TiZrHfVNbTa в среде реактивного газа – азота. Покрытия толщиной до 8 мкм осаждались на стальные диски диаметром 45 мм и толщиной 4 мм. Отрицательные ионы Au^- генерировались Cs-ассистированным источником тяжелых ионов плазменно-распыляемого типа Nissan High Voltage Co. Ltd. Исследования структуры покрытий проводились на дифрактометрах ДРОН-3М и Rigaku RINT-2500 под углами 3°, 10°, 30° для образцов в исходном и под углом 2° для образцов, прошедших процедуру имплантации ионами Au^- . Анализы элементного состава осуществлялись на растровом электронном микроскопе (РЭМ) и спектрометре. Для исследования распределения элементов по глубине покрытия использовались Резерфордское обратное рассеяние и эмиссия рентгеновского излучения. Исследования морфологии поверхности многокомпонентных покрытий, их элементного состава и распределения элементов по поверхности покрытий осуществлялись на РЭМ с энерго-дисперсионным спектрометром.

Повышение давления от 3×10^{-4} до 3×10^{-3} Торр приводит к значительному увеличению концентрации азота в составе многокомпонентного покрытия. При этом содержания Ti, Nb, V уменьшаются. Изменение давления в камере в процессе осаждения приводит к изменению концентрации элементов в покрытии, состав которого отличен от состава литого катода и концентрация золота составляет 2.1-2.2 ат.%. Полученные $(\text{TiZrHfVNbTa})_x\text{N}_{1-x}$ покрытия имеют гранецентрированную кубическую структуру типа NaCl. Расчеты рентгенограмм показали, что размеры кристаллитов ~8 нм. Средний размер кристаллитов ГЦК фазы покрытия, осажденного при высоком давлении, значительно увеличивается и составляет $(17 \div 20)$ нм. При этом формируется преимущественная ориентация роста кристаллитов с плоскостью (200) и наблюдается высокая твердость $51 \pm 0,7$ ГПа покрытий. В приповерхностной области имплантация отрицательных ионов Au^- дозой 1×10^{17} см⁻² приводит к наибольшему разупорядочению и формированию поликристаллической структуры без преимущественной ориентации. При этом на рентгенограммах появляются новые рефлексы (200; 220), которые соответствуют плоскостям имплантированного золота. С уменьшением глубины информативного слоя уменьшается средний размер кристаллитов многоэлементного нитрида от 7.2 нм (при глубине до 0.5 мкм), и до 5 нм в слое, в котором произошла имплантация Au^- на глубину проективного пробега. В слое, где произошла имплантация толщиной (30÷35) нм, наблюдается увеличение нанотвердости до 33 ГПа при глубине ~10 нм, с постепенным уменьшением роста и выходом на плато до глубины проникновения 75 нм. Увеличение индекса пластичности в имплантируемой области – $H/E \geq 0.1$, указывает на стойкость к износу. Имплантация ионов Au^- приводит к повышению твердости до 20% и образованию двухфазного покрытия, т.е. внедрения атомов золота в металлическую решетку не происходит и в покрытии присутствует “свободное” золото.

ЯДЕРНОЕ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЕ – АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕЗАГРУЗКИ

Зима Г.В.

Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

Активная минимизация количества высокообогащенного урана в комплексе с инструментами Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) на стыке XX и XXI столетий представлялась одним из действенных механизмов снижения риска ядерного терроризма, в свете дрящущегося с момента окончания «холодной войны» процесса разоружения. Казалось, что человечество, вступив в новый век, навсегда освободилось от страшного призрака ядерной войны и проблема нераспространения ядерного оружия скоро будет решена. Главными вызовами этой проблеме казались Северная Корея, Ирак и исламские экстремистские группировки, лёгкую обеспокоенность вызывали Индия и Пакистан. Но масштабы указанных «островков беспокойства» позволяли с оптимизмом смотреть в завтрашний день в деле перевода использования энергии атомного ядра исключительно в мирное русло.

Однако, соблюдение режимов нераспространения в настоящее время не гарантирует территориальной неприкосновенности государства, что подтверждается вооруженным столкновением в самом центре Европы и угрозой его распространения на всё большие территории. При этом наблюдается тенденция к росту количества террористических атак на территориях, которые ранее не были эпицентром террористической угрозы, но на которых есть мирные ядерные объекты. Если ранее наибольшую обеспокоенность вызывала угроза применения экстремистскими группами или организациями ядерных устройств или радиоактивных материалов, то сейчас в открытую обсуждается возможность нанесения ядерных ударов некоторыми странами-держателями ядерного оружия. Учитывая, психологическое воздействие, которое муссирование указанной темы оказывает на население, то, что это происходит во имя достижения определённых политических и экономических целей, и, обратившись к определению ядерного терроризма [1] можно говорить о ведении ядерного терроризма в государственных масштабах. Кроме того, в районах ведения боевых действий и прилегающих к ним обширных территориях велик риск специального или случайного провоцирования инцидентов на объектах ядерной инфраструктуры.

Сегодня всё больше исследователей задаётся вопросом: имеем ли мы дело с кризисом договоренностей о нераспространении вооружений? Механизмы проверок и политические процедуры существуют, но лучшие методы проверки немного значат, если нельзя заставить государства, уличенные с помощью этих методов в нарушении договора, изменить поведение – ни с помощью убеждения, ни посредством экономического давления, угрозы или даже применения военной силы [3]. Анализ применённых в максимальной степени к Ирану и Ливии политически институционализированные инструментов, показывает, что данные инструменты не побуждают государства, на которые они направлены, изменить свою позицию. Таким образом, один из фундаментальных базисов современной системы нераспространения – ДНЯО – на сегодняшний день является сдерживающим инструментом только для тех государств, которые сдерживают себя сами [2].

Поэтому одной из актуальнейших задач для приложения усилий в сфере нераспространения является пересмотр и усовершенствование инструментов и механизмов ДНЯО. Из трех институций сдерживания ДНЯО – политической, институциональной и технической – политическая, продемонстрировала свою полную несостоятельность. При этом на мировой арене последнее время наблюдается смена парадигмы «сдерживания многосторонними институционализированными процедурами» парадигмой применения «военной силы» [3]. В условиях развития ядерных технологий конкуренция между многосторонними процедурами и силовым воздействием, которое предпринимаются отдельным государством или группой государств будет нарастать. Необходимо признать, что базовые инструменты ДНЯО, сформированные около сорока лет назад, требуют тщательного анализа и обновления, если не кардинальной перестройки, для снятия напряженности и неопределённости нарастающих в связи с возросшей угрозой нарушения ядерного «status quo».

Помимо вышесказанного, согласно ряду оценок [4] общий мировой объем действующих ядерных мощностей увеличится более чем в пять раз. Это может привести к большей доступности ядерных материалов и повышению риска распространения ядерных технологий и материалов и, в конечном счете, ядерного оружия.

Таким образом, в настоящее время весьма актуальна деятельность по всестороннему анализу механизмов режимов нераспространения, реконструкция их в соответствии с требованиями современности и с учётом перспективы широкомасштабного развития ядерной энергетики. Необходимо в ближайшее время, с участием всех государств, членов «ядерного клуба», государств обладающих мирными атомными программами и государств желающих иметь такие программы или работающих над их созданием, выработать рекомендации, способствующие укреплению режима нераспространения.

Литература:

1. Минимизация количества высокообогащённого урана как инструмент снижения риска ядерного терроризма. Зима Г.В. Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, 8 международная конференция Ядерная и радиационная физика, 20-23 сентября 2011, Алматы, Казахстан, Тез. докл.
2. Необходимость поиска новых принципов сдерживания и нераспространения в свете цикличности парадигм ядерной угрозы. Зима Г.В. Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, 9 международная конференция Ядерная и радиационная физика, 24-27 сентября 2013, Алматы, Казахстан, Тез. докл. с. 61
3. Хеннинг Рикке. Политика нераспространения ОМУ на подъеме или в состоянии кризиса? <http://civilg8.ru/6397.php>
4. Ренессанс атомной энергетики и проблемы нераспространения: необходимость системного анализа. Н. Пономарёв-Степной, В. Сухоручкин. Индекс безопасности, 2008, № 4(87), т.14, с. 167-171.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С ВАНАДИЕВЫМИ СПЛАВАМИ

Кульсартов Т.В.^{1,2}, Файзуллаева Ж.Ж.¹, Чихрай Е.В.¹, Аскербекоев С.К.¹, Кенжина И.Е.¹,
Шестаков В.П.¹, Гордиенко Ю.Н.², Понкратов Ю.В.², Заурбекова Ж.А.²

¹ НИИ «Экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби», г. Алматы, Казахстан

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

Как хорошо известно, ванадиевые сплавы являются малоактивируемыми материалами перспективными к возможному их использованию в различных узлах будущих ТЯР. Комплекс проведенных изысканий позволил определить в качестве оптимальных композиций на основе ванадия такие композиции как сплав V4Cr4Ti, V10Cr5Ti.

Одним из важных вопросов использования ванадиевых сплавов в ТЯР является его свойства по отношению к изотопам водорода: учет переноса и накопления изотопов водорода в конструкции ТЯР становится ключевым с точки зрения обоснования его безопасной работы.

К настоящему времени проведено много экспериментов посвященных исследованиям процессов накопления и диффузии изотопов водорода в ванадиевых сплавах. Большинство проведенных экспериментов позволило получить параметры процессов в условиях воздействия одного из изотопов водорода. Однако, известно, что существует проблема учета сложного механизма при взаимодействии ванадиевой матрицы одновременно с несколькими различными изотопами водорода т.к. ванадий обладает уникальными свойствами по отношению к водороду: атомы протия обычно занимают в ОЦК решетке ванадия октаэдрические междоузлия, в то время как атомы дейтерия – в основном тетраэдрические междоузлия. Всё это значительно влияет на картину диффузии и растворимости данных изотопов водорода в ванадии.

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по сорбции изотопов водорода ванадиевыми сплавами V4Cr4Ti, V10Cr5Ti из смеси газов. Получены временные зависимости изменения парциального давления изотопов водорода в смеси газов, в камере с образцами из ванадиевого сплава. Эксперименты проводились при различных температурах образца, начальных давлениях газа, и для различных соотношений изотопов водорода в газовой смеси.

По результатам экспериментов предложена качественная модель сорбции изотопов водорода ванадиевыми сплавами.

РОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ИОННОМ РАСПЫЛЕНИИ МЕТАЛЛОВ

Козырева М.С., Карпиков А.Н., Кислицин С.Б.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Облучение материалов покрытия первой стенки, пластин дивертора ТЯР потоками ионов из плазмы сопровождается процессом радиационной эрозии, обусловленной физическим распылением. Распыление конструкционных материалов в термоядерных установках оказывает сугубо отрицательное воздействие на их работоспособность. Обращенные к плазме компоненты конструкционных материалов теряют свои эксплуатационные свойства и разрушаются, а из-за загрязнения атомами распыленного материала ухудшаются рабочие характеристики термоядерной плазмы, что затрудняет управляемость процесса синтеза. Распыление связано с непосредственной передачей кинетической энергии (импульса) при столкновении налетающей частицы с атомом облучаемого материала. В результате происходит развитие каскада соударений, при котором атомы мишени могут смещаться в различных направлениях, в том числе и противоположном потоку облучения. Часть атомов из объема материала перемещается на границу и, обладая достаточной энергией, способна покинуть его. Этот процесс характеризуется коэффициентом распыления, который соответствует вероятности выбивания атома вещества в одном акте взаимодействия частицы с поверхностью.

Коэффициент распыления зависит от ряда параметров, важнейшими из которых являются тип и энергия налетающих ионов, угол падения ионного потока к облучаемой поверхности, температура и элементный состав поверхности. Микрорельеф поверхности также способен оказывать существенное влияние на среднее значение коэффициента распыления.

В представленной модели зависимость коэффициента распыления от поверхностной шероховатости выражается в том, что локальный угол падения β_i ионов на поверхностный сегмент Δl_i не совпадает с глобальным углом β падения потока на базовую поверхность. Вклад каждого i -го фрагмента в распыление шероховатой поверхности при глобальном угле падения β равен произведению i -го локального коэффициента распыления на вероятность попадания иона на этот фрагмент. Коэффициент распыления шероховатой поверхности равен сумме вкладов всех фрагментов на периоде L . Локальные коэффициенты распыления рассчитывались при помощи программного пакета SRIM-2012. Расчеты проведены для W и Mo, облучаемых ионами He⁺ и Ar⁺ с энергиями в интервале 10÷150 кэВ.

Рассмотрены шесть типов двумерных поверхностей: плоская (гладкая), две – двух-фрагментных с постоянными углами наклона, полугексагональная, полукруглая и поли-фрагментарная (в данном случае 10) поверхность со случайной разориентровкой фрагментов.

В результате проведенных расчетов установлено, что при нормальном падении ионов учет шероховатости приводит к повышению коэффициента распыления в 1.2÷2.5 раз в зависимости от типа поверхности и энергии ионов. Физически это отражает тот факт, что область каскадов при наклонном локальном падении ионов располагается ближе к поверхности облучаемого материала, чем при нормальном.

Одним из основных параметров, характеризующих микрорельеф поверхности, служит амплитуда шероховатости R_{max} . Расчеты для симметричной двух-фрагментной поверхности показали, что изменение R_{max} в характерном для шероховатости интервале $0.02L < R_{max} < 10L$ приводит к увеличению коэффициента распыления в ~2÷5 раз, при этом максимум достигается при 1.5÷3.5L в зависимости от энергии ионов.

При расчетах угловой зависимости проявляются два конкурирующих процесса: изменение локальных углов падения и “эффект тени”. Этот эффект выражается в образовании и развитии “освещенных” и “затененных” участков поверхности (то есть огражденных от прямого попадания ионного потока соседними выступами). С изменением угла облучения β соотношение между величинами “освещенных” и “затененных” участками меняется, соответственно, меняется и вероятность попадания иона на тот или иной фрагмент поверхности. Это проявляется в том, что для некоторых поверхностных структур коэффициент распыления остается практически постоянным в значительном интервале углов. Исчезновение ярко выраженных пиков при больших (~80°) углах облучения является позитивным фактором при эксплуатации отдельных конструкционных узлов реакторов.

РАСПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТРОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ TiMoN И TiNbN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Кислицин С.Б., Горлачев И.Д., Диков А.С., Козловский А.И.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Покрытия на основе нитридов нескольких переходных металлов, обладающие высокими физико-механическими свойствами – твердостью, износостойкостью, термической стабильностью, могут рассматриваться как перспективные конструкционные материалы ядерной техники. Однако, стабильность структуры и свойств этих материалов под облучением малоисследованна, можно отметить лишь единичные работы в этом направлении [1-3].

Поскольку влияние ионного облучения на покрытия TiZrN и TiCrN, хотя и далеко не в полной степени исследовалось, см. [2-3], то в данной работе нами предпринято изучение воздействия тяжелых ионов Kr и Xe на радиационную стойкость, в частности распыление поверхности, покрытий TiMoN и TiNbN. Эти покрытия обладают достаточно высокими физико-механическими свойствами, такими как термической стабильностью, твердостью и др., но их радиационная стабильность ранее не исследовалась. Отметим, что облучение ионами Kr и Xe моделирует взаимодействие осколков деления ядерного топлива с конструкционным материалом.

Покрытия TiMoN синтезированы методом вакуумной конденсации с ионной бомбардировкой на подложке из нержавеющей стали 12X18H10T. Толщина слоя покрытия составляет ~2500 нм. Элементный состав покрытия следующий: Ti – 50 ат.%, Mo – 30 ат.%, N – 20 ат.%. Покрытия TiNbN толщиной ~800 нм осаждались на подложку из нержавеющей стали 12X18H10T методом магнетронного распыления из двух магнетронов (Ti и Nb) при содержании азота в плазмообразующей газовой смеси до 35%.

Облучение ионами $^{84}\text{Kr}^{+14}$ и $^{132}\text{Xe}^{+18}$ образцов с покрытиями проведено на низкоэнергетическом канале (канале ЭЦР источника) ускорителя ДЦ-60. Энергия ионов составляла 20 кэВ на заряд, т.е. полная энергия ионов Kr = 280 кэВ, ионов Xe – 360 кэВ. Флюенс облучения составил $1 \cdot 10^{15}$ - $1 \cdot 10^{17}$ ион·см⁻², температура облучения не превышала 150 °С.

Определение коэффициента распыления по измерению толщины распыленного слоя выполнено с применением метода Резерфордского обратного рассеяния на ионах азота и протонах. Изучение структуры поверхности до и после облучения проводилось методами электронной растровой микроскопии с рентгеновским микроанализом и атомно-силовой микроскопии.

Проведенные исследования показали, что коэффициент распыления поверхности покрытий TiMoN и TiNbN низкоэнергетическими ионами Kr и Xe ниже коэффициента распыления поверхности конструкционной стали 12X18H10T и составляет ~5 ат./ион, а также установлена зависимость коэффициента распыления от флюенса падающих ионов. Также показано, что в отличие от стали, облучение не приводит к появлению газовых пузырьков на поверхности этих покрытий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 2798/ГФЗ МОН РК

Литература:

1. Gavarini S., N. Toulhoat, C. Peaucelle, P. Martin, J. Mende, Y. Pison, H. Jaffrezic, Xenon migration behaviour in titanium nitride, J. Nucl. Mater., 2007, Vol.362, iss.2-3, p. 364-373.
2. Uglov V.V., Rusalski D.P., Zlotski S.V., Sevriuk A.V., Abadias G., Kislitsin S.B., Kadyrzhanov K.K., Gorlachev I.D., Dub S.N. Stability of Ti-Zr-N coatings under Xe-ion irradiation // Surface & Coatings Technologies – 2010. – Vol. 204. – P. 2095-2098.
3. Kislitsin S., Gorlachev I., Uglov V. Surface Structure of Cr0.5Ti0.5N coating after heavy ions irradiation and annealing. Structural Materials for Innovative Nuclear System (SMINS-3). Workshop Proceedings, Eds. OECD 2015, P. 266-279.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Курбанбеков Ш.Р., Скаков М.К.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В настоящей работе изучена структура поверхности низкоуглеродистой стали 12X18H10T после насыщения углеродом в режиме электролитно-плазменной цементации. Установлено, что после электролитно-плазменной обработки поверхность стали 12X18H10T обладает модифицированной структурой и высокой твердостью. Наблюдается повышение износостойкости стали 12X18H10T после цементации, уменьшается коэффициент трения. Определено, что после электролитно-плазменной обработки карбидная фаза в модифицированном поверхностном слое, независимо от расположения в структуре стали, имеет химический состав Fe_3C . Выявлена высокая концентрация атомов углерода в твердом растворе на основе γ - и α -железа, большая плотность дислокаций, присутствие частиц карбидной фазы и прослоек остаточного аустенита.

Способы скоростного нагрева, в том числе катодный нагрев в электролитах, обладает рядом достоинств с точки зрения использования его на практике для термической или химико-термической обработки. Химико-термическое упрочнение, в частности цементация, позволяет повысить механические свойства материала (твёрдость, прочность, износостойкость) без снижения коррозионной стойкости.

На основании анализа полученных результатов рентгеноструктурных, электронно-микроскопических исследований влияния электролитно-плазменной цементации на модифицированную поверхность образцов стали 12X18H10T и механические свойства можно сделать следующие выводы:

– после электролитно-плазменной цементации в поверхностных слоях стали 12X18H10T формируется модифицированная структура, в которой основной состав представлен γ -фазой. Также выявлены частицы упрочняющей фазы – карбида Fe_3C . Наряду с этим, в поверхностных слоях содержатся отдельные частицы оксидов Fe_3O_4 , и α -мартенсита. Частицы вторичных фаз обычно локализуются вокруг аустенитных зерен, препятствуя их росту. Цементация сопровождается фрагментацией полосовой субструктуры и образованием субзеренной структуры. В объеме фрагментов и субзерен наблюдается сетчатая дислокационная субструктура. По границам субзерен обнаруживаются частицы карбида железа Fe_3C ;

– установлено, что при скоростной цементации стали 12X18H10T с последующей закалкой обнаруживается повышение микротвердости поверхностного слоя в 2,4 раза по сравнению с исходным состоянием;

– определено, что после обработки в плазме электролита коэффициент трения модифицированной поверхности образцов стали уменьшается более чем в 3 раза, скорость изнашивания уменьшается более чем в 2 раза по сравнению с исходным состоянием.

Работа выполнена при финансовой поддержке АО «НАТР» РК в период 2012-2014 гг.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ He, Kr И Xe НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ TiMoN И КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 12X18H10T

Ларионов А.С., Уралов М.К., Диков А.С., Кислицин С.Б.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Известно, что нитриды переходных металлов обладают высокими физико-механическими свойствами - твердостью, износостойкостью, термической стабильностью [1]. Это позволяет рассматривать покрытия на основе нитридов нескольких переходных металлов в качестве перспективных для защиты от радиации конструкционных материалов ядерной техники. Сдерживающим фактором является то, что воздействие облучения на них практически не изучалось. В связи с этим, для выявления эффектов облучения на физико-механические свойства покрытий TiMoN, нами предприняты исследования твердости и коррозионной стойкости этих покрытий после облучения тяжелыми ионами, моделирующими осколки деления ядерного топлива (Kr, Xe) и накопление трансмутантного гелия. Полученные результаты сравниваются с результатами воздействия этих же ионов на свойства нержавеющей конструкционной стали 12X18H10T, широко применяющейся в ядерных установках.

Покрытия TiMoN синтезированы на стальной (12X18H10T) подложке методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ). Толщина покрытий составляет ~2500 нм, элементный состав покрытия: Ti – 50%, Mo – 30%, N – 20%, причём содержание Mo неоднородно по глубине и увеличивается по мере увеличения расстояния от поверхности.

Облучение образцов с покрытиями TiMoN на конструкционной стали 12X18H10T и самой стали, выполнялось на низкоэнергетическом канале ускорителя ДЦ-60 Астанинского филиала ИЯФ ионами ${}^4\text{He}^{+2}$, ${}^{84}\text{Kr}^{+14}$ и ${}^{132}\text{Xe}^{+18}$ с энергией $E = 20$ кэВ/заряд до флюенсов $f = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ при температуре, не превышающей 150 °С.

Нанотвердость до и после облучения измерялась на сканирующем нанотвердомере «Наноскан-компакт» методом склерометрии, коррозионная стойкость – с помощью фундаментальной коррозионной ячейки «Gamgi Instruments».

До облучения сталь 12X18H10T характеризуется наличием приповерхностного деформационно-упрочненного слоя $h = 80$ нм, твёрдость H которого составляет 4,39 ГПа; далее по глубине нанотвердость постепенно снижается до значений ~300 МПа. После ионного облучения твердость приповерхностного слоя стали возрастает на порядок, причем зависит от сорта иона – чем больше масса иона, тем выше значение нанотвердости. Аналогичная картина наблюдается при облучении покрытия TiMoN, с той разницей, что исходная (до облучения) величина нанотвердости на порядок превосходила нанотвердость стали.

Сравнительные исследования коррозионной стойкости стали и покрытия TiMoN до и после облучения ионами ${}^4\text{He}^{+2}$, ${}^{84}\text{Kr}^{+14}$ и ${}^{132}\text{Xe}^{+18}$ показали снижение коррозионной стойкости как стали, так и покрытия. Но, поскольку коррозионная стойкость необлученных покрытий TiMoN на порядки превосходит коррозионную стойкость стали, то и после облучения коррозионная стойкость покрытия по-прежнему намного выше по сравнению с нержавеющей сталью 12X18H10T.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 2798/ГФЗ МОН РК

Литература:

1. Ивановский А.Л. Тройные карбиды и нитриды на основе переходных металлов и элементов IIIВ- и IVВ-подгрупп: электронное строение и химическая связь. // Успехи химии – 1996. - Т.65. - №6. - С. 499-518.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ПРОЦЕССЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И РЕАКТОРНЫХ СПЛАВОВ 12Х18Н10Т И 03Х20Н45М4БРЦ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ

Мережко Д.А.¹, Мережко М.С.², Максимкин О.П.¹, Сильнягина Н.С.¹

¹ РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

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

Нейтронное облучение приводит к созданию дефектов в кристаллической решетке и, соответственно, изменению физико-механических и химических свойств металлических материалов, в частности, прочности, пластичности, твердости и коррозии. Метод измерения микротвердости чувствителен к состоянию структуры поверхности и приповерхностных слоев и вследствие этого широко используется при изучении изменений механических свойств металлов и сплавов в реакторном материаловедении.

Исследовали образцы армко-железа (термическая обработка (ТО) – 950 °С, 30 мин), аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т (ТО – 1050 °С, 30 мин) и сплава 03Х20Н45М4БРЦ (ЧС-43) (ТО – 1150 °С, 3 часа). Образцы после термообработки были облучены в активной зоне реактора ВВР-К при 80 °С до максимального флюенса $2 \cdot 10^{21}$ н/см².

Испытания на одноосное растяжение проводили на универсальной испытательной машине «INSTRON 1195» в высокотемпературной камере в интервале температур 20-400 °С и скоростей деформации $8,3 \cdot 10^{-4}$ – $1,7 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹. В процессе механических испытаний использовалась методика «цифровой оптической экстензометрии», заключающаяся в регистрации формоизменения и взаимного перемещения, предварительно нанесенных на полированную поверхность образца маркеров. Микротвердость определяли с помощью метода Виккерса на приборе ПМТ-3, снабженном алмазной пирамидкой, с углом при вершине 136 и нагрузке на индентор 50 г (0,49 Н). Измерения микротвердости проводились при комнатной температуре, по всей рабочей длине образца с шагом 500-1000 мкм.

Получены экспериментальные результаты изменения микротвердости H_{μ} всех исследуемых материалов до и после нейтронного облучения. Показано, что в результате радиационного упрочнения микротвердость увеличивается (на 20-40%).

Исследование закономерностей распределения микротвердости по длине деформированных до разрушения образцов показало, что:

- Пластическая деформация высокооблученных образцов армко железа развивается путем формирования в них одной деформационной полосы (реже – двух пересекающихся полос), расположенной под углом к оси нагружения. В области деформационной полосы (в месте разрыва) наблюдается максимальное значение микротвердости.

- Распределение микротвердости по рабочей длине образцов сплава ЧС-43 и стали 12Х18Н10Т носит, в основном, волновой характер. Данный факт объясняется автоволновой теорией пластической деформации [1].

- Максимумы микротвердости по рабочей длине образцов сплава ЧС-43 сопоставимы со значениями H_{μ} в зоне разрыва, что, вероятно, связано с низкой способностью материала деформироваться локализованно.

Анализируются закономерности распределения микротвердости по длине деформированных образцов исследуемых материалов с учетом протекающего в материалах при высокотемпературной деформации процесса динамического деформационного старения. Исследуется эволюция дефектной структуры армко-железа, стали 12Х18Н10Т и сплава ЧС-43 в результате нейтронного облучения и деформации.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК (Грант № 0380/ГФ4).

Литература:

1. Зуев Л.Б. Автоволновая модель пластического течения // Физическая мезомеханика.– В.3, Т.14.–2011.– С.85-94.

КРИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЧАЛА ЛОКАЛИЗОВАННОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ АУСТЕНИТНЫХ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ

Мережко М.С.¹, Максимкин О.П.², Мережко Д.А.²

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

² *РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан*

Начало локализованного пластического течения в материалах можно рассматривать как процесс перехода от равномерной пластической деформации к моменту появления «шейки» – значительному утонению образца в месте будущего разрушения. Образование стационарной шейки связано с макроскопической пластической неустойчивостью. Предполагается возникновение флуктуации пластической деформации в одном из сечений рабочей части образца, что обуславливает возрастание эффективного напряжения в данном сечении вследствие уменьшения его площади. Таким образом деформация становится неустойчивой, когда деформационное упрочнение перестает компенсировать рост напряжения вследствие уменьшения поперечного сечения растягиваемого образца. Данное утверждение описывается соотношением:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} \leq \sigma$$

где $d\sigma/d\varepsilon$ – коэффициент деформационного упрочнения образца.

Значительное влияние на параметры прочности и пластичности некоторых аустенитных сталей оказывают протекающие в них в процессе холодной деформации бездиффузионные фазовые превращения, в частности, образование в аустенитной γ -матрице пластин α' -мартенсита, которые возникают под действием пластической деформации или напряжений при температурах в интервале $M_n < T < M_o$ (M_n и M_o — точки начала мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения при охлаждении и деформации соответственно). Ожидается, что образование более прочной по сравнению с аустенитом мартенситной фазы может значительно повлиять на критические параметры начала и развития локализации деформации.

Исследовали метастабильные нержавеющие хромоникелевые стали, широко используемые в реакторостроении, 12X18H10T, AISI 304, и высоконикелевый сплав 03X20H45M4БРЦ (ЧС-43). Цилиндрические (в форме гантелей) и плоские (в форме двойной лопатки) образцы после термообработки (аустенизирующий отжиг от 950 до 1150 °С от 0,5 до 3 часов, в зависимости от материала) были облучены в активной зоне реактора ВВР-К при 80 °С до максимального флюенса нейтронов $2 \cdot 10^{20}$ н/см².

Испытания на одноосное растяжение проводили на универсальной испытательной машине «INSTRON 1195» со скоростью деформации $8,3 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹. В процессе механических испытаний использовалась методика «цифровой оптической экстензометрии», заключающаяся в регистрации формоизменения и взаимного перемещения, предварительно нанесенных на полированную поверхность образца маркеров. Изменение фазового состава метастабильных сталей регистрировали магнитометрическим методом с помощью прибора «Feritscope Fischer MP30».

В результате экспериментов установлено, что:

- В стали 12X18H10T критическая деформация начала локализованного пластического течения ε_{loc} при увеличении повреждающей дозы монотонно снижается, а «истинное» напряжение, соответствующее началу локализации деформации, σ_{loc} находится в диапазоне 950-1000 МПа для необлученной и облученной стали.
- Величины ε_{loc} и σ_{loc} в более метастабильной стали AISI 304 не зависят от флюенса облучения в исследуемом диапазоне флюенсов и равны ~52% и ~1300 МПа соответственно.
- В стабильном сплаве ЧС-43 критическая деформация начала локализованного пластического течения снижается с ростом флюенса облучения, при этом величина σ_{loc} остается неизменной.

Анализируется влияние прямого мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения и нейтронного облучения на кинетические параметры начала локализации деформации.

Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК (Грант № 0380/ГФ4).

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГРАФИТОВОЙ МАТРИЦЫ ВТГР С SiC-ПОКРЫТИЕМ ПОСЛЕ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Кульсартов Т.В., Миниязов А.Ж., Кукушкин И.М.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Настоящая работа посвящена изучению влияния высокотемпературного коррозионного воздействия на различные марки графита высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) с SiC-покрытием.

Актуальность работы связана с обоснованием безопасной работы ядерных реакторов, имеющих узлы и детали из графитовых материалов. В частности, для обоснования безопасной работы ВТГР необходимо исследовать поведение топлива и графитовых элементов его активной зоны в случае гипотетических аварий связанных с попаданием в активную зону (АЗ) реактора воздуха и/или воды.

Графитовые материалы, используемые в реакторах ВТГР, имеют относительно легкий вес, обладают высокой прочностью и модулем упругости и эксплуатируются в условиях высоких температур. Как известно рабочие температуры, при которых функционируют конструкционные, поглощающие и тепловыделяющие элементы из графита в активной зоне реактора, колеблются от 300 до 1250 °С в зависимости от типа реактора. В высокотемпературной части этой области происходят реакции окисления графита при взаимодействии с такими примесями в теплоносителе, как O₂, H₂O, CO₂, H₂, что приводит к деградации его прочностных свойств и снижению теплопроводности [1, 2].

На сегодняшний день существует мало работ по коррозии новых перспективных графитовых материалов в кислороде, воздухе и в парах воды. В частности наблюдается дефицит результатов в таких исследованиях перспективных SiC-покрытий.

Поэтому исследование и испытание реакторных графитов, в особенности исследование их взаимодействия с химическими активными газами (воздух, вода), остается одной из актуальных и приоритетных задач прикладного материаловедения.

Коррозионные испытания исследуемых материалов заключались в циклическом воздействии паров воды (давлением около 100 Па) на образцы при температурах 750-1400 °С, в течение времени около 3600 секунд за один цикл.

В работе приведены результаты рентгенофазового и рентгеноспектрального микроанализа по изучению SiC-покрытий после высокотемпературного коррозионного воздействия. Объектом исследования были графитовые стержни прямоугольной формы с SiC-покрытиями. Результаты последующих микроструктурных исследований, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопий (СЭМ), энергодисперсионного (ЭДС) и рентгенофазового анализов (РФА) позволили сделать следующие выводы:

- установлено, что покрытия в исходных образцах имеют равномерный характер распределения и соотношения элементов и имеют однофазный состав по длине стержней. При этом обнаружено различие в составе по каждой грани образцов. Наличие примесных элементов не обнаружено. Изучение микроструктуры поверхности образцов не выявило разрушений и дефектов;
- в результате анализа после высокотемпературных коррозионных испытаний обнаружено насыщение покрытий образцов кислородом, что соответствует 15-30 ат.%. Вероятнее всего это обусловлено коррозионным эффектом в процессе испытаний. Микроструктурные исследования показали равномерную эрозию покрытий. Также обнаружены локальные области разрушений в виде небольших язв.

Полученные результаты микроструктурных исследований образцов графитовой матрицы ВТГР с SiC-покрытием позволят качественно оценить степень коррозионного воздействия и получить данные необходимые для изучения поведения SiC-покрытий в условиях высокотемпературного окисления, таких как в АЗ реакторов ВТГР.

Литература:

1. Oxidation protective behavior of SiC/Si-MoSi₂ coating for different graphite matrix. Juan Zhao, Lang Liu, Quanguo Guo, Jingli Shi, Gengtai Zhai. Materials Letters 60 (2006);
2. Concept of an Inherently-safe High Temperature Gas-cooled Reactor/ H. Ohashi, H. Sato, Y. Tachibana, K. Kunitomi and M. Ogawa // AIP Conf. Proc. ICANSE2011: Denpasar, INDONESIA, November 14-17, 2011 – 2012. – Vol.1448. – Pp. 50-58.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАММА-ОБЛУЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi

Магеррамов А.М., Нуруев И.М., Мехтиева Р.Н., Нуриев М.А.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана
AZ 1143, Б. Вагабзаде 9, г. Баку, Азербайджан
e-mail: nuruyev_ibrahim@mail.ru*

Полимерные композиты с различными характеристиками широко применяются в электронике, электротехнике и в изоляционных системах. Введение в полимеры дисперсных наполнителей различного типа изменяет их электроактивные (электретные, пьезоэлектрические, сенсорные), электрические, диэлектрические и эксплуатационные свойства, а воздействие ионизирующей радиации позволяет модифицировать эти свойства [1-4]. В связи этим целью данной работы является изучение электрических свойств и релаксационных процессов полимерных композитов на основе сополимера поливинилиденфторида с тетрафторэтиленом П(ВДФ-ТеФЭ) с полупроводниковыми наночастицами кремния (наноSi).

Композиты П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi были получены из смеси 5% раствора П(ВДФ-ТеФЭ) и наполнителя (наноSi) в ацетоне с дальнейшим смешением их в магнитной мешалке при комнатной температуре в герметичном сосуде. После этого полученную смесь оставили на седиментацию и через день верхнюю часть слили в предварительно очищенные чашки Петри и оставили до высыхания. Для деагрегации частиц нанокремния при получении композитов было использовано поверхностно-активное вещество анионного типа (ПАВ)–бис (2-этилгексил) сульфосукцинат натрия. В дальнейшем из высушенных образцов для исключения дефектов структуры, термопрессованием при температуре ~473 К получили исследуемые пленки П(ВДФ-ТеФЭ) и П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi. Измерение электрических характеристик произведено измерителем иммитанса E7-20 в диапазоне частот ~25 – 10⁶ Гц.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости удельного сопротивления $lg\rho=f(1/T)$ пленок полимера П(ВДФ-ТеФЭ), а на рисунке 2 – композита П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si, измеренные при переменном напряжении в координатах Аррениуса. Известно, что наблюдаемые прямолинейные участки наклонов этих зависимостей позволяют рассуждать о числе релаксационных процессов, происходящих в измеренных образцах [10, 13]. Из зависимостей видно, что исходный (рис. 1, кр.1) и облученные образцы П(ВДФ-ТеФЭ) (рис. 1, кр.2-4) имеют два участка прямолинейного наклона в измеренном температурном интервале, первый (~353-433 К) связанный с релаксацией диполей, а второй (~433-473 К), в высокотемпературной области, связанный с увеличением подвижности молекулярных единиц ПАВ в результате его низкомолекулярности и предплавлением полимерной матрицы. Видно, что значения глубины и ширины наблюдаемой впадины у исходного полимера, с увеличением дозы облучения уменьшается и при относительно высоких дозах исчезает. Впадина, по нашему мнению, связана с десорбцией сорбированной влаги при нагреве, который приводит к спаду с дальнейшим возрастанием значения сопротивления полимера. Сравнения зависимостей показывает, что начало спада значения удельного сопротивления смещается в сторону высоких температур. Считаем, что такой ход зависимости является результатом процессов сшивки и деструкции, происходящей в полимере при воздействии гамма-облучения. Считаем, что изменение наклона прямолинейной части кривых и исчезновение впадины в зависимости связано с преобладанием процесса сшивки в П(ВДФ-ТеФЭ).

Думаем, что некоторый рост значений сопротивления с повышением дозы облучения также связан с поперечным сшиванием в макромолекулах полимерных цепей.

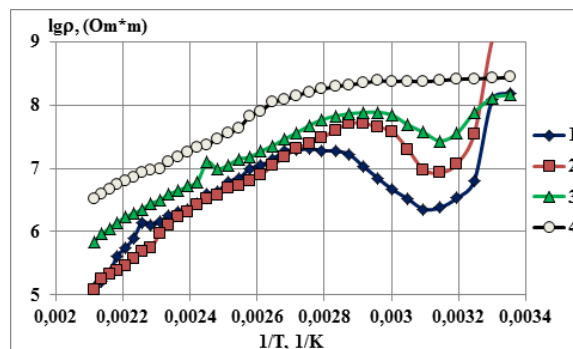


Рис. 1. Температурная зависимость $lg\rho=f(1/T)$ исходного и облученного П(ВДФ-ТеФЭ) в координатах Аррениуса:
1 – исх.; 2 – 100 кГр; 3 – 300 кГр; 4 – 500 кГр

В дальнейшем анализировались зависимости $\lg\rho=f(1/T)$ исходного (рис. 2, кр.1) и облученного композита П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si (рис.2, кр.2-4), измеренные при переменном напряжении. Показано, что исходный и облученный композит с дозой 100 кГр имеют три участка, а образцы, облученные дозой 300 и 500 кГр – два участка прямолинейной части с различными наклонами. Первый наклон, как и для исходного полимера, связан с релаксацией диполей полимерной матрицы в композите. Второй наклон у композита П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi считаем, связан с увеличением подвижности молекул в межфазном слое полимерной матрицы с нанокремнием и освобождением заряда, накопленного в межфазном слое. Видно, что дальнейший нагрев для исходного композита сопровождается стабилизацией значения ρ определяемой электропроводностью нанокремния, а для облученных композитов в этой области обнаруживается острый, третий наклон, связанный, скорее всего, с повышением проводимости наполнителя после облучения. Как видно из температурной зависимости ρ необлученного образца П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si, в низкотемпературной части кривых имеется впадина, связанная с десорбцией сорбированной влаги при нагреве, который приводит к спаду с дальнейшим возрастанием значения сопротивления композита. Видно, что наблюдаемая впадина у облученных композитов не обнаруживается. Считаем, что этому способствуют процессы сшивки, происходящие в приповерхностной части между цепями полимерной матрицы и в межфазной границе «полимерная матрица – наночастицы кремния». Сказанное подтверждают наблюдаемые изменение наклона в прямолинейной части зависимости $\lg\rho=f(1/T)$ композита П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi.

В заключение, сравнивая электрические свойства полимерных композитов П(ВДФ-ТеФЭ)/наноSi до и после облучения, можно сказать, что наблюдаемые в них изменения определяются изменением соотношения процессов сшивки и деструкции, происходящих в полимерной матрице и в межфазной границе полимера с наполнителем.

Литература:

1. Охлопкова А.А., Адрианова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультра дисперсными соединениями. – Якутск: ЯФ изд-ва Наука, 2003. – 224 с.
2. Трахтенберг Л.И., Герасимов Г.Н., Потапов В.К. и др. Нанокмпозиционные металлополимерные пленки: сенсорные, каталитические и электрофизические свойства // Вестник Московского университета, сер. 2. Химия. 2001. Т. 42. № 5. С. 325–331.
3. Гордиенко В.П. Радиационное модифицирование композиционных материалов на основе полиолефинов. Киев: Наук. думка, 1986. С.176.
4. Садовничий Д.Н., Тютнев А.П., Милехин Ю.М., Хатипов С.А. Радиационная электропроводность полимерных композиций, наполненных дисперсными оксидами, Химия высоких энергий, 2003, Т. 37, № 6, с.436–441.

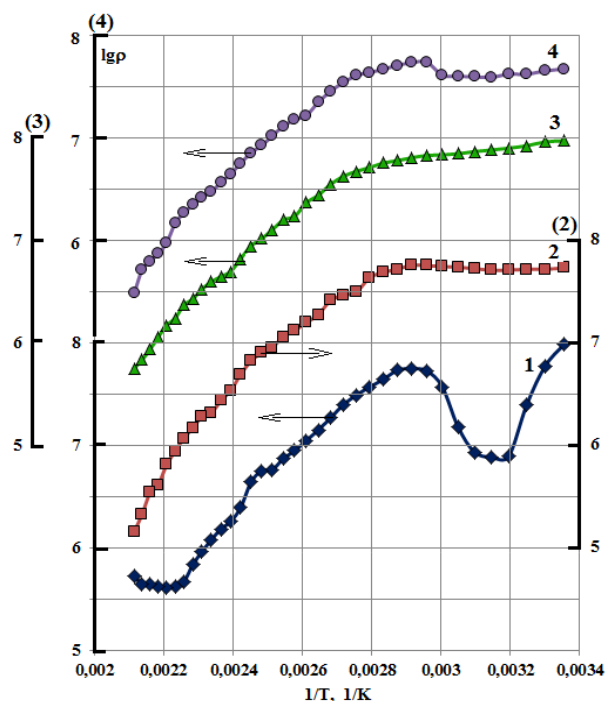


Рис. 2. Температурная зависимость $\lg\rho=f(1/T)$ исходного и облученного композита П(ВДФ-ТеФЭ)/2% нано-Si в координатах Аррениуса: 1 – исх.; 2 – 100 кГр; 3 – 300 кГр; 4 – 500 кГр

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ ИНЕРЦИОННОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Исмагамбетова Т.Н.¹, Отарбай Ж.Е.², Габдуллин М.Т.²

¹ НИИ ЭТФ, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

² ННЛОТ, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Инерционный термоядерный синтез – физический процесс, при котором термоядерное топливо удерживается собственными силами инерции. Процесс протекает быстро и термоядерное топливо нагревается равномерно, так чтобы образовавшаяся плазма до разлёта успела прореагировать. При исследовании физических принципов инерциального синтеза важнейшим понятием является мишень. Мишень представляет собой оболочку, внутри которой располагается водород и изотопы водорода. При сжатии мишени протекают различные процессы, в результате которых образуется плотная плазма. Определение термодинамических характеристик такой плазмы является важной задачей в физике экстремальных состояний вещества. Одним из которых является плазма инерционного термоядерного синтеза.

В данной работе были проведены расчеты уравнения состояния для плотной водородной плазмы на основе микропотенциалов, учитывающих квантово-механические эффекты дифракции и симметрии [1-2]:

$$u_{ab}(r) = \frac{e_a e_b}{r} \left\{ 1 - ih \left(\sqrt{2} \frac{\lambda_{ab}^2}{a_B^2 + br^2} \right) e^{-ih \left[\frac{\sqrt{2} \lambda_{ab}^2}{(a_B^2 + br^2)} \right]} \right\} \left(1 - e^{-r/\lambda_{ab}} \right) - \delta_{ae} \delta_{be} k_B T \ln \left(1 - \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{r^2}{\lambda_{ee}^2} \right) \right). \quad (1)$$

В данном выражении первое слагаемое учитывает эффект дифракции, а второе – эффект симметрии.

Эффект симметрии рассматривался между электронами с параллельными и антипараллельными спинами. Радиальные функции распределения (РФР) были получены при решении интегрального уравнения Орнштейна-Цернике [3] в гиперцепном приближении. В результате были рассчитаны термодинамические свойства через данные потенциалы и РФР.

Литература:

1. Zh.A. Moldabekov, T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova // Contrib. Plasma Phys. 52 (3), 207–210 (2012).
2. T. S. Ramazanov, Zh. A. Moldabekov, M. T. Gabdullin, T. N. Ismagambetova // Phys. Plasmas 21 (1), 012706 (2014).
3. David L. Goodstein States of Matter // Dover publications, Inc. 500 (2002).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛИТИЕВОЙ КПС

Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Тулубаев Е.Ю.,
Заурбекова Ж.А., Бакланов В.В., Скаков М.К., Тажибаева И.Л.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Создание энергетического термоядерного реактора во многом определяется оптимальным выбором материалов для его систем, узлов и элементов. В настоящее время практически во всем мире и, особенно, в странах Евросоюза, США, Японии, России, Китае и Корее, проводятся широкомасштабные исследования по самым различным аспектам управляемого термоядерного синтеза. При этом существенное внимание уделяется материаловедческим аспектам – подбору конструкционных материалов для первой стенки термоядерного реактора и функциональных материалов для систем регенерации компонентов топлива (так называемых бриддерных материалов). Поскольку в наиболее перспективных установках предполагается использование в качестве горючего трития – радиоактивного изотопа водорода, не существующего в природе, то для ТЯР воспроизводство трития в самой энергетической установке является одной из проектных задач. Для ее решения в бланкете, окружающем плазменную камеру реактора, планируется использовать литийсодержащие материалы, например, литий, стабилизированный в капиллярно-пористые системы (КПС).

Соответственно для внедрения этого материала в термоядерные энергетические установки необходимо определить параметры процессов выделения трития из литиевой КПС в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации в ТЯР – при воздействии нейтронного и гамма-облучения.

Реакторные эксперименты по определению параметров выделения трития из образца литиевой КПС проводились в г. Курчатова, Казахстан на исследовательском реакторе ИВГ.1М. Эксперименты заключались в масс-спектрометрической регистрации изменения парциальных давлений газов (от 2 до 28 а.е.м) над исследуемым образцом при разных мощностях реактора и при различных температурах образца как в условиях непрерывной откачки (дифференциальный метод) так и без откачки (интегральный метод).

В результате проведенных экспериментов были получены температурные зависимости выделения трития из литиевой КПС в условиях реакторного облучения. По полученным зависимостям изменения парциальных давлений газов над исследуемым образцом были вычислены коэффициенты эффективности выделения трития из литиевой КПС для различных температур исследуемого образца и нейтронных потоков.

Предложена феноменологическая модель описывающая процесс выделения трития из литиевой КПС в условиях реакторного облучения. Данная модель описывает выделение трития с учетом выделения из приповерхностного слоя и выделение за счет процессов диффузии. С помощью предложенной модели удалось хорошо описать экспериментальные данные и рассчитать основные параметры выделения трития из литиевой КПС.

Проведенный анализ полученных результатов позволил выявить основные закономерности выделения трития из литиевой КПС в условиях реакторного облучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ СХЕМЫ РЕАКТОРНОГО АМПУЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ В ТЕРМОЯДЕРНЫЕ НЕЙТРОНЫ

Прозорова И.В., Тажибаева И.Л.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

Для моделирования различных аспектов радиационных повреждений конструкционных материалов будущих термоядерных реакторов необходимы источники нейтронов с энергией 14 МэВ, излучающихся при D-T ядерных реакций синтеза. Одним из важных направлений данных исследований является возможность получения таких нейтронов с использованием специальных литий-дейтериевых материалов в качестве конвертеров тепловых нейтронов в быстрые в условиях реакторного облучения [1].

В ИАЭ НЯЦ РК проводятся исследования по созданию специального съемного экспериментального устройства для конверсии тепловых нейтронов в термоядерные на базе физического экспериментального канала (ФЭК) реактора ИВГ.1М [2].

В настоящей работе приведены результаты нейтронно-физических расчетов для различных конструкций конвертера тепловых нейтронов в термоядерные. На первом этапе расчетов была сделана оценка влияния количества ${}^6\text{Li}$ на реактивность реактора. Изменение запаса реактивности не является постоянным, зависимость реактивности от массы образца нелинейная. Далее были рассчитаны удельные скорости реакций в образце – пространственное распределение скорости реакций в конвертирующем слое имеет сильно неоднородный характер, как по их толщине, так и по радиусу.

На основе данных расчетов были определены оптимальные параметры разрабатываемого конвертера, такие как геометрические размеры и материальный состав, обеспечивающие заданные технические условия по облучению образцов дейтерида лития.

Работа была выполнена в рамках гранта по проекту: «Разработка и создание конвертера тепловых нейтронов в термоядерные нейтроны на базе ФКЭ (физический канал экспериментальный) реактора ИВГ.1М» (№ 4137/ГФ4, договор № 271 от 12.02.2015).

Литература:

1. Рождественский М., Точный Л., Чупова Л. Конвертирование тепловых нейтронов в быстрые с энергией 14,1 МэВ // Атомная техника за рубежом. – 1986. – № 1. – С. 22.
2. Реакторные комплексы ИГР, «Байкал-1», ВВР-К и перспективы развития на их базе фундаментальных и прикладных исследований / Э.С. Айтхожин, Ф.М. Аринкин, Г.А. Батырбеков [и др.]: препринт НЯЦ РК-00-12.– Курчатова, 2000.– 75 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАЛИ 08X16H11M3 ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАКТОРЕ БН-350

Рубан С.В., Захаров М.А., Максимкин О.П.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

В рамках работ по декомиссии реактора на быстрых нейтронах БН-350 исследовали изменения микроструктуры и физико-механических свойств аустенитной нержавеющей стали 08X16H11M3 (аналог американской AISI-316) – материала шестигранных чехлов отработавших тепловыделяющих сборок атомного реактора. В числе исследованныхборок – ЦЦ-197, Н214(2), № 2, П-41 после облучения быстрыми нейтронами до различных повреждающих доз: от 0,2 до 43,1 сна, при температурах от 290 до 420 °С.

С применением метода оптической металлографии (Neophot-2) определены параметры структуры (размер зерен, текстура). В результате гидростатического взвешивания (аналитические весы KERN-770) были рассчитаны плотности стальных облученных образцов, вырезанных из граней чехлов с различных отметок.

Использование модернизированной методики механических испытаний по схеме Shear-Punch [1] позволило впервые определить такие характеристики высокооблученной стали 08X16H11M3 как предел текучести и прочности для интервала температур испытания 20-300 °С.

Наличие в облученной аустенитной стали ферромагнитной фазы (предположительно α -мартенсит) регистрировали с помощью феррозонда Fischer mp-30. Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 50 г.

В результате проведенных экспериментов получены, в частности, данные о распределении микротвердости, ферромагнитной фазы и плотности по ширине грани чехла ТВС № 2 на отметке «-300». Установлено, что в результате облучения до повреждающей дозы 23 сна при температуре 290 °С материал в области ребер содержит меньше ферромагнитной фазы, имеет меньшую микротвердость и плотность, чем в середине грани чехла ТВС.

Наряду с тем, применение методики испытаний «на сдвиг» при повышенных температурах позволило определить прочностные и пластические характеристики стали 08X16H11M3 в условиях, сопоставимых с режимом работы реактора на быстрых нейтронах. При этом получена база данных значений пределов текучести и прочности для стальных образцов, облучавшихся до различных повреждающих доз и испытанных при повышенных температурах. Механические испытания выявили зависимость получаемых величин от толщины образца. В частности, установлено, что при толщине образца 350-400 мкм значение предела текучести стали, облученной до 23 сна при 300 °С, в случае испытания при 20 °С достигает 648 МПа и уменьшается до 395 МПа при 300 °С.

Полученные данные свидетельствуют о полной работоспособности реакторной стали 08X16H11M3, по крайней мере, до повреждающей дозы 40 сна.

Литература:

1. Гусев М.Н., Максимкин О.П., Матесов Д.С., Чакров П.В. Shear-Punch – новый прибор и метод определения механических свойств высокорadioактивных материалов //Вестник НЯЦ, 2001, вып. 4, стр. 43-46.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИН И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ДЦ-60

Рыскулов А.Е.¹, Горлачев И.Д.², Иванов И.А.¹, Курахмедов А.Е.¹,
Козин С.Г.¹, Самбаев Е.К.¹, Глущенко Н.В.²

¹ РГП Институт ядерной физики, г. Астана, Казахстан

² РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Одна из тенденций развития современных технологий состоит в возрастании роли поверхности и приповерхностных областей твердого тела. Это связано с тем, что зачастую такие области определяют физико-химические свойства материалов, представляющие наибольший интерес для микроэлектроники или материаловедения. Поэтому не случайно, что целью многих технологий, таких, как ионная имплантация, воздействие импульсными электронными пучками и лазерами и др. является модификация поверхности и приповерхностных областей обрабатываемого изделия. Такие области можно также специально создавать посредством нанесения или выращивания тонких слоев с помощью самых разнообразных источников. В значительной степени практическая применимость указанных способов обработки стала возможной благодаря развитию специальной группы методов анализа, позволяющих получать экспрессную информацию о свойствах исследуемых областей, среди которых важное место занимают методы анализа с применением высокоэнергетических пучков заряженных частиц [1,2]. Это направление объединяет группу методов, основанных на эффектах ионно-атомных столкновений, возникающих в материале, облучаемом пучком ускоренных ионов с энергией порядка нескольких мегаэлектронвольт на нуклон.

Все более возрастающая роль аналитических методов требует развития новых исследовательских направлений, обладающих высокой чувствительностью, точностью и избирательностью при анализе содержащих отдельных элементов. Учитывая особенности взаимодействия тяжелых ускоренных частиц с атомами мишени, представляется перспективным использование Резерфордского обратного рассеяния тяжелых ионов HIRBS (Heavy Ion Rutherford Backscattering Spectrometry) для решения задач элементного анализа приповерхностных областей [3].

Эксперименты по измерению обратного рассеяния ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ проводились на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 в г. Астане. Аналогичные эксперименты на пучке протонов проводились на ускорителе тандемного типа УКП-2-1 в ИЯФ, г. Алматы. В экспериментах по измерению толщин и элементного состава тонких пленок по характеристикам обратного рассеяния ионов на ускорителе ДЦ-60 использовался ускоренный пучок $^{14}\text{N}^{2+}$ с энергией 1 МэВ/нуклон. Для целей эксперимента была проведена оптимизация режима ускорения этого иона, позволившая обеспечить ток пучка на мишени в диапазоне 1÷100 нА. В работе исследовался механизм обратного рассеяния протонов и тяжелых ионов при их взаимодействии с атомами мишеней в диапазоне от Mg до W. Измерение обратного рассеяния проводилось на пленках чистых элементов, напыленных методом ионно-плазменного осаждения на проводящую подложку. Выбор типа подложки определялся следующими факторами: необходимостью снятия заряда с облучаемого образца; и большими тепловыми нагрузками на образец – используемая подложка должна иметь хорошую теплопроводность. Были напылены пленки в диапазоне толщин 10 – 200 мкг/см². Набор спектрометрической информации осуществлялся с использованием программного обеспечения MAESTRO. Обработка полученных спектров, вычисление толщин и определение элементного состава пленок проводились с применением программы RUMP [4-6].

На рисунках 1, 2 представлены набранный спектр обратного рассеяния ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ и пример обработанного спектра в программе RUMP. В таблице 1 представлены рассчитанные толщины пленок.

Итогом выполненной работы стала техника HIRBS на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60, адаптированная для анализа элементного состава, распределения элементов по глубине и определения толщин тонких многокомпонентных пленок. Показаны очевидные достоинства метода HIRBS в сравнении с традиционным RBS на легких ионах, такие как:

- лучшая чувствительность к примесям поверхности с большим массовым числом;
- достижение высокого разрешения по массе;
- лучшее разрешение по глубине и др.

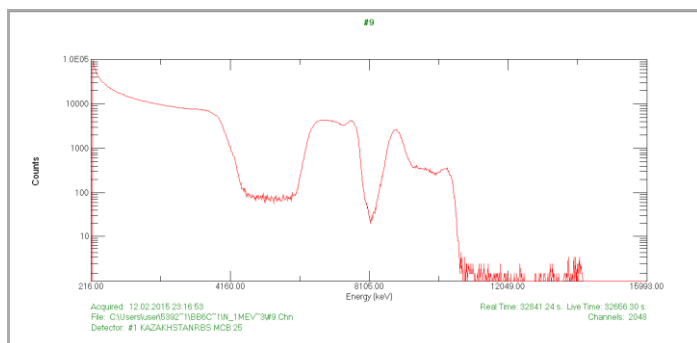


Рис. 1. Спектр обратного рассеяния ионов азота на атомах пленки TiNbN, предварительно облученной ионами $^{132}\text{Xe}^{18+}$

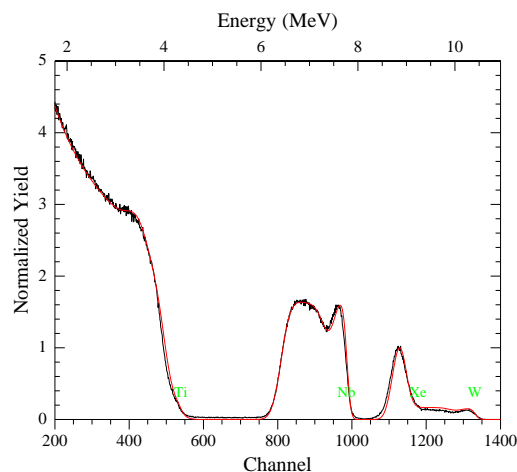


Рис. 2. Обработанный в программе RUMP спектр обратного рассеяния ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ с энергией 1 МэВ/нуклон на атомах пленки TiNbN

Таблица 1. Толщины напыленных пленок

Тип мишени	Тип анализирующего иона	Энергия иона, МэВ/нуклон	Толщина, нм
Ag	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	120
Al	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	150
Bi	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	450
Cd	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	140
Cr	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	130
Cu	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	150
In	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	120
Mg	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	450
Mo	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	140
Nb	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	115
Pb	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	150
Sb	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	600
Sn	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	95
Ta	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	160
Ti	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	85
W	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	320
Zn	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	120
Zr	$^{14}\text{N}^{2+}$	1	130

Полученные результаты представляют большой интерес как в плане научных исследований, так и для технологического применения. Связано это со все более возрастающим интересом к ядерно-физическим методам исследования свойств образцов и материалов, использующим ускоренные пучки заряженных частиц. Метод RBS в этой категории является одной из наиболее перспективных техник изучения приповерхностных областей.

Кроме того, наличие в Казахстане двух ускорителей УКП-2-1 в г. Алматы и ДЦ-60 в г. Астана позволяет создать в перспективе уникальный комплекс комплементарных ускорительных методик с использованием протонного и тяжелоионного пучков, способный решать большой спектр научных и прикладных задач.

В дальнейшем предполагается продолжить работы по развитию методики определения толщин, элементного состава и распределения элементов по глубине тонких пленок на ускорителе ДЦ-60, расширив энергетический спектр налетающих частиц и типы ускоренных ионов.

Литература:

1. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. - М.: Техносфера, 2006. - 384 с.
2. Ключников А.А., Пучеров Н.Н., Чеснокова Т.Д., Щербин В.Н. Методы анализа на пучках заряженных частиц. - К.: Наук, думка, 1987. - 152 с.
3. К. Kimura, Rutherford Backscattering Spectroscopy, Kyoto University, Kyoto, Japan.
4. Егоров В.К. Особенности неразрушающего послойного элементного концентрационного анализа плёнок ВТСП с помощью ионных пучков // Труды X совещания по электростатическим ускорителям – Обнинск, 1992 – С. 34-85.
5. J.F. Ziegler, J.P. Biersack. The stopping and range of ions in solids – Pergamon Press, New York, 1985.
6. L.R. Doolittle // Nucl. Instr. and Meth. – 1985 – B9, P. 344.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ГАЛЛИЯ, ОБЛУЧЕННЫХ ГАММА-КВАНТАМИ

Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Наджафов А.И.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана
370143, г. Баку, ул. Б. Вахабаде 9
e-mail: t.b.tagiyev@rambler.ru*

В данной работе представлены результаты исследований – вольт-амперные характеристики (ВАХ), фотопроводимость и спектры поглощения сульфида галлия, облученного гамма-квантами с энергией 1,33 МэВ.

Сульфид галлия имеет слоистую структуру, каждый слой которой состоит из четырехкратного плотно-упакованного подслоя. В каждом из этих слоев атомы являются ковалентно связанными (со значительной долей ионности), так что каждый атом галлия (катион) окружается тетраэдрически (связь SP^3 типа) тремя атомами селена (аниона) и одним атомом галлия, а Se^{-1} образуют при этом тригональную связь P^3 типа. Связь между слоями является Ван-дер-Ваальсовой, причем, чтобы была проводимость перпендикулярно слоям, полагается, что в связи между слоями имеется небольшая ионность. Наличие ковалентной связи вдоль и Ван-дер-Ваальсовой поперек слоев вносит вклад в различие физических свойств слоистых полупроводников, в том числе монокристалла сульфида галлия.

Интерес к этим соединениям вызван тем обстоятельством, что, несмотря на сильную дефектность, они обладают высокой чувствительностью к видимому, инфракрасному, рентгеновскому и гамма-излучениям. Эти данные указывали на возможную перспективность использования слоистых полупроводниковых соединений для разработки приемников излучений, детекторов ионизирующих излучений и фотоэлектрических устройств.

Исследуемые образцы сульфида галлия были выращены по методу Бриджмена и сублимации. Полученные монокристаллы имели р-тип проводимости с темновым сопротивлением $\rho = 10^9-10^{10}$ Ом·см. Омические контакты к кристаллам наносились на противоположные поверхности серебряной пастой. В качестве источника гамма-квантов использовался Co^{60} . Облучение проводилось при комнатной температуре. Инжекционные токи в образцах исследовались на установке, собранной на базе вольтметр-электромметра универсального В7-30 и микровольтнаноамперметра Ф-136. Измерение фотопроводимости проводились по стационарной методике. Спектры поглощения образцов зарегистрированы на спектрофотометре Cary 50 Scan Firm Varian в диапазоне длин волн 200-800 нм.

На рис. 1 приведены вольт-амперные характеристики монокристалла GaS при комнатной температуре до и после облучение гамма-квантами.

Как видно из рис. 1 (крив. 1) в интервале электрических полей $5,4 \cdot 10^1 - 5,4 \cdot 10^3$ В/см на ВАХ имеются омический, квадратичный и кубический участок. После облучения образца гамма-квантами наблюдаются аналогические участки, но происходит параллельный сдвиг в сторону увеличения напряжения во всей исследованной области напряжений.

При облучении дозой 30 крад ток, текущий через образец, значительно уменьшается по сравнению с необлученным образцом (крив. 2) относительно исходного значения. На рис. 1 (крив. 3 и 4) показаны ВАХ GaS, полученные по методу сублимации до (крив. 3) и после (крив. 4) облучения гамма-квантами. Из графика видно, что характер кривых не меняется, но ток образцов увеличивается во всех исследованных напряженностях.

Спектры фотопроводимости сульфида галлия до и после облучения гамма квантами, полученные по методу Бриджмена (крив. 1 и 2) и по методу сублимации (крив. 3 и 4) показаны на рис. 2. Из графика видно, что наблюдаемые образцы GaS полученные по методы Бриджмена имели максимуму фотопроводимости вблизи фундаментального края поглощения при $\lambda=500$ нм, а полученные по методу субли-

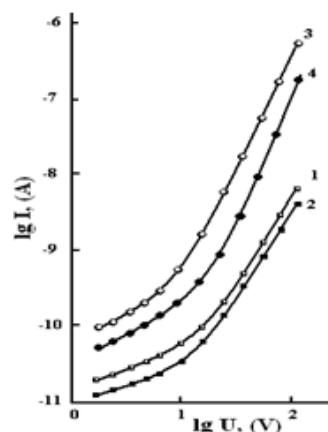


Рис. 1. Темновые вольт-амперные характеристики монокристаллов GaS при $T=300$ K.

- 1 – исходный образец, 2 – $D\gamma=30$ крад –
получен по методу Бриджмена;
3 – исходный образец, 4 – $D\gamma=30$ крад –
получен по методу сублимации

магии – максимум фотопроводимости при $\lambda=490$ нм. Фотопроводимость образцов, полученных по методу сублимации, находилась в более широкой области спектра и наблюдалось возрастание фоточувствительности в области спектра $\lambda=400-800$ нм.

В образцах, полученных по методу сублимации, фототок увеличивается во всей области спектра примерно в 7 раз выше исходного значения образцов, полученных по методу Бриджмена.

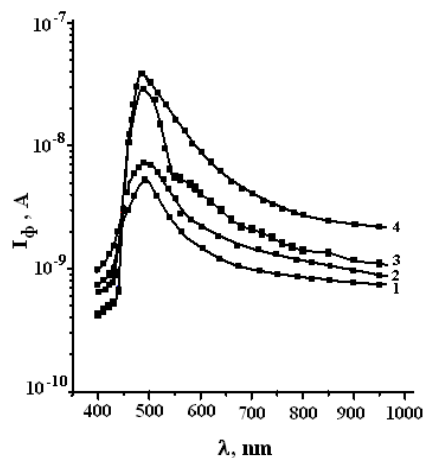


Рис. 2. Распределение спектра фотопроводимости GaS, облученного гамма-квантами при комнатной температуре, $D\gamma=30$ крад

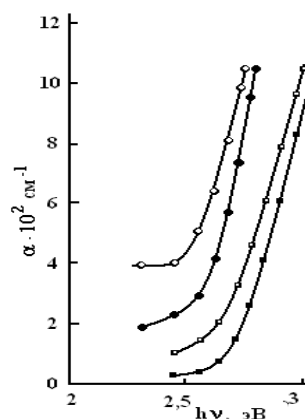


Рис.3. Зависимости коэффициента поглощения α от энергии фотонов монокристаллов GaS при комнатной температуре.

1 – исходный образец; 2 – $D\gamma=30$ крад – получен по методу Бриджмена; 3 – исходный образец; 4 – $D\gamma=30$ крад – получен по методу сублимации

На рис. 3 показаны кривые поглощения, снятые до (крив. 1 и 3) и после облучения (крив. 2 и 4) гамма-квантами монокристаллов GaS, полученных по методу Бриджмена (крив. 1 и 2) и по методу сублимации (крив. 3 и 4). Как видно из графика, у образцов, полученных по методу сублимации, наблюдается сдвиг края поглощения в сторону высоких энергий. Сдвиги приблизительно равно $h\nu=0,20$ эВ. После облучения дозой $D\gamma=30$ крад в обоих кристаллах край поглощения сдвигается в сторону меньших энергий. Из экспериментальных данных определены ширины запрещенной зоны исследуемых образцов. Ширина запрещенной зоны образцов GaS, полученных по методу Бриджмена и по методу сублимации, составляла $E_3=2,48$ эВ и $E_3=2,68$ эВ соответственно.

ДИАГНОСТИКА ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИЛИНДРА ФАРАДЕЯ

Тажен А.Б., Досболаев М.К., Рамазанов Т.С.

НИИ ЭТФ, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Токамак – устройство для осуществления реакции термоядерного синтеза в горячей плазме в квазистационарном режиме. Из-за высокой температуры плазмы в токамаках появляются некоторые проблемы, которые ограничивают срок их службы и влияют на время зажигания плазмы, который на данный момент является глобальной проблемой. Проблема основана на том, что из-за срыва плазменного шнура резко уменьшается температура и энергосодержание плазмы, а также срыв влияет на внутрикамерные компоненты токамака, такие как материалы первой стенки и пластины дивертора. Появление срыва связано с тем, что образовавшаяся плазма является неравномерной. Предполагается, что наиболее интенсивному воздействию плазмы будут подвергаться защитные покрытия дивертора во время неустойчивости срыва. При этом тепловая нагрузка может достигать нескольких мегаджоулей. В проекте ИТЭР воздействие на поверхность внутрикамерных материалов мощных импульсных потоков плазмы является одной из основных проблем. Тепловое воздействие плазмы на защитные материалы могут сопровождаться тем, что они нагреваются до температуры плавления, кипения и даже сублимации. Этот фактор может привести к эрозии защитных покрытий. Чтобы изучить и предотвратить эти преграды в лабораторных условиях был сконструирован импульсный плазменный ускоритель. Особенностью плазменного ускорителя является то, что из-за импульсного напуска газа и появляющейся продольной силы при взаимодействии радиального компонента возникающего при этом объемного электрического тока с азимутальным

собственным магнитным полем плазма ускоряется как и в токамаках во время срыва. Получаемыми потоками плазмы можно взаимодействовать на различные материалы и проводить эксперименты по их исследованию.

Импульсный плазменный ускоритель – это устройство предназначенное для получения плазменного потока со скоростью $10\text{-}10^3$ км/с. Такие плазменные потоки используются в исследованиях термоядерной энергетики и в улучшении свойств материалов при их обработке. Главной особенностью использования плазменного ускорителя в технике является то, что это устройство воспроизводит поток частиц с большой энергией и скоростью в широком диапазоне. [1-3].

В данной работе решались две задачи. На первом этапе были исследованы особенности работы ИПУ на водородно-гелиевой смеси газов. Второй этап был посвящен изучению характеристик плазменных потоков в зависимости от режимов работы ИПУ. Установка ИПУ состоит из коаксиально расположенных электродных систем, ускорительной камеры и накопительных конденсаторов энергии. В качестве рабочего газ был использован смесь водорода и гелия (H-He). Выбор данных газов обусловлен тем, что дает возможность моделировать процессы срыва плазменного шнура в устройствах термоядерного синтеза. Получение плазменного потока в камере состоит из нескольких стадий. Сначала конденсаторы заряжаются источниками питания и через электромагнитный клапан в импульсном режиме напускается газ в ускорительную камеру. В результате согласно закону Пашена при определенном значении давления между электродами образуется разряд. Образовавшийся плазменный поток ускоряется вдоль камеры со скоростью $10^6\text{-}10^8$ см/с [4-6]. Концентрация и энергия частиц в плазменном потоке определяются с помощью цилиндра Фарадея. Измерения проводились на расстоянии 6 см от полого анода.

Цилиндр Фарадея состоит из двух электродов. Внутренний электрод сделан из углерода из-за его значения наименьшей вторичной электронной эмиссии и смещен под отрицательным напряжением, то есть работает для собирания ионов, в то время как внешний электрод заземлен. На внешнем электроде сделано отверстие, для регулировки потока ионов. Для определения концентрации ионов использовалась следующая простая формула:

$$j_i = qn_i v_i$$

где j_i – плотность тока. $j_i = \frac{I}{A}$, A – площадь отверстия цилиндра Фарадея, v_i – скорость ионов. $v_i = \frac{d}{t}$, d – расстояние между полым анодом и цилиндром Фарадея, t – разница во времени между зажиганием плазмы и регистрируемым потоком ионов, достигнувших цилиндра Фарадея. Напряжение и время полета ионов фиксировались с помощью осциллографа.

Энергия ионов определялась с использованием следующей формулы:

$$E_i = \frac{1}{2} M_i v_i^2$$

На основе данных, полученных с помощью цилиндра Фарадея, были рассчитаны концентрация и энергия потока ионов в ИПУ.

Литература:

1. Ф.Б. Баимбетов, А.М. Жукешев, Б.М. Ибраев // Алматы. Казахский Национальный Университет, 2008.
2. Минько Л.Я. Получение и исследование импульсных плазменных потоков. Минск. Наука. 1973.
3. Морозов А.И. Физика и применение плазменных ускорителей. Минск. Наука и Техника. 1974.
4. Хаддлстоун Р., Леонард С. Диагностика плазмы- М. Мир, 1967.
5. М.К. Досболаев, А. Касен, А. Ниязымбетов, Т.С. Рамазанов // Вестник КазНУ. Серия Физика №4(51). 2014.
6. Smruti Ranjan Mohanty, Neman Bhuyan, Nirod Kumar Neog, Rabinda Kumar Rout, Eiki Hotta // Japanese Journal of Applied Physics, Vol.44, No.7A, 2005, pp. 5199-5205.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ И ТЕРМОВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Тлеубергенов Ж.К., Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Нанокондитные металлосодержащие пленочные покрытия являются новым классом современных материалов. Структура получаемой пленки, возможность выбирать состав и концентрацию нанопазы позволяют изменять физические характеристики материала в широких пределах.

В настоящей работе представлены результаты исследований наноразмерных композитных покрытий, полученных с помощью разработанной оригинальной технологии осаждения двух металлов на подложки с возможностью регулирования соотношений компонентов при температурах значительно ниже температуры плавления. Осаждение осуществлялось в вакууме из двух одновременно работающих источников - магнетрона и термовакuumного испарителя. В качестве мишеней в магнетронной технологии использовали алюминий, хром, медь и тантал. Термовакuumный испаритель обеспечивал в камере магнетрона необходимое давление паров обогащенного до 92% ^{57}Fe . Соотношение металлов в пленках можно было варьировать, изменяя скорость распыления. В качестве подложки использовали алюминиевую или медную фольгу, что не оказывало влияния на качество и структурное состояние наносимых покрытий, т.е. не обнаружено химическое взаимодействие подложка-покрытие.

Следует заметить, что кинетика процесса является довольно тонким механизмом, требующим подробного изучения и необходимых навыков для обеспечения воспроизводимости получаемых результатов.

Структурно-фазовое состояние зондовых мессбауэровских атомов ^{57}Fe получали с помощью метода КЭМС с регистрацией электронов внутренней конверсии (см. рисунок).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об образовании в результате термофлуктуационного плавления [1] твердого раствора железа в матрицах материалов мишеней.

Литература:

1. A. Tuleushev, Yu. Tuleushev, V. Volodin, The Physics of Metals And Metallography, vol.97, no.4, 2004, pp. 49-59.

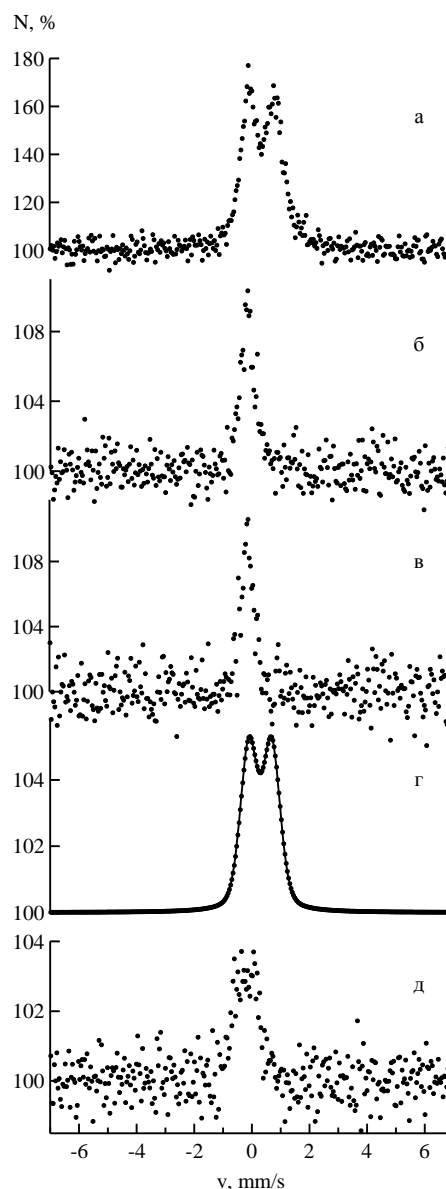


Рис. КЭМС-спектры на ядрах ^{57}Fe нанокондитных пленочных покрытий

- a) $\text{Al} + ^{57}\text{Fe}$ на медной подложке;
- б) $\text{Cr} + ^{57}\text{Fe}$ на медной подложке;
- в) $\text{Cr} + ^{57}\text{Fe}$ на алюминиевой подложке;
- г) $\text{Cu} + ^{57}\text{Fe}$ на медной подложке;
- д) $\text{Ta} + ^{57}\text{Fe}$ на медной подложке.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА

Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Введение в металлические материалы пучков ионизированных частиц путем ионной имплантации дает возможность получить сплавы, отсутствующие на равновесных диаграммах состояний, т.к. имплантант можно вводить в подложку в количествах, на несколько порядков превышающих равновесные пределы растворимости. Современные высокоточные ускорители заряженных частиц позволяют получать пучки практически любого химического элемента в широком диапазоне энергий, что дает возможность формировать состав, структуру и физические свойства поверхности твердых тел. Следует заметить, что конечное структурное состояние имплантированных ионов зависит от многих факторов (дозы, температуры, заряда, энергии и плотности тока ионного пучка; а также от отношения атомных масс бомбардирующих ионов и основной матрицы), что вызывает необходимость всесторонних исследований происходящих процессов.

В настоящей работе с помощью конверсионной мессбауэровской спектроскопии исследовались процессы формирования структуры поверхностных слоев при ионной имплантации ^{57}Fe в металлические фольги бериллия, алюминия, меди, циркония и тантала. Имплантация ионов ^{57}Fe в фольги размером $10 \times 10 \times 0.05$ мм осуществлялась на электростатическом перезарядном ускорителе тяжелых ионов УКП-2-1 ИЯФ РК. Плотность ионного тока составляла 20 нА. Энергия непрерывного потока ионов 50 кэВ, флюенс варьировался от $5 \cdot 10^{16}$ до $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Локальное окружение атомов железа по завершении процесса имплантации определяли методом электронной мессбауэровской спектроскопии на спектрометре MS-110Em при комнатной температуре. Источником γ -квантов служил ^{57}Co в матрице хрома. Анализ и обработку мессбауэровских спектров проводили методом модельной расшивки с помощью программы SpectrRelax. Для расчета степени воздействия ионного пучка на кристаллическую решетку матрицы использовали компьютерную программу STRIM-2008. Условия облучения ионами железа были выбраны так, чтобы глубина проникновения ионов вглубь подложки была соизмерима с толщиной, доступной для исследования методом КЭМС (~100 нм). Элементный состав приповерхностного слоя определяли с помощью электронного растрового микроскопа JEOL JSM-6610 (ЭСМ).

В таблице приведены мессбауэровские параметры КЭМС-спектров ^{57}Fe , имплантированного в однокомпонентные матрицы, а также содержание углерода и железа в весовых процентах из данных микроанализа элементного состава облученных образцов. Видно, что в результате облучения происходит значительное обогащение подложек атомами углерода.

Матрица	C, вес. %	^{57}Fe , вес. %	Дублет				Синглет			Доза
			I, %	δ , мм/с	ϵ , мм/с	Γ , мм/с	I, %	δ , мм/с	Γ , мм/с	
Al(^{57}Fe)			97.7 \pm 1.9	0.170 \pm 0.006	0.266 \pm 0.004	0.58 \pm 0.02	2.3 \pm 1.9	0.39 \pm 0.02	0.19 \pm 0.03	$5 \cdot 10^{16}$
Be(^{57}Fe)	63.1	23.0	98.1 \pm 1.0	0.170 \pm 0.005	0.406 \pm 0.003	0.84 \pm 0.01	1.9 \pm 1.0	-0.16 \pm 0.02	0.25 \pm 0.04	$4 \cdot 10^{17}$
Cu(^{57}Fe)	25.5	1.14	98.0 \pm 0.7	0.179 \pm 0.004	0.387 \pm 0.002	0.81 \pm 0.01	2.0 \pm 0.7	-0.20 \pm 0.01	0.26 \pm 0.02	$1 \cdot 10^{17}$
Zr(^{57}Fe)	27.5	0.52	91.3 \pm 13	0.07 \pm 0.01	0.44 \pm 0.01	0.68 \pm 0.03	8.7 \pm 13	-0.02 \pm 0.02	0.5 \pm 0.2	$5 \cdot 10^{16}$
Zr(^{57}Fe)			97.2 \pm 1.3	0.165 \pm 0.006	0.404 \pm 0.003	0.84 \pm 0.02	2.8 \pm 1.3	-0.21 \pm 0.01	0.28 \pm 0.03	$1 \cdot 10^{17}$
Ta(^{57}Fe)	18.6	0.96	97.3 \pm 0.8	0.182 \pm 0.004	0.402 \pm 0.003	0.86 \pm 0.01	2.7 \pm 0.8	-0.19 \pm 0.01	0.26 \pm 0.02	$1 \cdot 10^{17}$

КЭМС-спектры состоят из синглета и дублета, что указывает на два состояния имплантированных атомов железа в подложках. Резонансные спектры ионно-имплантированных слоев не выявили присутствия в них кристаллического α -Fe. Одиночная линия обусловлена атомами Fe, не имеющими в ближайшем окружении собственных атомов (мономеры железа). Мессбауэровские параметры дублетов, как видно из таблицы, близки, что указывает на отсутствие взаимодействия имплантированных атомов с кристаллической решеткой матрицы. Можно предположить, что в ходе облучения появляется углеродная пленка, способствующая образованию мелкодисперсных карбидов железа в приповерхностном слое облученных материалов.

ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 316

Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Нержавеющие стали аустенитного класса типа AISI 304 широко используются в качестве конструкционных материалов атомных реакторов. Изучение поведения их в поле ионизирующих излучений и при экстремальных механических и тепловых нагрузках является предметом многих исследователей, включая и авторов данной работы.

В настоящей работе методами мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов, рентгенографии и сканирующей микроскопии исследовали фазовые превращения в аустенитной нержавеющей стали AISI 316. В качестве образца свидетеля использовали сталь AISI 304. Нержавеющая хромоникелевая молибденовая сталь AISI 316 является улучшенной модификацией стали AISI 304 за счет добавления 2.5% молибдена. Сталь этой марки особенно устойчива к коррозии, высоким температурам и агрессивным средам, что позволяет широко использовать её для производства твэлов активной зоны промышленных реакторов на быстрых нейтронах.

Для исследований были подготовлены образцы сталей в виде пластин размером 10×10×0.05 мм подвергнутые шлифовке, полировке и последующему отжигу при температуре 650 °С в течение двух часов в вакууме 1·10⁻⁶ мм рт. ст. Имплантацию ионов ⁵⁷Fe осуществляли на электростатическом перезарядном ускорителе тяжелых ионов УКП-2-1 ИЯФ РК. Плотность ионного тока составляла 20 нА. Энергия непрерывного потока ионов 50 кэВ, флюенс составил 5·10¹⁶ ион/см². Электронную и магнитную структуру имплантированных атомов определяли методом мессбауэровской спектроскопии в геометрии обратного рассеяния с регистрацией электронов внутренней конверсии на спектрометре MS-110Em.

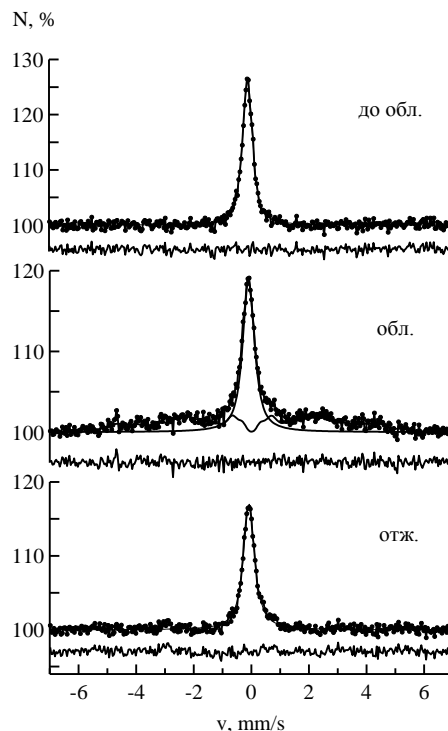
Образец	C, вес.%	O, вес.%	Ti, вес.%	Cr, вес.%	Fe, вес.%	Ni, вес.%	Mo, вес.%
AISI 304 неobl.	14.43	5.78	1.23	18.54	75.34	10.8	–
AISI 304 obl.	25.47	4.7	0.04	19	77.01	10.97	–
AISI 316 неobl.	4.2	2.24	–	20.65	79.32	12.45	2.33
AISI 316 obl.	13.6	–	–	20.85	79.61	12.53	2.68

Рентгеноструктурный анализ выполняли на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER. Элементный состав приповерхностного слоя определяли с помощью электронного растрового микроскопа JEOL JSM-6610. В таблице приведены результаты элементного анализа сталей до и после облучения. На рисунке показаны мессбауэровские спектры стали AISI 316.

Рентгенодифрактометрический метод и мессбауэровская спектроскопия показали монофазу аустенитного типа в исходных сталях. Доминирующей фазой в облученных образцах по-прежнему остается аустенит, и в небольших количествах присутствует инициируемая облучением мартенситная фаза.

Отжиг облученных образцов приводит к восстановлению аустенитной структуры сталей. Установлено, что электронная структура мессбауэровских атомов в нержавеющей сталях AISI 304 и 316 не отличаются. Следовательно, молибден не оказывает влияние на ближний порядок ⁵⁷Fe в стали AISI 316. Имплантация собственных атомов (⁵⁷Fe) в сталь AISI 316 приводит, как и в случае со сталью AISI 304, к мартенситным превращениям.

Работа выполнена при поддержке МНТЦ (Проект К-1985).



РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОГО ЛИТИЯ В МЛД КТМ

Туллубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н.,
Заурбекова Ж.А., Скаков М.К., Тажибаева И.Л.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Работы по проектам реакторов ИТЭР и ДЕМО показали, что решение проблем приемных внутрикамерных элементов токамака, контактирующих с плазмой, на основе традиционных технических подходов и использовании существующих конструкционных материалов вызывает серьезные трудности. Наиболее перспективным кандидатом в качестве контактирующего с плазмой материала приемных пластин дивертора, лимитера и первой стенки является жидкий литий. Реализация преимуществ этого материала основана на использовании литиевой капиллярно-пористой системы (КПС) – принципиально нового материала, в котором жидкий литий заключен в матрицу из пористого твердого материала. Исследование этого типа материала было начато на токамаке Т-11М и продолжается в настоящее время на других термоядерных установках. В Казахстане также проводятся работы по данной тематике. Так, в Институте атомной энергии на токамаке КТМ был создан макет литиевого дивертора (МЛД).

Одной из важных задач при использовании данного внутрикамерного элемента КТМ является разработка методики оценки количества лития в МЛД во время испытаний модуля на токамаке при низких давлениях остаточных газов и в вакууме при температурах, превышающих точку плавления лития.

В ходе выполнения работ по решению данной задачи была разработана методика оценки изменения количества жидкого лития в МЛД. Методика основана на анализе температуры МЛД и скорости его нагрева, используя уравнения теплового баланса.

При помощи уравнения теплового баланса было рассчитаны времена нагрева макета литиевого дивертора в зависимости от мощности нагревателя, установленного на МЛД, до температуры, превышающей точку плавления лития, и определены линии ликвидуса лития в зависимости от скорости нагрева. На основании данных расчетов, по времени фазового перехода лития из твердого состояния в жидкое, возможно определить его количество в МЛД на данном этапе испытаний модуля. В результате разработки данной методики был подобран оптимальный временной режим и оптимальная мощность нагревателя для максимально достоверного определения количества лития в МЛД в ходе проведения испытаний литиевого внутрикамерного элемента на токамаке КТМ. Расчеты проводились в рабочей среде Mathcad.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ TiMoN НА СТАЛИ 12X18N10T

Уралов М.К., Ларионов А.С., Диков А.С., Кислицин С.Б.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Известно, что покрытия на основе нитридов переходных металлов обладают повышенной твердостью, износостойкостью, термической стабильностью. Наилучшие результаты были обнаружены для многокомпонентных композиционных покрытий на основе твердых растворов нитридов нескольких металлов (Ti-Cr-N, Ti-Zr-N и других [1-3]). Это позволяет предполагать, что такие системы будут перспективны в качестве защитных покрытий для конструкционных материалов изделий нефтеперерабатывающей, горнодобывающей, пищевой и других отраслей промышленности. Для этих отраслей актуальной задачей является создание материалов, обладающих хорошими механическими свойствами (прочность, термическая стабильность, износостойкость) и высокой коррозионной стойкостью по отношению к агрессивным средам. Активно развивающимся направлением создания таких материалов является нанесение обладающих этими свойствами защитных покрытий, на материалы, не обладающие этими свойствами, что позволяет значительно удешевить производство таких материалов. Перспективный класс таких материалов, которые можно использовать в качестве защитных покрытий, представляют собой тройные соединения нитридов переходных металлов – TiZrN, TiCrN, TiMoN. Поскольку по покрытиям TiZrN, TiCrN уже есть отдельные, хотя и далеко не полные исследования, см., например, работы [2, 3], то покрытиям на основе соединения TiMoN уделено значительно меньше внимания. Поэтому в данной работе

для изучения коррозионной стойкости и твердости нами выбраны покрытия TiMoN на аустенитной стали 12X18H10T. Механические свойства и коррозионная стойкость покрытий TiMoN сопоставлены с этими же характеристиками нержавеющей стали 12X18H10T.

Покрытия TiMoN синтезированы методом вакуумной конденсации с ионной бомбардировкой на подложке из нержавеющей стали 12X18H10T. Толщина слоя покрытия составляет ~2500 нм. Элементный состав покрытия следующий: Ti – 50 ат.%, Mo – 30 ат.%, N – 20 ат.%, причём содержание Mo неоднородно по толщине покрытия и увеличивается по мере увеличения расстояния от поверхности. Приповерхностный слой – покрытие, представляющее собой соединение TiMoN с ГЦК решеткой типа NaCl и параметром решетки $a = 0,4298 \pm 0,0006$ нм.

Исследования физико-механических характеристик аустенитной стали 12X18H10T и соединения TiMoN дали следующие результаты. Нанотвердость, измеренная методом склерометрии на сканирующем нанотвердомере «Наноскан-компакт», составила: для стали ~3,3 ГПа, для покрытия TiMoN – 35 ГПа. Скорость коррозии в 3% растворе NaCl для стали – $9 \cdot 10^{-3}$ мм/год, для покрытия TiMoN – $6 \cdot 10^{-6}$ мм/год.

Из проведенных испытаний следует что по всем параметрам – твердости поверхности, коррозионной стойкости покрытие TiMoN многократно превосходит нержавеющую конструкционную сталь 12X18H10T.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 2798/ГФЗ МОН РК.

Литература:

1. Ивановский А.Л. Тройные карбиды и нитриды на основе переходных металлов и элементов ПVB- и IVB-подгрупп: электронное строение и химическая связь. // Успехи химии – 1996. - Т.65. - №6. - С. 499-518.
2. Uglov V.V., Anishchik V.M., Zlotski S.V., Abadias G., Dub S.N. Structural and mechanical stability upon annealing of arc-deposited Ti-Zr-N coatings. Surf. Coat. Technol // 2008. - V.208. - P.2394-2398.
3. Кулешов А.К., Ходасевич В.В., Углов В.В., Анищик В.М., Даниленок М.М. Термостабильность поверхностных слоев нитридов титана и хрома, сформированных конденсацией с ионной бомбардировкой на твердом сплаве T5K10 // Перспективные материалы - 2009.- №2.- С. 68-73.

РЕКОМБИНАЦИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ BaWf₈

Нуритдинов И.¹, Аташов Б.Т.², Утениязова А.Б.²

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

² Нукусский педагогический институт им. Ажинияза, г. Нукус, Каракалпакистан

В спектрах РЛ чистых и легированных с Се и Сг образцов BaWf₈, синтезированных гидротермальным способом, обнаружена полоса с максимумом в 490 нм, полуширина которой составляет около 150 нм. В температурной зависимости РЛ максимальная интенсивность имеет место в области температур от 180 К до 270 К, а при комнатной температуре – она составляет 80% от значения максимальной интенсивности. Спектрально-кинетические характеристики исследованных материалов приведены в таблице. Для сравнительной оценки эффективности люминофоров на основе BaWf₈ были также измерены люминесцентно-временные характеристики стандартных промышленных кристаллов NaI (Tl).

Таблица. Основные характеристики люминофоров на основе BaWf₈

Люминофор	Интенсивность послесвечения через 20 мс, % от исходной	Интегральный световыход, в % относительно NaI(Tl)	Максимум излучения, нм	Полуширина полосы излучения, нм
BaWf ₈	0,014	32	490	150
BaWf ₈ :10% Се ₂ (SO ₄) ₃	0	27	490	150
BaWf ₈ :2% CrF ₃	0	36,5	490	150

Из таблицы видно, что интегральный световыход РЛ кристаллов BaWf₈ составляет 32%, а для BaWf₈:2% CrF₃ – 36,5% от интегрального световыхода РЛ традиционного люминофора NaI(Tl). Интенсивность РЛ, измеренная через 20 мс после прекращения облучения, у кристаллов BaWf₈ составляет 0,014% от исходной интенсивности РЛ через 20 мс после прекращения облучения. В этом плане наилучшей характеристикой обладают легированные образцы: в этих образцах послесвечение через 20 мс не наблюдается вообще.

Анализ полученных результатов показывают, что нелегированные и легированные кристаллы BaWf₈, синтезированные гидротермальным способом, являются перспективными материалами для рентгеновской томографии.

УРАН-ЭРБИЕВОЕ ТОПЛИВО РЕАКТОРОВ РБМК

Федосов А.М.

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Эрбий рассматривается в качестве перспективного выгорающего поглотителя для легководных реакторов в длительных (~2 лет) кампаниях топлива. Имеется некоторый опыт производства и эксплуатации ТВС с эрбием для PWR. Однако только в России накоплен уникальный, почти 20-летний, опыт полномасштабного использования уран-эрбиевого топлива в реакторах РБМК, которое более 15 лет является штатным для данных реакторов.

Разработка и внедрение уран-эрбиевого топлива РБМК явились следствием ситуации, которая сложилась после аварии на Чернобыльской АЭС. Для снижения парового коэффициента реактивности, большая положительная величина которого была одной из основных причин катастрофических последствий аварии, в активные зоны РБМК-1000 на место ТВС загрузили порядка 80 дополнительных поглотителей из бористой стали, что привело к увеличению расхода ТВС на 30%. Резко ухудшились экономические показатели топливного цикла. Увеличилась скорость заполнения бассейнов выдержки и хранилищ отработавшего ядерного топлива.

Поиски альтернативного пути повышения безопасности РБМК в конце 80-х начале 90-х годов, в конечном счете, привели к созданию уран-эрбиевого топлива. От начала работ по уран-эрбиевому топливу до загрузки первой ЭТВС (ТВС с эрбием) прошло всего 3 года. Такой темп был возможен лишь при тесной кооперации организаций, участвовавших в проекте: РНЦ «Курчатовский институт», НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала, ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, «Машиностроительный завод» (г. Электросталь).

Использование уран-эрбиевого топлива в РБМК позволило решить ряд актуальных задач:

- повысить безопасность реактора,
- обеспечить условия для модернизации стержней регулирования,
- снизить остроту проблемы хранения отработавшего топлива,
- улучшить экономические показатели.

По оценкам за первые 10 лет экономический эффект от использования уран-эрбиевого топлива в РБМК составил более 1 миллиарда долларов США (без учета экономии затрат на хранение отработавшего топлива).

В докладе рассмотрены физические основы выбора эрбия в качестве выгорающего поглотителя для топлива РБМК, свойства уран-эрбиевого топлива, влияние его на характеристики реактора, стратегия перевода реакторов на новое топливо, опыт эксплуатации.

Учитывая возросший интерес к использованию эрбия в качестве выгорающего поглотителя в ВВЭР и некоторых других реакторах, опыт разработки и эксплуатации уран-эрбиевого топлива РБМК может быть полезен.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ САПФИР 22-МП-ВН ДЛЯ РАБОТЫ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ В ЧАСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА HART

Дулов Е.Н.¹, Халабуда Ю.Э.¹, Шурыгин В.А.²

¹ КФУ, г. Казань, Россия

² ООО НПВО «Развитие», г. Казань, Россия

Датчики давления высокой надёжности серии Сапфир 22-МП-ВН (далее – датчики) рассчитаны на работу в составе систем промышленной автоматизации [1]. Датчики имеют аналоговый интерфейс токовой петли, как двухпроводной 4-20 мА, так и четырёхпроводной 0-5 мА, 0-20 мА, предназначенный для совместимости с системами автоматики предыдущих поколений, а также для независимого простого контроля показаний в полевых условиях. Кроме аналогового, в моделях до 2014 года выпуска включительно реализован цифровой интерфейс ModBus RTU/ASCII поверх RS-485. Цифровой интерфейс предоставляет широкие возможности управления датчиком, и, в большинстве случаев, оказывается более удобным и предпочтительным в сравнении с кнопочным управлением.

Основой датчиков Сапфир 22-МП-ВН является современная элементная база фирм Analog Devices, Texas Instruments, Maxim. Применение в датчиках центрального процессора серии MSP430F5xxx позволило добиться среднего тока потребления датчиков около 3 мА, и обусловило возможность их дальнейшей модернизации. Предметом модернизации, представленным в настоящей работе, стало введение нового цифрового интерфейса HART поверх токовой петли, в дополнение к имеющемуся ModBus.

HART протокол является проприетарным, документация по нему, выделение и публикация уникальных идентификаторов производителя и устройства осуществляется HCF (HART Community Foundation, HART-сообщество). Важное преимущество HART-интерфейса перед ModBus это возможность работы по двухпроводной токовой петле, что упрощает монтаж и уменьшает вероятность ошибок. Двухпроводная токовая петля является источником питания датчика, линией передачи аналогового токового сигнала и линией передачи цифрового HART-сигнала одновременно. При этом выбранный тип манипуляции (FSK, Frequency Shift Keying) и занимаемая HART полоса в спектре сигнала делают вклад в погрешность аналогового сигнала токовой петли пренебрежимо малым при временах интеграции от 1 секунды. Если HART-интерфейс не используется, то работа датчика полностью идентична работе датчика без аппаратной HART-части. Другим важным преимуществом является частичная унификация HART-протокола, гарантирующая совместимость с любым оборудованием АСУТП верхнего уровня в части базовых функций, а также ориентированность HART-протокола на работу с такими распространёнными датчиками физических величин как датчики температуры, давления, уровня, скорости потока и т.д. Работа HART поверх токовой петли облегчает переход к современным системам автоматики с цифровыми интерфейсами. Недостатком HART является низкая, в сравнении с ModBus, скорость обмена, однако в практических приложениях редко требуется получать данные от датчиков чаще раза в секунду.

Модернизация Сапфир 22-МП-ВН включает в себя установку HART-модема внутри датчика и доработку встраиваемого программного обеспечения в части поддержки HART-протокола. В качестве HART-модема выбрана интегральная схема AD5700, одно из последних решений от Analog Devices в части HART. AD5700 имеет синтезатор гармонических цугов, необходимых для FSK-модуляции сигнала HART. Более простые решения используют фильтрацию изначально прямоугольного сигнала, и это негативно сказывается на качестве линии связи. AD5700 имеет небольшой ток потребления ~0.2 мА, что в сочетании с потреблением остального прибора позволяет выбирать ток отсечки 3.8 мА без потери цифровой связи по HART.

Датчики Сапфир 22-МП-ВН с функцией HART протестированы в сочетании с различными коммутаторами, HART-модемами и программным обеспечением верхнего уровня, а также введены в опытную эксплуатацию на ОАО «Танэко», г. Нижнекамск.

Литература:

1. Дулов Е.Н., Халабуда Ю.Э., Шурыгин В.А. Материалы 9-й международной конференции «Ядерная и радиационная физика» ICNRP-2013, 24-27 сентября 2013 г., Алматы, Казахстан, с.57.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Хромушин И.В.¹, Аксенова Т.И.¹, Гусев Т.Т.¹, Мунасбаева К.К.¹,
Ермолаев Ю.В.², Ермолаев В.Н.², Сеитов А.С.²

¹ РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

² Казахский Национальный Технический Университет им. К. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

В последние годы начаты исследования влияния ионизирующего излучения на структуру и свойства твердооксидных электролитов перспективных для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую. В данной работе представлены результаты исследований влияния облучения тяжелыми ионами и электронами на структуру и свойства церата бария, допированного неодимом, и стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония.

Керамические образцы электролитов предварительно отжигали на воздухе при температуре 650 °С в течение 7 часов. Облучение тяжелыми ионами (O, Ne, Ar, Kr) с энергией 20 кэВ/заряд и 1,75 МэВ/нуклон проводили на ускорителе ДС-60 Института ядерной физики РК, г. Астана. Облучение электронами с энергией 1,4 МэВ было выполнено на линейном ускорителе ЭЛВ-4 ИЯФ, г. Алматы.

Рентгенофазовый анализ керамики выполнен на дифрактометре X'PertPRO. Морфология и химический состав локальных участков поверхности изучены с применением сканирующей зондовой микроскопии (NT-MDT) и растрового электронного микроскопа – микроанализатора JEOL JSM-6490. Исследования форм локализации протонов и углеродных примесей в церате бария выполнены методами термодесорбционной (радиочастотный масс-спектрометр МХ-7304) и инфракрасной спектроскопии (ИК Фурье-спектрометр IA-Prestige – 21).

Экспериментально установлено, что изменения структуры и свойств допированного церата бария зависят от типа и энергии ионов. Показано, что структура церата бария сохраняет перовскитный тип после облучения низкоэнергетическими ионами инертных газов, а также после облучения ионами кислорода, независимо от энергии, и электронами. В случае облучения высокоэнергетическими ионами инертных газов обнаружена аморфизация кристаллической решетки, которая имела место, как на облученной поверхности, так и на обратной стороне керамики, что позволило сделать вывод об эффекте дальнего действия. При облучении керамики низкоэнергетическими ионами инертных газов на поверхности церата наблюдался блистеринг, тогда как ионы инертных газов с высокой энергией вызывали формирование структур, напоминающих начальные стадии роста сферолитов. Облучение церата бария ионами кислорода независимо от энергии не вызывало подобных изменений морфологии поверхности, а облучение электронами сопровождалось формированием на поверхности пирамидальных наноразмерных структур.

Исследования состояния газовых компонент в облученном церате бария выявили ряд особенностей десорбции O₂, H₂O и CO₂ в зависимости от типа и энергии ионов. Оказалось, что облучение церата бария низкоэнергетическими ионами инертных газов (независимо от типа ионов) сопровождалось увеличением примерно в 3 раза количества десорбированного кислорода и одновременным уменьшением количества десорбированной воды. При облучении церата бария ионами инертных газов высоких энергий наблюдали монотонную зависимость выхода кислорода и воды от массы ионов – отсутствие выхода O₂ после облучения ионами неона и увеличение его выхода в ряду Ar, Kr почти до исходного значения. Облучение ионами кислорода и электронами не вызывали существенных изменений термодесорбционных спектров.

Выявленное различие в формировании структуры поверхности цератов при их облучении ионами инертных газов и кислорода, вероятно, связано с различием их растворимостей. Предполагается, что в первом случае имеет место пересыщение исследуемого материала дефектами решетки посредством их стабилизации ионами инертных газов с образованием комплексов «инертный газ – вакансии». Доказательством высокой стабильности данных комплексов является отсутствие выделения инертных газов из образцов вплоть до 1000 °С в экспериментах по термодесорбции. В случае облучения церата ионами кислорода равновесная концентрация дефектов значительно ниже вследствие более высокой растворимости кислорода в церате.

Результаты термодесорбционных экспериментов позволили предположить, что переменная валентность неодима +3/+4 может оказать определенное влияние на процессы дефектообразования при облучении церата бария. Поскольку облучение церата ионами инертных газов низких энергий приводит к увеличению количества десорбированного кислорода, можно предположить, что облучение увеличивает долю неодима с валентностью +4 по сравнению с необлученным материалом. Концентрация кислородных вакансий, доступных для гидроксильных групп при этом уменьшается, соответственно, уменьшается и количество десорбированной воды. При облучении высокоэнергетическими ионами имеет место противоположная картина.

Работа выполнена при поддержке гранта № 0378/ГФ4 МОН РК.

МЕХАНИЧЕСКИЕ, МАГНИТНЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ

Яровчук А.В., Максимкин О.П., Турубарова Л.Г., Мережко Д.А.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

e-mail: yarovchuk@mail.ru, maksimkin@inp.kz

Реакторные аустенитные нержавеющие стали в результате облучения большим флюенсом высокоэнергетических частиц (нейтронами, ионами водорода и гелия) теряют свою работоспособность, изменяют механические и коррозионные свойства. Одной из возможных причин снижения эксплуатационных характеристик может быть влияние наводороживания.

В настоящей работе приведены данные по влиянию электролитического насыщения водородом аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т на ее структуру, механические, магнитные и коррозионные свойства.

В исследованиях использовали стальные плоские образцы размерами $3 \times 0.8 \times 20.0$ мм², которые предварительно аустенизировали при 1050 °С 30 минут. Наводороживание проводили при вариации плотности тока (j) $8 \div 20$ мА/см² в 1N растворе H₂SO₄ с добавкой CH₄N₂S. Время наводороживания изменяли от 45 минут до 145 часов. Исходные и наводороженные образцы перед деформацией растяжением помещали в жидкий азот. Деформирование осуществляли на разрывной машине Инстрон-1195 со скоростью перемещения захватов 0.5 мм/мин. В процессе растяжения регистрировали изменение нагрузки и с помощью ферритометра «Forster» определяли содержание индуцированной деформацией магнитной фазы. Коррозионную стойкость исследовали в соответствии со стандартом ASTM G-48-03, ГОСТ 9.912-89, склонность к межкристаллитной коррозии определяли методом АМУФ (ГОСТ 6032-2003). Измерение массы осуществляли на электронных аналитических весах KERN-770 с погрешностью 0.001 г. Микроструктурные исследования выполняли на оптических микроскопах «МеФ-2» и «Noephot-2».

Исследования показали, что использование различных режимов наводороживания (изменение времени, плотности тока и температуры эксперимента) приводит в одних случаях к упрочнению материала, в других к снижению предела прочности, текучести, изменению пластичности. Микроструктурные исследования наводороженных стальных образцов после деформации растяжением позволили выявить присутствие большого количества дефектных полостей, ориентированных перпендикулярно направлению действия растягивающей нагрузки, плотность дефектов составляла $(15 \div 30) \cdot 10^4$ см⁻². Установлено, что деформация в наводороженных стальных образцах способствовала более раннему развитию фазового $\gamma \rightarrow \alpha'$ перехода. Мартенсит деформации в наводороженных образцах появлялся при степенях на 3-5% меньших, чем в аустенизированных, и к концу растяжения в них содержалось большее количество α' -фазы. Изучение склонности наводороженных образцов к локальным видам коррозии (межкристаллитной, питтинговой) выявило снижение устойчивости стали к воздействию агрессивной среды.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что присутствие водорода изменяет структуру аустенитной стали, влияет на кинетику мартенситного превращения, стимулирует образование макроскопических дефектов, определяющих эксплуатационные характеристики конструкционного материала.

Секция 2
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА



Section 2
NUCLEAR PHYSICS

REACTION RATE DETERMINATIONS AT EXTREMELY LOW TEMPERATURES FOR LIGHT ELEMENTS NUCLEAR BURNING: THE IMPACT OF TROJAN HORSE METHOD MEASUREMENTS

L. Lamia¹, C. Spitaleri^{1,2}, R.G. Pizzone², S. Degl'Innocenti^{3,4}, E. Tognelli^{3,4}, A. Mukhamedzhanov⁵, M. La Cognata², P.G. Prada Moroni^{3,4}, S.M.R. Puglia², G.G. Rapisarda^{1,2}, S. Romano^{1,2}, M.L. Sergi², and A. Tumino^{6,2}

¹ *Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Catania, Catania, Italy*

² *Laboratori Nazionali del Sud-INFN, Catania, Italy*

³ *Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Pisa, Italy*

⁴ *INFN Sezione di Pisa, Pisa, Italy*

⁵ *Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA and*

⁶ *Università Kore di Enna, Enna, Italy*

e-mail: llamia@lns.infn.it

The complete understanding of the genesis of the chemical elements in astrophysics and the corresponding temporal evolution passes through the accurate knowledge of some critical physical input parameters. Among of these, nuclear physics inputs represent still today one of the most important ones since astrophysical models require their knowledge at extremely low temperatures. In the case of quiescent burning, the nuclear burning of the light elements deuterium, lithium, beryllium and boron starts to be important at temperatures of some 10^6 Kelvin, thus fixing the corresponding Gamow energy peak at some *keVs*. Thus, in order to explore this low energy region, the Trojan Horse Method THM [1] appears to be particularly suitable for studying charged particle induced reactions, being the THM able to bypass the experimental difficulties typical of direct measurements (such as cross sections values of some 10^{-9} - 10^{-12} barn or electron screening phenomena [2]). Here, the most recent lithium, beryllium and boron [3-6] destroying reaction rate determinations will be discussed, particularly underlying their impact on astrophysical environments as deduced by means of devoted astrophysical model calculations. Additionally, the role of THM in shedding light on the still unsolved electron screening phenomena will be discussed, being THM, up to now, one of the most powerful probe for measuring bare-nucleus cross sections at energies relevant for astrophysics.

References:

1. R. Tribble, C.A. Bertulani, M. La Cognata, A.M. Mukhamedzhanov, and C. Spitaleri, *Rep. Prog. Phys.* 77, 106901 (2014)
2. Iliadis C. "Nuclear Physics of Stars", Wiley-VCH (2007)
3. Lamia L., C. Spitaleri, N. Carlin et al., *Journ. of Physics G, Nucl. and Particl. Phys.*, 39, 015106 (2012)
4. Lamia L., C. Spitaleri, R. G. Pizzone, E. Tognelli et al., *The Astrophys. Journ.*, 768, 65 (2013)
5. C. Spitaleri, L. Lamia, S.M.R. Puglia et al., *Phys. Rev. C*, 90, 035801 (2014)
6. J. Grineviciute, L. Lamia, A. Mukhamdezhanov et al., *Phys. Rev. C*, 91, 014601 (2015)

ACCELERATOR PRODUCTION OF ^{99}Mo

R.J. Peterson

Department of Physics, University of Colorado, Boulder, Colorado USA

The radioisotope $^{99\text{m}}\text{Tc}$ is the most commonly applied gamma-ray tracer, with over 30 million global procedures per year, for 80% of all radiopharmaceutical diagnostic procedures. This 6.0 hour product is derived in the physician's office from 66 hour ^{99}Mo , which is currently produced by the 6.1% branch to mass 99 of thermal neutron induced fission of ^{235}U . The reactors making this valuable isotope are aging, with recent restrictions on the enrichment of the ^{235}U target, and shortages have been reported. There are many efforts to use the advances in accelerator technology as means to replace or supplement these few fission reactors. Beams of electrons, protons, and deuterons have all been proposed, with the ^{99}Mo production coming from fission induced by the accelerator beams or by secondary neutrons, or by charged particle reactions. Many of the fundamental cross sections and yields have been measured, perhaps with satisfactory accuracy, and target technologies are being developed to use modern intense beams. Many new and established companies are proposing commercial facilities to supply the important ^{99}Mo isotope. These reactions, accelerators, and prospects will be reviewed, in view of the strong predicted demands for $^{99\text{m}}\text{Tc}$ diagnostic scans [www.oecd-nea.org/med-radio/reports/long-term-assessment-99mtc.pdf].

TROJAN HORSE CROSS SECTION MEASUREMENTS AND THEIR IMPACT ON PRIMORDIAL NUCLEOSYNTHESIS

R.G. Pizzone¹, C. Bertulani³, R. Sparta^{1,2}, C. Spitaleri^{1,2},
M. La Cognata¹, L. Lamia², A. Mukhamedzhanov⁴

¹ INFN - Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy

² Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Catania, Catania, Italy

³ Department of Physics and Astronomy, Texas A&M University, Commerce, TX, USA

⁴ Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, TX, USA

e-mail: rgpizzone@lns.infn.it

Big Bang Nucleosynthesis (BBN) nucleosynthesis requires several nuclear physics inputs and, among them, an important role is played by nuclear reaction rates. They are among the most important input for a quantitative description of the early Universe. An up-to-date compilation of direct cross sections of $d(d,p)t$, $d(d,n)^3\text{He}$ and $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$ reactions is given, being these ones among the most uncertain bare-nucleus cross sections.

An intense experimental effort has been carried on in the last decade to apply the Trojan Horse Method (THM) to study reactions of relevance for the BBN and measure their astrophysical $S(E)$ -factor. The result of these recent measurements is reviewed and compared with the available direct data. The reaction rates and the relative error for the four reactions of interest are then numerically calculated in the temperature ranges of relevance for BBN ($0.01 < T_9 < 10$) and compared with up-to-date reaction rate compilations. Their value were therefore used as input physics for primordial nucleosynthesis calculations in order to evaluate their impact on the calculated primordial abundances of D , ^3He and ^7Li . These ones were then compared with the observational primordial abundance estimates in different astrophysical sites. A comparison was also performed with calculations using other reaction rates compilations available in literature.

INVESTIGATION OF ELASTIC SCATTERING OF PROTONS FROM ^{14}N NUCLEI AT LOW ENERGIES

N. Burtebayev¹, D.M. Zazulin¹, Zh.K. Kerimkulov¹, M. Baktybayev¹,
 D.K. Alimov^{1,2}, Y.S. Mukhamejanov^{1,2}, M. Nassurlla^{1,3},
 D. Sairanbayev^{1,2}, D.M. Janseitov^{1,3}, A.N. Bahtibaev⁴

¹ *Institute of Nuclear Physics of the Republic Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan,*

² *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

³ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,*

⁴ *A. Yassavi IKTU, Turkestan, Kazakhstan*

The purpose of this study is experimental and theoretical study of the elastic scattering of protons from ^{14}N nuclei at energies close to the Coulomb barrier.

Experiments were carried out on a linear accelerator UKP-2-1 at INP (Almaty). The accelerated protons energies were 700-1100 keV. Measurements of the differential scattering cross sections were made in the angular range of 20° - 170° in laboratory system. The particles were detected by silicon detectors with sensitive layer 200 microns thick. The employed targets were thin films made of titanium nitride with thickness of $60\text{-}70\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Thicknesses of targets were defined with a accuracy within 5%. In general, the absolute error of the data included angular determination uncertainty, measurement error of the beam current, statistical error and did not exceed 10%. As an example, the cross sections for elastic scattering of protons from ^{14}N nuclei at energies 700 and 800 keV are shown on figure 1.

The experimental data were analyzed within the framework of standard phenomenological optical model and semi-microscopic folding model.

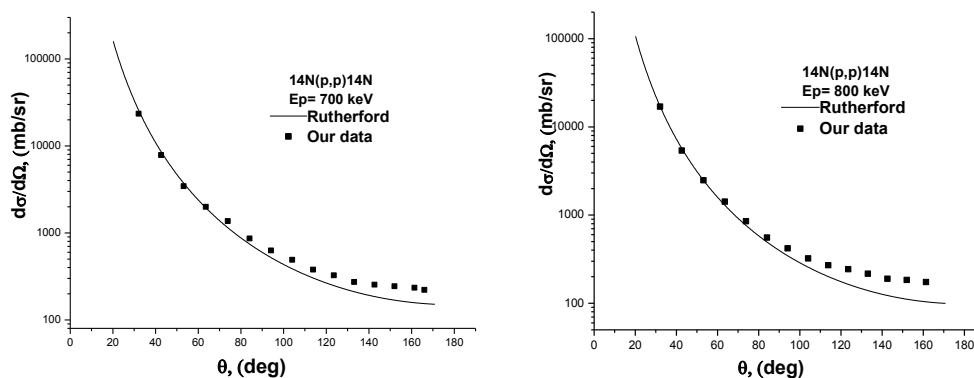


Fig. 1. Differential cross sections for elastic scattering of protons by nitrogen nuclei ($E_p = 700$ and 800 keV)

NONLINEAR CORRECTIONS AND STRUCTURE FORMATION AT STRONG INTERACTIONS

A.T. Temiraliev, I.A. Lebedev

Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan

Perturbative QCD with asymptotic freedom is effective in the high-energy limit (at short distances) but there are uncertainty in non-perturbative region. Many investigations on nonlinear corrections to linear evolution equations DGLAP and BFKL or CCFM had done to understand which of nonlinear equations describe quark-gluon dynamics. There are some applications of science of nonlinear dynamics, chaos and fractals in hadron physics [1-3]. In the framework discrete map method of nonlinear dynamics we proposed the nonlinear equation [4, 5], which is consider a quark-gluon dynamical system described by the evolution equation of the map form: $x_{t+1} = \{R \cdot F(x_t)\}$. Here \mathbf{x} is the momentum fraction, t is the time index, an experimental quark-gluon distributions $F(\mathbf{x})$ stands for a nonlinear operator, R is a parameter, which controls the efficiency of strong interactions and determines the character of observing regimes We use the renormalization-group approach to the evolution equation. The investigation of nonlinear dynamics of stable structure formation in quark-gluon cascade at multiple hadron and nuclear processes at high energy had discussed. Numerical solution of the nonlinear equation has shown that arise an evolution termination in the field of small values of parameter R , the transition is an established mode. The phase trajectories after transient regime reach some steady value (fixed point). Later the orbit becomes strictly periodic with the period two (bifurcation of motionless point). At large values of parameter, the quark-gluon system transfer in a chaotic mode when two close points run up on different trajectories. In order to distinguish between the chaotic and not chaotic modes, we compare orbits of close entry conditions in these modes. Dynamic quark-gluon systems are highly sensitive to an initial condition. The strange quark phase trajectories (strange attractor with a fractal structure) display a new nonlinear phenomenon in hadron and nuclear physics – stable structure formation through dynamic deterministic chaos in quark-gluon evolution. We assume that steady structure formation in nonlinear quark-gluon evolution is a mechanism for confinement.

References:

1. Batunin A.V.: Fractal analysis and Feigenbaum universality in hadron physics. *Physics-Uspekhi*. 38(6), 609-622(1995).
2. Yuki Minami, Dynamics near QCD critical point by dynamic renormalization group, arXiv:1102.5485v3 (2014).
3. E. Goldfain, Non-equilibrium Dynamics as Source of Asymmetries in High Energy Physics *EJTP* 7, No. 24 (2010) 219–234.
4. A.T. Temiraliev “Chaotic dynamics in quark-gluon cascade” <http://arxiv.org/abs/1106.4624> (2011).
5. Темирәлиев А.Т., Данлыбаева А.К. Формирование структур в нелинейной кварк-глюонной эволюции. *Известия НАН РК*, 2014, стр.106-112.

FORMATION OF INCLUSIVE SPECTRA OF LIGHT PARTICLES FROM INTERACTION OF 50.5 MeV ^3He IONS WITH ^{27}Al

A. Duisebayev¹, B.A. Duisebayev¹, T.K. Zholdybayev¹, B.M. Sadykov¹, K.M. Ismailov²

¹ *Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan*

² *Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan*

Obtaining of new experimental nuclear data from double-differential and integral cross sections of the reactions initiated by stable isotopes of helium for updating the data base required for the design of safety systems of power reactors, development of advanced nuclear technologies, in particular, hybrid nuclear energy systems, development of modeling approaches in the theory of nuclear reactions, verification of computer codes based on them. Experimental information about the reactions induced by ^3He ions is extremely small.

The experiment with the ions of ^3He , accelerated to energy of 50.5 MeV was performed at the isochronous cyclotron of Institute of Nuclear Physics. Self-supporting foil of ^{27}Al with 3.65 mg/cm² thickness was used as the target. Measurement of the cross sections will be made by the standard double-detector system based on ΔE - E method of charged particles identification. Systematic errors of the cross sections were not exceed 10%. The cross sections of ($^3\text{He},xp$), ($^3\text{He},xd$), ($^3\text{He},xt$), ($^3\text{He},x^3\text{He}$) and ($^3\text{He},x\alpha$) reactions were measured in the angular range 30-135° with angle

increments of 15° . The energy distributions integrated over angle were determined on the base of these experimental results.

The analysis of experimental cross-sections of reactions is carried out in accordance with exciton model [2,3] for pre-equilibrium nuclear reactions that describes the emission of particles from an equilibrating composite nucleus. Additional components are calculated semi-empirically to account for direct nucleon transfer reactions and direct knockout processes involving cluster degrees of freedom. A satisfactory agreement between experimental and calculated values has been achieved.

The work was supported by the Program of Grant funding of scientific researches under Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan - Grant 0335/GF4.

References:

1. Gerasimov A.S., Kiselev G.V. // PEPAN. 2001. V.32. is.1. P.143.
2. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. №9. P.478.
3. Kalbach C. PRECO-2006: Exciton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308. 2007.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF (p,xp) AND (p,x α) REACTIONS ON ^{59}Co NUCLEUS AT PROTONS ENERGY OF 30 MeV

A. Duisebayev¹, B.A. Duisebayev¹, T.K. Zholdybayev¹, B.M. Sadykov¹, K.M. Ismailov²

¹ *Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan*

² *Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan*

The problem of constant supply is the key one in the physical scenario and implementation of all nuclear technologies related to nuclear and radiation safety that involves at least 1000 of stable and radioactive nuclides, as well as in the operation of hybrid nuclear installations. Currently available information on the cross sections of nuclear reactions that occur in the interaction of neutrons and charged particles in a wide range of energies and nucleon structure [1], does not correspond in accuracy to the IAEA requirements, as well as for testing the models established to describe the decay of nuclei. The new additional data are required on nuclear reactions with hydrogen occurring in the target, fuel units, structural materials, which, along with the slowing of the primary proton beam due to ionization losses lead to formation of the cascade of subsequent secondary reaction products with the broad energy spectrum of p, d, t, ^3He , ^4He and etc.

The experiment with the protons, accelerated to energy of 30 MeV was performed at the isochronous cyclotron of Institute of Nuclear Physics (Almaty, Republic of Kazakhstan). The double-differential cross-sections of (p,xp) and (p,x α) reactions on ^{59}Co nucleus were measured in angular range $30\text{-}135^\circ$ with the step 15° . The reaction products were detected and identified by a two detector telescope consisting of a thin detector and a total absorption detector.

The experimental data have been analyzed within the framework of the phenomenological exciton model of preequilibrium decay [2, 3] and microscopic theory of the multi-step direct and multi-step compound processes [4]. A satisfactory agreement between experimental and calculated values has been achieved. The contribution of the preequilibrium mechanism to the (p,xp) reaction dominates and that is in agreement for both the exciton model and the quantum-mechanical theory calculations.

References:

1. A.S. Gerasimov, G.V. Kiselev // PEPAN. 2001. V.32, is.1. P.143.
2. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. №9. P.478.
3. Kalbach C. PRECO-2006: Exciton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.
4. M. Herman, G. Reffo, H.A. Weidenmüller EMPIRE – statistical model code for nuclear reaction calculations (version 2.13 Trieste) // IAEA, 2000.

DETERMINATION OF THE ASYMPTOTIC NORMALIZATION COEFFICIENT FOR $^{93}\text{Zr}+N\rightarrow^{94}\text{Zr}$

K. Tursunmakhatov, R. Yarmukhamedov, S.B. Igamov

Institute of Nuclear Physics, Tashkent 100214, Uzbekistan
e-mail: rakhim@inp.uz

In the present work, the results of the analysis of the differential cross sections (DCS) of the neutron transfer $^{94}\text{Zr}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{C})^{93}\text{Zr}$ reaction at the incident ^{12}C -ions energy of 64 MeV, measured by authors [1] in the HI-13 tandem accelerator of the China Institute of Atomic Energy (CIAE) in Beijing. is presented. Two sets of the optical parameters for each of the ^{12}C - ^{94}Zr and ^{13}C - ^{94}Zr scattering obtained by authors of [1] were used. Considering of the radioactive of ^{93}Zr , the optical parameters for the outgoing $^{93}\text{Zr}+^{13}\text{C}$ channel in the neutron transfer reaction was replaced by the $^{94}\text{Zr}+^{13}\text{C}$ channel. From two the sets obtained, by combining of the entrance and outgoing channels, four families of the optical potentials, which fit the corresponding experimental data very well, were obtained. They were then used for the analysis of the experimental DCSs of the $^{94}\text{Zr}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{C})^{93}\text{Zr}$ reaction. The analysis has been performed within the modified DWBA [2, 3]. In the modified DWBA, due to the peripheral character of the transfer reaction under consideration, the DCS is expressed in terms of the product of the asymptotic normalization coefficients (ANCs) for $^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr}$ and $^{12}\text{C}+n\rightarrow^{13}\text{C}$ given by the relation [3]

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = C_{12c}^2 C_{94Zr}^2 \mathcal{G}^{DWBA}(E_i, \theta; b_{94Zr}, b_{13c}) / b_{94Zr}^2 b_{13c}^2. \quad (1)$$

Here, $C_{12c}(C_{94Zr})$ is the ANC for $^{12}\text{C}+n\rightarrow^{13}\text{C}(^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr})$ [4]; $b_{94Zr}(b_{13c})$ is the single particle ANC for the bound ($^{93}\text{Zr}+n$) ($(^{12}\text{C}+n)$) state of the nucleus $^{94}\text{Zr}(^{13}\text{C})$, which is a function of the geometric parameters (the radius r_o and the diffuseness a) of the Woods-Saxon potential used for calculation of the shell model two body wave function of $^{94}\text{Zr}(^{13}\text{C})$ [5] and E_i is the energy of the projectile ^{12}C in the c.m.s. But, the ANC value for $^{12}\text{C}+n\rightarrow^{13}\text{C}$ entering in the r.h.s. of (1) is known, which is equal to $2.40\pm 0.09 \text{ fm}^{-1}$ [6]. It makes it possible to fix unambiguously the value of the single particle ANC b_{13c} for the ^{13}C nuclear in the ($^{12}\text{C}+n$)-configuration [2, 3]. In (1), $\mathcal{G}^{DWBA}(E_i, \theta; b_{94Zr})$ is the single particle DCS, which is calculated by the LOLA computer code, which depend strongly from the free parameter $b_{94Zr} [=b_{94Zr}(r_o, a)]$ [4]. When, eq. (1) can be used for determination of the ANC C_{94Zr}^2 , if we assume that the ratio of the r.h.s. in (1) (denoted by $R(E_i, \theta; b_{94Zr}, b_{13c})$ below) must not depend from a variation of the free parameter b_{94Zr} (or r_o and a) at $\theta = \theta_{peak}$.

We vary the geometric parameters (r_o and a) of the adopted Woods-Saxon potential in the physical acceptable ranges (r_o in 1.15 -1.35 fm and a in 0.59-0.71 fm ($10.34 \leq b_{94Zr} \leq 19.07 \text{ fm}^{1/2}$)) with respect to the standard values ($r_o=1.25$ fm and $a=0.65$ fm) using the procedure of adjusting the depth to fit the binding energy. We see that the overall uncertainty of the $R(E_i, \theta_{peak}; b_{94Zr}, b_{13c})$ function with respect to the central value corresponding to that of the aforementioned standard values of r_o and a does not exceed of about $\pm 5\%$ for all the sets of the optical potentials used. This result confirms the assumption about the peripheral character of the reaction under consideration. As a results, the weighted mean of ANC for $^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr}$ found in the present work is to be $C_{94Zr}^2 = 871.2 \pm 33.0 \text{ fm}^{-1}$. The uncertainty of ANC (a.s.e.) involves the experimental errors for the DCS, the uncertainty of the R function arising due to its weak dependence on r_o and a and that connected with using the different sets of the optical parameters. The obtained weighted mean of C_{94Zr}^2 and the central value of the R function reproduce fairly well the experimental differential cross sections. One notes that the value of the spectroscopic factor (Z_{94Zr}), determined from the relation $Z_{94Zr} = C_{94Zr}^2 / b_{94Zr}^2$ [4], changes strongly (about 3.4 times) at a variation of the free b_{94Zr} (or r_o and a) parameter within the aforementioned range.

It follows from here that the analysis performed for the peripheral transfer $^{94}\text{Zr}(^{12}\text{C}, ^{13}\text{C})^{93}\text{Zr}$ reaction makes it possible to determine the ANC value (C_{94Zr}^2) for $^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr}$ by a model independent manner but not the spectroscopic factor (Z_{94Zr}). The recommended ANC for $^{93}\text{Zr}+n\rightarrow^{94}\text{Zr}$ has been used for calculating the direct radiative capture contribution to the nuclear astrophysical $^{93}\text{Zr}(n, \gamma)^{94}\text{Zr}$ reaction. A new estimation for the astrophysical S factors for the $^{93}\text{Zr}(n, \gamma)^{94}\text{Zr}$ reaction at extremely low energies is obtained.

References:

1. GAN Lin and LI Zhihong. Private communication.
2. S. V. Artemov et al. Phys. Atom. Nucl. 59(1996)428.
3. A. M. Mukhamedzhavov et al. Phys. Rev. C56(1997)1302.
4. L. D. Blokhintsev et al. Sov. J. Part. Nucl. 8(1977)485.
5. S. A. Goncharov et al. Sov. J. Nucl. Phys. 35(1982)383.
6. S. V. Artemov et al. Bull. Acad. Sci. Russia, Phys., 66(2002)60.

GLOBAL OPTICAL POTENTIAL FOR DIFFRACTIVE $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ SCATTERING IN THE ENERGY RANGE FROM 1 UP TO 100 MeV/NUCLEON

O.A. Ponkratenko, A.T. Rudchik, Yu.O. Shyrma, Yu.M. Stepanenko, V.V. Uleshchenko

Institute for Nuclear Research, Kyiv, Ukraine

Detailed study of experimental differential cross sections for the $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ elastic scattering in the energy range from 1 to 100 MeV/nucleon is carried out. It is found that differential cross sections in the range of transferred momentum up to 3-4 fm exhibits a pronounced diffraction pattern in the whole range of energy considered. Influence of other possible mechanisms of interaction is negligible in this kinematic region. Variation of the allocations of the first eight diffraction maxima and minima as well as values of the cross sections in the maxima with the change of the interaction energy are smooth and understandable.

As a result of the analysis a global energy-dependent optical potentials for the examined $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ system is obtained which satisfactory describes the diffractive scattering in the whole analyzed energy range from 1 up to 100 MeV/nucleon.

REDUCED E2-TRANSITION PROBABILITIES IN EXCITED COLLECTIVE STATES OF TRIAXIAL EVEN-EVEN HEAVY NUCLEI

M.C. Nadirbekov¹, F. Temirov²

¹*Institute of Nuclear Physics, Ulughbek, Tashkent, 100214, Uzbekistan*

²*Samarkand State Medical Institute 18 Amir Temur Street, Uzbekistan*

A good agreement between experimental and theoretical values of the energy levels of the different bands does not suggest that such agreement also exists for other observables quantities. Note, that the reduced E2-transition probabilities more tests detailed the validity of non-adiabatic models, because, these transitions connects same and different bands of excited collective states. For example, intraband and interband reduced E2-transition probabilities between energy levels and the quadrupole moments of energy levels of the different bands. Therefore, the study of nuclei properties which were mentioned above is very important.

The intraband and interband transitions in excited collective states of ground state, γ - and β -bands within non-adiabatic models were considered in [1]. But in these works the analyses of the feasible reduced E2-transition probabilities in excited collective states of ground state, γ - and β -bands was not completed. Therefore, the aim of this work is detailed study within free triaxiality model [2] the intraband and interband reduced E2-transition probabilities in the spectra of the nuclei: ^{154}Sm , ^{156}Gd , ^{158}Dy , $^{162,164}\text{Er}$, $^{230,232}\text{Th}$, $^{232,234,236,238}\text{U}$. They have been calculated and the results were compared with the corresponding experimental data and energy levels of these nuclei were good described by model [2] and they possess the stable triaxial deformations [2]. Therefore, here can to determine influence of deformations parameters to the interband and intraband reduced E2-transition probabilities by comparison obtained results with results of Alaga rules [3].

References:

1. A. S. Davydov and V. S. Rostovsky, Nucl. Phys. 12, 58 (1959).
2. M. S. Nadirbekov and G. A. Yuldasheva, IJMPE 14, 1450034 (2014).
3. G. Alaga, et al., Dan. Mat. Fys. Medd. 29, no: 9(1955).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В $\bar{p}p$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 22,4 И 32 ГэВ/с

Боос Э.Г., Темиралиев Т., Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А., Федосимова А.И.

ТОО «Физико-технический институт», г. Алматы, Казахстан

При 22,4 и 32 ГэВ/с в неаннигиляционном канале распределения по псевдобыстродам частиц во взаимодействиях с большой множественностью ($n \geq 8$) отличаются от распределений для всех множественностей ($n \geq 2$). В аннигиляционном канале распределение псевдобыстроты практически не меняется с изменением множественности для рассматриваемых первичных импульсов антипротонов.

Распределения разности азимутальных углов пар $\Delta\phi$ имеют одинаковую квазилинейную зависимость в аннигиляционном и неаннигиляционном каналах при 22,4 и 32 ГэВ/с. Сравнение с гипотезой независимого испускания частиц указывает на избыток пар с малыми значениями разности $\Delta\phi$.

КОРРЕЛЯЦИЯ СФЕРИСИТИ СОБЫТИЙ С ЭНЕРГИЕЙ, ПЕРЕДАННОЙ ЗАРЯЖЕННЫМ МЕЗОНОМ, В АНТИПРОТОН-ПРОТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 32 ГэВ/с

Боос Э.Г., Темиралиев Т., Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А., Федосимова А.И.

Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан

В докладе анализируются данные о неупругих антипротон-протонных взаимодействиях, зарегистрированных во французской водородной камере «Мирабель», при облучении антипротонным пучком с импульсом 32 ГэВ/с на Серпуховском ускорителе У-70 (г. Серпухов, Россия).

Исследованы корреляции между суммарной энергией E^* , выделенной пионом, и переменной сферисити S в следующих каналах неупругих реакций:

$$\bar{p}p \rightarrow m(\pi^+\pi^+) + X^0 \quad (1)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{n}n + m(\pi^+\pi) + X^0 \quad (2)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{p}p + m(\pi^+\pi) + X^0 \quad (3)$$

$$\bar{p}p \rightarrow n\check{r}\pi^+ + m(\pi^+\pi^-) + X^0 \quad (4)$$

$$\bar{p}p \rightarrow \check{n}r\pi^- + m(\pi^+\pi^-) + X^0, \quad (5)$$

где m – число $\pi^+\pi^-$ пар и X^0 – вклад нейтральных частиц.

В антипротон-протонных взаимодействиях при 32 ГэВ/с установлено, что при одинаковом числе мезонов в конечном состоянии величина переменной сферисити мезонов в неаннигиляционных антипротон-протонных реакциях выше, чем в канале $\bar{p}p$ -аннигиляции, что является новой особенностью в механизме генерации мезонов.

ФРАГМЕНТАЦИЯ ЯДЕР ${}_{10}\text{Ne}^{22}$ С ЛЕГКИМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

Аргынова А.А., Гайтинов А.Ш., Локтионов А.А.

Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан

Данная работа является продолжением исследований процессов фрагментации налетающего ядра с различной массой и энергией [1-3] во взаимодействиях с ядрами фотоэмульсии (в данном случае с наименьшей массой, чем предыдущие – ${}_{10}\text{Ne}^{22}$ с энергией 3,3 А·ГэВ). Здесь так же, как и раньше, был использован метод ядерной фотоэмульсии, обладающей высокой степенью конкурентоспособности:

- изучать процессы взаимодействия в условиях 4π-геометрии;
- фиксировать центр взаимодействия и пробеги частиц с микронной точностью;
- отсутствие порога регистрации для любого из заряженных продуктов реакции;
- высокое пространственное разрешение, позволяющее определять углы вылета частиц, фрагментов (особенно многозарядных) ядер-снарядов до тысячных долей радиана в событиях со многими сотнями лучей.
- определять их заряд фрагментов на основе измерения плотности δ-электронов и числа разрывов на следах фрагментов ядер.

Использование этого метода позволило нам установить критерии выделения событий с различными механизмами процесса фрагментации на основании анализа выявленных закономерностей в зависимости числа наблюдаемых событий (N_c) от числа провзаимодействовавших протонов ядра-снаряда (n_{g^1}): $N_c = f(n_{g^1})$, как для всех событий, так и для событий, в которых присутствуют обязательно многозарядные фрагменты налетающего ядра величиной заряда $Z_f \geq 3$. Значение $n_{g^1} = Z_0 - \sum Z_f$, где Z_0 – заряд ядра-снаряда и $\sum Z_f$ – сумма заряда его фрагментов. При этом выяснилось, что события периферического столкновения (с $n_{g^1} \leq 3$), в которых передается небольшая энергия остаточному ядру, относится испарительному механизму фрагментации (последовательное испускание фрагментов с зарядами $Z_f = 1$ и $Z_f = 2$ с сохранением одного многозарядного фрагмента с $Z_f \geq 3$). Доля таких событий от общего числа событий для взаимодействия с легкими ядрами ($L+L$) составила 34,1%, а с тяжелыми ($L+T$) – 5,6%, т.е. заметно меньше. События же с $n_{g^1} > 3$, в которых передаваемая энергия соответствует в основном центральным взаимодействиям, и уже достаточна, чтобы все фрагменты образовались одновременно – то есть реализуется взрывной механизм фрагментации. Доля таких событий для $L+L$ столкновений оказалась равной 2,2% и для $L+T$ – 2,0%, т.е. незначительной. Далее следует отметить, что большую долю событий составляют события, в которых реализуется механизм полного разрушения, когда образуются только одно- и двухзарядные фрагменты. Доля таких событий в $L+L$ столкновениях составила 23,4%, а для $L+T$ – 32,6%, т.е. во взаимодействиях с тяжелыми ядрами в 1,5 раза больше. Эти события следует отнести к взрывному механизму, тогда в целом (добавив рассмотренные выше события) будем иметь долю таких событий для $L+L$ – 25,6%, а для $L+T$ – 34,6%.

Литература:

1. Андреева Н.П., Гайтинов А.Ш. и др. Письма ЭЧАЯ, 2007, т.4, №1 (137), с.109-118.
2. Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш. и др. Изв. НАН РК, сер. физ.-мат., 2011, №3, с.34-40.
3. Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш. и др. Изв. НАН РК, сер. физ.-мат., 2014, 33, с.85-89

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ВЫХОДА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ К-, L- И M-ОБОЛОЧЕК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИОНОВ АЗОТА ЭНЕРГИЕЙ 11.2, 16.8 И 22.4 МэВ С АТОМАМИ МИШЕНИ

Курахмедов А.Е.^{1,2}, Горлачев И.Д.¹, Иванов И.А.^{1,2}, Глущенко Н.В.¹, Здоровец М.В.¹, Платов А.В.¹

¹ РГП Институт ядерной физики,

050032, ул. Ибрагимова 1, Алатау, г. Алматы, Казахстан

² Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева
010000, ул. Мирзояна 2, г. Астана, Казахстан

Одним из перспективных направлений исследования элементного состава является метод, основанный на регистрации характеристического рентгеновского излучения возникающего при взаимодействии тяжелых ускоренных ионов с атомами мишеней (NPIXE). Этот метод в некоторых случаях является более эффективным по сравнению с другими рентгеновскими методами, использующими первичное рентгеновское излучение, электроны и протоны, благодаря испусканию большего количества рентгеновских квантов на одну налетающую частицу [1, 2]. В данной работе изучены сечения выхода рентгеновского излучения К-, L- и M-оболочек при взаимодействии атомов мишеней с ускоренными ионами ^{14}N с энергиями 11.2, 16.8 и 22.4 МэВ. Для получения ускоренных пучков азота использовался ускорительный комплекс на базе циклотрона ДЦ-60 в г. Астана.

В результате выполненных работ рассчитаны сечения выхода характеристического рентгеновского излучения К-оболочек от тринадцати тонких мишеней (Ti, Cr, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb), L-оболочек от мишеней (Zn, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ta, W, Pb, Bi) и M-оболочек от мишеней (Ta, W, Pb, Bi). Расчет сечений выхода характеристического рентгеновского излучения производились через сечения Резерфордского обратного рассеяния. Экспериментально измеренные сечения сравнивались с сечениями, рассчитанными в рамках ECPSSR и PWBA теорий. Теоретические подсчеты производились с использованием программы ISICS. Полученные экспериментальные результаты достаточно хорошо согласуются с ECPSSR теорией для К-оболочек при энергии ускоренных ионов азота 1.2 МэВ/нуклон и L-оболочек при энергии налетающих частиц 1.6 МэВ/нуклон. В остальных случаях расхождения полученных экспериментальных и теоретических данных значительны, и не могут быть объяснены лишь экспериментальными погрешностями. При этом присутствует ярко выраженная систематическая составляющая. В статье обсуждаются возможные причины имеющихся расхождений. Данная работа является продолжением исследований, начатых в 2013 г.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛЬНОСТИ ЯДРО-ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Гайтинов А.Ш., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И.

Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан

Геометрия столкновения ядер, о которой обычно очень мало прямой экспериментальной информации, приводит к существенным особенностям в распределении фрагментов и множественности ливневых частиц. Наряду с основными величинами, такими как энергия и масса взаимодействующих ядер, динамика процесса взаимодействия существенно определяется также и начальными геометрическими условиями столкновения ядер [1].

В данной работе проведено исследование особенностей распределения фрагментов в соударениях тяжелых ионов с ядрами фотоэмульсии в зависимости от степени центральности и степени асимметрии взаимодействующих ядер на основе экспериментальных данных EMU-01 коллаборации, включающих взаимодействия ^{197}Au 10,7 А·ГэВ с ядрами фотоэмульсии [2].

Во взаимодействиях симметричных ядер оценка степени периферичности взаимодействия может быть проведена с помощью анализа распределений фрагментов налетающего ядра и ядра снаряда. Суммарный заряд фрагментов налетающего ядра позволяет оценить число провзаимодействовавших нуклонов. Число фрагментов ядра мишени N_h дает оценки раздробления ядра мишени.

В случае взаимодействия асимметричных ядер ситуация существенно усложняется, так как появляется такое понятие как степень центральности. Чем больше различие размеров взаимодействующих ядер, тем больше отличие характеристик центральных взаимодействий в центре и на периферии большого ядра.

Одним из наиболее оптимальных параметров для оценки степени центральности взаимодействия и отделения событий с легкими и тяжелыми ядрами фотоэмульсии является зависимость числа фрагментов ядра-мишени N_h и множественности частиц из области взаимодействия n_s . Для $Au+AgBr$ взаимодействий среднее распределение демонстрирует уверенный рост в области до $n_s \sim 110$. Затем снижение и выход на плато при больших $n_s > 250$. Аналогичное поведение показывает и $Au+CNO$ распределение, но при меньших множественностях: $n_s \sim 40$ и $n_s > 100$ соответственно. Такое поведение отражает степень периферичности взаимодействия. Это предположение подтверждает и различие суммарного заряда фрагментов ядра-снаряда для соответствующих областей изменения n_s . Количество многозарядных фрагментов ядра снаряда N_f во взаимодействиях резко асимметричных ядер существенно зависит от периферичности взаимодействия. В большинстве периферических взаимодействий обнаруживается один многозарядный фрагмент, в большинстве центральных взаимодействий несколько многозарядных фрагментов. При этом область $N_f=1$ достаточно хорошо разделена в распределении суммарного заряда фрагментов ядра-снаряда Q . Пик в области максимальных значений Q характеризует периферические события на растущей ветви средней N_h-n_s кривой (характеризующей корреляционную зависимость числа фрагментов ядра мишени и множественности ливневых частиц из области взаимодействия) различной степени периферичности, а пик в области малых значений Q характеризует центральные события на падающей ветви средней N_h-n_s кривой различной степени центральности.

Литература:

1. Jia J., Teaney D. Study on initial geometry fluctuations via participant plane correlations in heavy ion collisions// Eur. Phys. J. C.V. 73, N 10, 2013, p.1-7.
2. M.I. Adamovich et al. Fragmentation and multifragmentation of 10.6 AGeV gold nuclei// Eur.Phys.J. A5(4), 1999, p.429-440.

КВАЗИУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ЯДЕР ${}^6\text{He}$, ${}^7\text{Be}$ И ${}^8\text{B}$ ЯДРАМИ ${}^{12}\text{C}$

Ковальчук В.И.

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

В рамках дифракционной ядерной модели и модели ядро-ядерного рассеяния в высокоэнергетическом приближении с потенциалом двойного фолдинга, основанном на взаимодействии CDM3Y6 [1], описаны наблюдаемые сечения квазиупругого рассеяния ядер ${}^6\text{He}$, ${}^7\text{Be}$ и ${}^8\text{B}$ ядрами ${}^{12}\text{C}$ при промежуточных энергиях падающих частиц. В расчетах использованы реалистические распределения нуклонных плотностей ядер [2], учтено кулоновское взаимодействие и неупругое рассеяние с возбуждением низколежащих коллективных состояний мишени [3]. На рис. 1 в качестве примера представлены результаты расчета сечений рассеяния ядер ${}^6\text{He}$ ядрами ${}^{12}\text{C}$ при энергии 82,3 МэВ на нуклон.

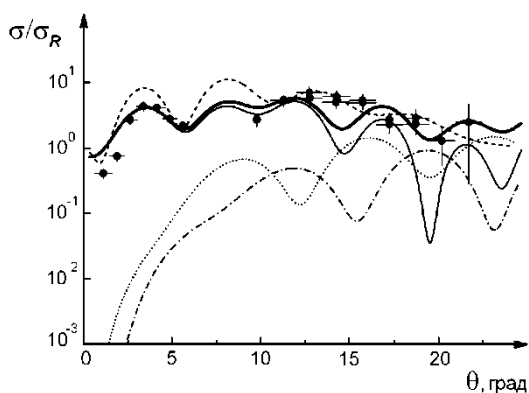


Рис. 1. Угловые распределения отношений сечений σ/σ_R квазиупругого рассеяния ${}^6\text{He}+{}^{12}\text{C}$ при 82,3 МэВ/нуклон. Типы кривых на рисунке: точечная и штрихпунктирная кривые – неупругие вклады из-за возбуждения уровней 2^+ и 3^- ядра ${}^{12}\text{C}$, соответственно; тонкая сплошная кривая – упругое рассеяние; жирная сплошная кривая – некогерентная сумма сечений упругого и неупругого рассеяния; штриховая кривая – результаты расчетов из [4], выполненные в рамках метода связанных каналов с потенциалом двойного фолдинга. Экспериментальные данные взяты из работы [4].

Литература:

1. K. V. Lukyanov, Comm. JINR, P11-2007-38 (Dubna. 2007).
2. V. K. Lukyanov, E. V. Zemlyanaya, and B. Słowski, Phys. At. Nucl. 67, 1282 (2004).
3. V. I. Kovalchuk, Nucl. Phys. At. Energ. 14(4), 332 (2013).
4. J. L. Lou *et al.*, Phys. Rev. C 83, 034612 (2011).

УПРУГОЕ И НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ИОНОВ ^3He И ^4He С ЭНЕРГИЕЙ 50-60 МэВ НА ЯДРЕ ^{24}Mg

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

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Экспериментальные исследования упругого и неупругого рассеяния на ядре ^{24}Mg проводились на выведенном пучке ионов ^3He с энергией 60 МэВ и ^4He энергией 50,5 МэВ, ускоренных на изохронном циклотроне У-150М Института ядерной физики. Регистрация и идентификация рассеянных частиц осуществлялась спектрометрическим блоком, состоящим из двух поверхностно-барьерных кремниевых детекторов (система многомерного анализа основанной на $\Delta E-E$ – методе [1]) фирмы ORTEC: пролетного – ΔE и полного поглощения – E , толщины которых выбирались в зависимости от энергии рассеянных частиц и изменялись для E счетчика в пределах от 500 мкм до 1 мм, а для ΔE счетчика – от 18 мкм до 100 мкм.

В качестве ядра-мишени использовалась самонесущая, изготовленная методом термического испарения, тонкая пленка из обогащенного изотопа ^{24}Mg – 99,1% со средней эффективной толщиной 1 мг/см². Толщина мишени определялась методом взвешивания, а также по потерям энергии α -частиц радиоактивного источника ^{241}Am – ^{243}Am – ^{244}Cm с точностью 6 – 9%.

Угловые распределения рассеянных ионов на изотопе ^{24}Mg измерены в диапазоне углов 12 – 172° в лабораторной системе координат с шагом $\sim 2 - 3^\circ$. Полная погрешность измеренных сечений не превышала 10%, где вклад статистических ошибок составляет (1 – 3)% для неупругого рассеяния и погрешность калибровки интегратора тока ($\sim 1\%$).

Анализ экспериментальных результатов сечений упругого и неупругого рассеяния с возбуждением состояния 1,37 МэВ ядра ^{24}Mg выполнен в рамках оптической модели ядра по программе SPI-GENOA [2] и метода искаженных волн – DWUCK4 [3]. Также проведен анализ данных упругого и неупругого рассеяния методом связанных каналов, т. е. расчет выполнялся с одновременной подгонкой данных как упругого, так и неупругих каналов рассеяния, с использованием ротационного приближения программы ECIS-88 [4].

Достигнуто хорошее согласие теоретических сечений угловых распределений упругого и неупругого рассеяния с экспериментальными данными в полном угловом диапазоне. Получены оптимальные параметры оптических потенциалов взаимодействия ионов гелия с исследуемым ядром. Определены параметры деформации ядер $^{24}\text{Mg} + ^4\text{He}$: $\beta_2 = 0,361$ и для $^{24}\text{Mg} + ^3\text{He}$: $\beta_2 = 0,341$.

Литература:

1. Буртебаев Н.Т., Виноградов А.А., Вонгай А.Д. и др. Система многомерного анализа для исследования ядерных реакций на циклотроне ИЯФ АН КазССР // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат. – 1975. – № 2. – С.65-68.
2. Perey F.G. SPI-GENOA an optical model search code // NBI version, 1976.
3. Kunz P.D. Computer program DWUCK 4 // University of Colorado, Boulder, Colorado, USA (unpublished).
4. Raynal J. ECIS-88 (unpublished).

МЕХАНИЗМ РЕАКЦИИ ${}^7\text{Li}(d, t){}^6\text{Li}$ ПРИ ЭНЕРГИИ ДЕЙТРОНОВ 25 МэВ

Буртебаев Н.Т.¹, Буртебаева Д.Т.¹, Дуйсебаев А.¹, Керимкулов Ж.К.¹, Нассурлла М.¹, Жолдыбаев Т.К.¹, Артемов С.В.², Караходжаев А.А.², Салихбаев У.С.², Сакута С.Б.³, S. Kliczewski⁴, E. Piasecki⁵, K. Rusek⁵, R. Siudak⁴, A. Trzcińska⁵, M. Wolińska-Cichocka⁵, Амар А.⁶

¹ РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

² Институт ядерной физики, г. Ташкент, Узбекистан

³ НИЦ "Курчатовский Институт", г. Москва, Россия

⁴ H. Niewodniczański Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Cracow, Poland

⁵ Heavy Ion Laboratory of Warsaw University, Warsaw, Poland

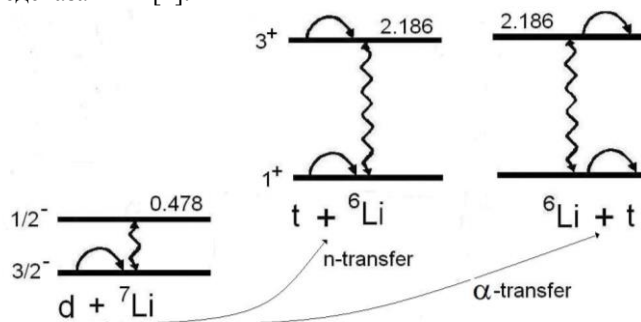
⁶ Physics Department, Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt

Исследовано упругое и неупругое рассеяние дейтронов на ядрах ${}^7\text{Li}$ с возбуждением состояния 0.478 МэВ ($J^\pi = 1/2^-$), а также тритонов из реакции ${}^7\text{Li}(d, t){}^6\text{Li}$, соответствующих переходам в основное ($J^\pi = 1^+$) и низколежащие возбужденные состояния ($J^\pi = 3^+$ и 0^+) ядра ${}^6\text{Li}$.

Измерения проводились на пучке дейтронов с энергией 25 МэВ, выведенном из изохронного циклотрона У-150М Института Ядерной Физики (Алматы, Казахстан).

Экспериментальные данные анализировались в рамках метода связанных каналов реакций с использованием программы FRESKO [1]. При расчете сечений реакции ${}^7\text{Li}(d, t){}^6\text{Li}$ учитывались только одноступенчатые процессы подхвата нейтрона и обменного механизма с передачей α -частичного кластера ${}^7\text{Li}(d, {}^6\text{Li})t$. Схема связи показана на рисунке. Переходы между основными и возбужденными состояниями ядер ${}^7\text{Li}$ и ${}^6\text{Li}$ рассчитывались в рамках ротационной модели. Из сопоставления расчетных угловых распределений с экспериментальными данными извлечены значения спектроскопических факторов для систем ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^6\text{Li} + n$ и ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^6\text{Li}^* + n$. Полученные результаты близки к теоретическим предсказаниям [2].

Анализ, проведенный с различными наборами параметров оптических потенциалов, свидетельствует о том, что лишь учет вклада обменного механизма позволяет описать поведение сечений под большими углами. Другой важный вывод состоит в том, что учет связи каналов и обменного механизма практически не влияет на поведение сечений в области главного максимума угловых распределений (до углов $40-50^\circ$), и что механизм подхвата доминирует в области углов до $40-50^\circ$.



Литература:

1. I.J. Thompson, Comput. Phys. Rep. 7, 167 (1988).
2. О.Ф. Немец, В.Г. Неудачин, А.Т. Рудчик, Ю.Ф. Смирнов, Ю.М. Чувильский. Нуклонные ассоциации в атомных ядрах и ядерные реакции многонуклонных передач. Наукова Думка, 1988.

СТРУКТУРНЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ GaS, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВОДОРОДА

Мадатов Р.С.^{1,3}, Комаров Ф.Ф.², Мустафаев Ю.М.¹, Моховиков М.А.², Ахмедов Ф.И.¹,
Джахангиров М.М.¹, Гарибли А.А.¹

¹ *Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,
ул. Вахабзаде, 7, г. Баку, Азербайджан*

² *Кафедра физической электроники и нанотехнологий, Белорусский государственный университет,
пр-т Независимости, 4, 220030 г. Минск, Беларусь*

³ *Национальная Авиационная Академия Азербайджана*

e-mail: msrahim@mail.ru

К настоящему времени в литературе детально исследовалось накопление дефектов и трансмутационное образование примесей в полупроводниках под действием протонно-стимулированного облучения. Аналитических обзоров по использованию протонно-стимулированного введения атомов водорода для модификации свойств полупроводников не существует. В этой связи цель работы заключается в исследовании электрической активизации и распределения по глубине ионов водорода в монокристаллах GaS, а также их оптические и фотоэлектрические свойства. Исследуемые монокристаллы *p*-GaS были выращены методом Бриджмена в Институте Радиационных Проблем НАН Азербайджана. При выращивании GaS использовали избыток серы (1,5%) с целью выяснения возможности заполнения вакансий атомами серы. Удельное сопротивление полученных образцов вдоль и перпендикулярно оси *c* при комнатной температуре составляло $2 \cdot 10^9$ и $2 \cdot 10^9$ Ом·см, соответственно. Использовались образцы GaS размером $10 \times 10 \times 0,5$ мм. Имплантация ионов H_2^+ проводилась на ускорителе Ван-де-Граафа (тип ЭСУ-2) с энергией 140 кэВ и плотностью ионного тока $0,15$ мкА/см², а доза имплантации составляла $1 \cdot 10^{15}$ и $5 \cdot 10^{15}$ см⁻². Для анализа элементного состава образцов после имплантации использовали метод РОР ионов гелия с энергией 1,5 МэВ. В эксперименте (РОР) использовался поток ионов He^+ с энергией 1,5 МэВ, а для регистрации рассеянных частиц использовался поверхностно-барьерный полупроводниковый детектор с разрешением 15 кэВ. Для ускорения ионов He^+ был использован ускоритель Ван-де-Граафа (тип АН 2500) при этом параметры пучка составляли: ток пучка 50 нА, а диаметр 1,5 мм. Геометрия эксперимента: угол падения и угол рассеяния были выбраны α (0°), θ (170°), соответственно. Результаты эксперимента обрабатывались с помощью программы SIMNRA 6,05.

После имплантации ионов H_2^+ дозой $1 \cdot 10^{15}$ не наблюдались изменения в спектрах РОР. При имплантации ионов H_2^+ дозой $5 \cdot 10^{15}$ см⁻² в спектрах наблюдаются уменьшение выхода Ga и увеличение S. Этот эффект может быть обусловлен проявлением радиационно-ускоренной диффузии галлия в сторону поверхности и селективным распылением этой компоненты. Обработка полученных спектров в программе SIMNRA 6,05 позволила вычислить концентрацию элементов по глубине образца. Установлено, что вблизи поверхности и на глубине около 100 нм максимальная концентрация ионов S составляет около 60 ат.%, а концентрация Ga составляет 40 ат.%, а при 800 нм совпадает с концентрацией компонентов в объеме, Глубине $x = 800$ нм приблизительно соответствует проецированный пробег протонов с $E = 70$ кэВ.

Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) были получены с помощью микрорамановского спектрометра Ramanog U1000 с оптическим микроскопом Nikon Eclipse LV150 при комнатной температуре. В качестве источника возбуждения применен лазер LCS-DTL-317 с излучением на длине волны ~ 532 нм. Спектры КРС структур GaS представляют собой набор интенсивных линий, положение которых и относительная интенсивность, полностью совпадают с данными, описанными в литературе. Спектры КРС образца GaS, снятые в двух разных точках, полностью совпадают, что говорит об однородном составе образца, за исключением области низких частот, где присутствует фон рэлеевского рассеяния от более шероховатой поверхности для точки 1 и 2. Следует отметить, что на спектре линия (22 см⁻¹) обусловлена межслоевыми колебаниями, тогда как линии ($74, 188, 295, 360$ см⁻¹) характеризуются колебаниями в слоях. После имплантации H_2^+ с энергией 140 кэВ дозами $1 \cdot 10^{15}$ и $5 \cdot 10^{15}$ см⁻² получено, что в спектрах для исходного и облученного дозой $1 \cdot 10^{15}$ см⁻² образцов не наблюдается сдвига положения полос и их интенсивности не изменяются. Для образца, имплантированного ионами H_2^+ дозой $5 \cdot 10^{15}$ см⁻² наблюдается уменьшение интенсивности полос, что может быть связано с изменением степени структурного беспорядка. Изменения в спектре РОР для доз $5 \cdot 10^{15}$ см⁻² также подтверждает этот факт. Такое резкое изменение структурного беспорядка обусловлено началом процесса аморфизации кристалла. Полученная расчетная доза начала аморфизации GaS для атомарных ионов водорода с энергией 70 кэВ составляет $\sim 1 \cdot 10^{15}$ см⁻², что достаточно близко к дозе, наблюдаемой в эксперименте. Однако обнаруженное различие в критической дозе начала аморфизации может быть связано с наличием дефектности в исходных кристаллах, а

также подвижностью создаваемых дефектов структуры при комнатной температуре, когда будет заметным вклад рекомбинации точечных дефектов.

Таким образом, исследованием спектров КРС слоистых кристаллов GaS установлено, что при имплантации водорода до доз ниже $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ положение и интенсивность полос сохраняется, что связано с устойчивостью кристаллической решетки, а при дозе $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наблюдается уменьшение интенсивности полос, что обусловлено увеличением степени структурного беспорядка. Определение критической дозы начала аморфизации позволяет использовать ионную имплантацию для создания квантовых точек в слоистых кристаллах GaS, когда при подпороговой дозе формируется материал, содержащий наноразмерные кристаллические и аморфные области.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики — Грант № EIF-BGM-2-BRTTE-1-2012/2013-07/06/1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАРАБОТКИ И ВЫДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ ИЗ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Заурбекова Ж.А., Кульсартов Т.В.

Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В проектируемых термоядерных установках (ТЯУ), работающих на дейтерий-тритиевом топливе, будет использоваться литий в различных его формах и соединениях для наработки необходимого трития. Жидкие литийсодержащие материалы могут быть использованы не только в качестве материала бридерного бланкета ТЯУ, но и одновременно выполнять функции теплоносителя.

Из всех жидких литийсодержащих материалов свинцово-литиевая эвтектика обладает большим количеством преимуществ при использовании в качестве материала бланкета. Одними из них являются низкая химическая активность и более высокая теплопроводность (по сравнению с керамическими материалами).

Существует ограниченное количество исследований, связанных с определением параметров наработки и выделения трития из вышеуказанного материала непосредственно в условиях реакторного облучения, и большинство исследований по оценке параметров диффузии, растворимости и выделения трития для данного материала, были выполнены с необлученными материалами, либо с образцами после облучения.

Для решения проблемы исследования влияния нейтронного излучения на параметры взаимодействия трития и гелия со свинцово-литиевой эвтектикой на реакторе ИВГ.1М Института атомной энергии НЯЦ РК были проведены эксперименты с образцом свинцово-литиевой эвтектики. Реакторные эксперименты проводились на экспериментальной установке ЛИАНА, предназначенной для изучения взаимодействия изотопов водорода с материалами ЯР и ТЯР в условиях реакторного облучения.

Для обработки результатов, полученных в ходе проведения экспериментов со свинцово-литиевой эвтектикой, была разработана феноменологическая модель, описывающая процессы образования, накопления, миграции и выделения трития и гелия из исследуемого материала. В настоящей работе представлены результаты рекуррентного расчета концентрации атомов трития и гелия в эвтектике, на основе которого проводилось моделирование выделения этих газов из эвтектики. Определены все основные параметры предложенной феноменологической модели, такие, как эффективные коэффициенты выделения атомов гелия и трития на поверхность, эффективная константа скорости десорбции атомов трития с поверхности эвтектики. Показано, что предложенные модели выделения гелия и трития позволяют хорошо описать реальные зависимости выделения этих газов.

ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ РЕАКЦИЙ ТРАНСМУТАЦИИ I-129, Np-237 И Am-243 НА ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ «ЯЛНА-ТЕПЛОВАЯ»

Киевицкая А.И., Фоков Ю.Г., Корнеев С.В.

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси, г. Минск, ул. Красина, 99

Для более широкого использования ядерной энергии, с тем чтобы она стала основным базовым источником энергии уже в текущем столетии, необходимо: 1 — гарантировать безопасность населения и окружающей среды, 2 — иметь достаточно природных ресурсов для производства ядерного топлива, чтобы атомная энергетика функционировала по меньшей мере в течение нескольких столетий. По технико-экономическим показателям атомная энергетика не должна уступать лучшим источникам энергии на углеводородном топливе, что требует разработки приемлемых в техническом, социальном и политическом аспектах способов обращения с радиоактивными отходами, образующимися на всех этапах ядерного топливного цикла в различных химических и физических формах.

Исследования таких перспективных ядерных технологий как замкнутый топливный цикл, трансмутация младших актинидов, использование в реакторах оружейного и энергетического плутония в последние годы стали актуальными. Такие актиниды, как плутоний-239 и -241 способны делиться под действием нейтронов тепловой энергии, америций, кюрий и нептуний — под действием быстрых нейтронов (более 0.5 МэВ). Уменьшение количества минор-актинидов происходит также в результате поглощения ими тепловых нейтронов с образованием промежуточных изотопов с высокими сечениями деления на тепловых нейтронах. Промежуточные изотопы в основном имеют небольшие периоды полураспада, и поэтому деление и радиоактивный распад являются конкурирующими процессами. Таким образом, обновление ядерных данных для младших актинидов для закрытия ядерного топливного цикла, является одной из главных задач современной ядерной энергетике.

В настоящей работе будут представлены расчетные и экспериментальные скорости реакций трансмутации I-129, Np-237 и Am-243, полученные на подкритической уран-полиэтиленовой сборке, управляемой генератором нейтронов.

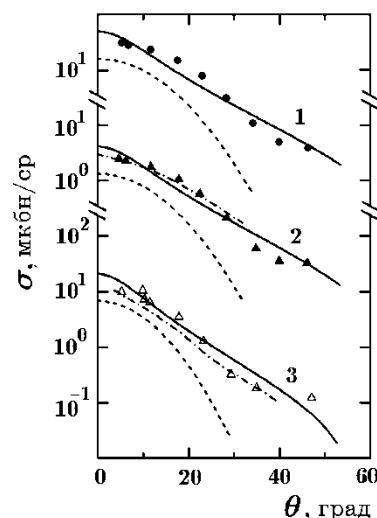
ДЕЙТРОННЫЙ СРЫВ НА ЯДРАХ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ

Ковальчук В.И.

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина

В дифракционном приближении получено общее аналитическое выражение для дважды дифференциального сечения реакции дейтронного срыва на ядрах при промежуточных энергиях падающих частиц [1]. Нуклон-ядерные фазы рассчитывались в рамках формализма Глаубера с использованием потенциала двойного фолдинга. В задаче использована точная волновая функция дейтрона [2] с правильной асимптотикой на малых и больших межнуклонных расстояниях. Рассчитанные угловые зависимости сечений находятся в хорошем согласии с соответствующими экспериментальными данными [3] (рис. 1). Формализм, развитый в [1], впоследствии был модифицирован для расчета также и поляризации нуклонов, возникающих в реакции дейтронного срыва.

Рис. 1. Угловые распределения нейтронов из реакции ${}^2\text{H}(d, n){}^3\text{He}$ при 787 (1), 858 (2) и 1242 МэВ (3). Сплошные и штриховые кривые – расчеты с точной и модельной (один гауссиан) волновой функцией дейтрона [2], соответственно; штрихпунктирные кривые – результат расчетов в рамках модели обмена виртуальным пионом [3]. Экспериментальные данные взяты из [3].



Литература:

1. V. I. Kovalchuk, Nucl. Phys. A 937, 59 (2015).
2. D. V. Piatnytskyi and I. V. Simenog, Ukr. J. Phys. 53, 629 (2008).
3. C. Wilkin, J. Phys. G 6, 69 (1980).

ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЛЕГКИХ ЯДЕР ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш., Локтионов А.А.

Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан

Одна из ключевых проблем физики ионов высоких энергий заключается в оценке начальных условий взаимодействий ядер, как физических, так и геометрических. Детальные исследования начальных условий были выполнены по данным JINR-AGS-SPS высокоточных мишенных эмульсионных экспериментов, в широком интервале энергий от 3.7 до 200 ГэВ на нуклон. Многомерное комплексное изучение соударений тяжелых – (Au, Pb), легких – (C, O, Ne) и средних – (Si, S) ядер с тяжелыми – (Ag/Br) и легкими – (C/N/O) ядрами с определенной степенью центральности показало, что существуют сильные флуктуации, превышающие гауссовские, с ясным трендом к усилению с уменьшением массы сталкивающихся ядер [1]. Физическое объяснение усиления флуктуаций состоит в обнаружении нового эффекта – нерегулярности в образовании тяжелых фрагментов-спектаторов с перемежаемым распределением масс, обусловленное внутренней кластеризацией ядерной материи. Флуктуации в этом случае соответствуют скачкам Леви, а не слабым гауссовским вариациям вокруг среднего значения [1]. Ясное наблюдение с высокой вероятностью процессов альфа-кластеризации в периферических процессах соударений ядер при высоких энергиях может быть получено в форме узких альфа-струй.

При этом очень важно подчеркнуть, что если в периферических столкновениях легких ядер установлено резко перемежаемое поведение в распределениях масс тяжелых фрагментов, то для центральных взаимодействий необходимо найти другой идентификатор кластеризации.

В периферических соударениях легких ядер нелинейности проявляются резче в процессах фрагментации налетающего ядра. В центральных соударениях легких ядер нелинейности проявляются резче в процессах усиления флуктуаций множественности [2]. Поэтому для центральных столкновений легких ядер в качестве идентификатора кластеризации рассмотрены сильные флуктуации множественности. Переменными анализа являются нормированные множественности N_s/N_s^{max} , где множественность каждого события нормировалась на максимальное значение множественности N_s^{max} в соответствующем эксперименте. Анализ установил четкий рост флуктуаций множественности для центральных столкновениях легких ядер [2].

Таким образом, на основе методов экспериментального моделирования соударений ионов высоких энергий получен важный вывод, отражающий процессы начальной внутренней кластеризации ядерной материи.

1. Обнаружен ясный сигнал внутренней кластеризации легких ядер во взаимодействиях легких – (C, O, Ne) и средних – (Si, S) ионов с легкими – (C/N/O) мишенями по данным JINR-AGS-SPS эмульсионных экспериментов.

2. Проблема извлечения знаний о структуре ядра на основе изучения множественных процессов при высоких энергиях является и очень новой, и очень актуальной.

Литература:

1. Argynova A.Kh., Gaitinov A.Sh., Loctionov A.A., Strong fluctuations in initial conditions for interactions of heavy and light nuclei at JINR-AGS-SPS energies, XXIV Quark Matter Intern. Conf. on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions, 18-24 May 2014, Darmstadt, Germany.
2. Argynova A.Kh., Gaitinov A.Sh., Loctionov A.A., Strong fluctuations in initial conditions for interactions of light nuclei as an indicator of intrinsic clustering, The 15-h Intern. Conf. on Strangeness in Quark Matter, 6-11 July 2015, Dubna, Russia.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ АДРОННОГО РОЖДЕНИЯ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРОТОНОВ И ЛЕГКИХ ЯДЕР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В СРАВНЕНИИ С НОВЫМИ КОЛЛАЙДЕРНЫМИ ДАННЫМИ

Аргынова А.Х.¹, Кочелев Н.И.², Квочкина Т.Н.³, Локтионов А.А.¹

¹ *Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан*

² *Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия*

³ *РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан*

Понимание процессов множественного рождения частиц в адронных взаимодействиях при высоких энергиях имеет большое теоретическое и экспериментальное значение. Теоретические модели должны обеспечить предсказание ожидаемых процессов, чтобы получить ясное представление об особенностях плотной и возбужденной адронной материи. Экспериментальный анализ должен обеспечить извлечение знаний о физических свойствах возбужденного фэйрболла из сложной финальной картины рожденных частиц в ядерных соударениях. Эффективный путь к лучшему пониманию и интерпретации результатов состоит в анализе взаимодействий меньших систем, рожденных в протон-протонных или в протон-ядерных соударениях.

На основе такого подхода были изучены взаимодействия легких ядер и протонов космических лучей с различными мишенями в эксперименте «Стратосфера» при энергиях выше 10 ТэВ в Лабораторной системе координат. Результаты показали, что в редких взаимодействиях, образованных альфа-частицами и легкими ядрами, спектр поперечных импульсов γ -квантов в мягкой области (до 2 ГэВ/с) имеет экспоненциальный характер с большой величиной обратного наклона распределения: $T_A \sim 0,8$ ГэВ/с. Напротив, в протонных взаимодействиях наклон существенно меньше: $T_p \sim 0,2$ ГэВ/с. Таким образом, в эксперименте «Стратосфера», на очень ограниченной статистике, была установлена зависимость динамики адронного рождения частиц в переднюю полусферу от природы первичной частицы и предложена инстантон-индуцированная интерпретация. Аналогичные события во взаимодействиях космических лучей были обнаружены в двух других коллаборациях: JASSE и Concorde.

Большой Адронный Коллайдер (CERN – LHC) открыл широкие новые возможности для физики высоких энергий ТэВ масштабов. В проблемах рождения частиц в узкую переднюю полусферу были выполнены новые эксперименты на LHC forward detector – LHCf. В 2010 г., в протон-протонных соударениях при 900 ГэВ и при 7 ТэВ были измерены инклюзивные распределения поперечных импульсов нейтральных пионов. В 2013 г. аналогичные спектры были получены в р-Pb столкновениях при энергии 5.02 ТэВ. К настоящему времени (2014 г.) предложен проект нового эксперимента по изучению процессов адронного рождения в переднюю полусферу на коллайдере RHIC Брукхейвенской лаборатории в эксперименте PHENIX – PHENIX-RHICf. В этом эксперименте будут изучаться протон-протонные взаимодействия и столкновения легких ядер: proton-Nitrogen, and Nitrogen-Nitrogen.

Выполненная работа показала, что:

1. Проблемы сравнительного анализа космических и коллайдерных данных очень актуальны.
2. Спектры поперечных импульсов нейтральных частиц в протон-индуцированных взаимодействиях экспериментов Стратосфера и LHCf с достаточно хорошей точностью совпадают для соответствующих интервалов быстрот.
3. Протон-индуцированные данные LHCf могут рассматриваться в качестве верхней границы для соответствующих данных эксперимента «Стратосфера».

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $TlGaSe_2$ ОБЛУЧЕННОГО γ -КВАНТАМИ

Самедов О.А.¹, Алекперов О.З.², Наджафов А.И.², Самедов С.Ф.¹,
Салманов Ф.Т.¹, Фатализаде Х.З.¹, Мосумлу Н.Т.¹, Надирова Х.Б.¹

¹ Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку

² Институт Физики НАН Азербайджана

e-mail: o.samedov@rambler.ru

В настоящей работе проводилось исследование поведения температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ($\epsilon(T)$) и комплексного электрического модуля $M^* = 1/\epsilon^* = M' + jM''$ кристаллов $TlGaSe_2$. Измерения проводились с помощью моста переменного тока Е7-20 в диапазоне частот $25-10^6$ Гц в температурном интервале $200-550$ К. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ в соединении $TlGaSe_2$ выше комнатной температуры показана на рис. 1(а). При температуре $T=415$ К и $T=532$ К наблюдаются скачки в зависимостях $\epsilon(T)$ для кристалла $TlGaSe_2$ (рис. 1(а)). На частотной зависимости мнимой части электрического модуля M'' (рис. 1(б)) хорошо определяемый пик наблюдается в интервале температур $200-450$ К. Показано, что экспериментальные точки зависимости $\ln(\epsilon)$, хорошо укладываются на прямую линию для кристаллов $TlGaSe_2$, которая описывается для случая ионной проводимости. Характер диэлектрической релаксации предполагает существование электрических зарядов, слабо связанных с кристаллической решеткой. Как известно в кристалле $TlGaSe_2$ связи Ga-Se являются более прочными, чем связи Tl-Se. Мы считаем, что ионная проводимость кристалла $TlGaSe_2$ связана с подвижностью ионов Tl.

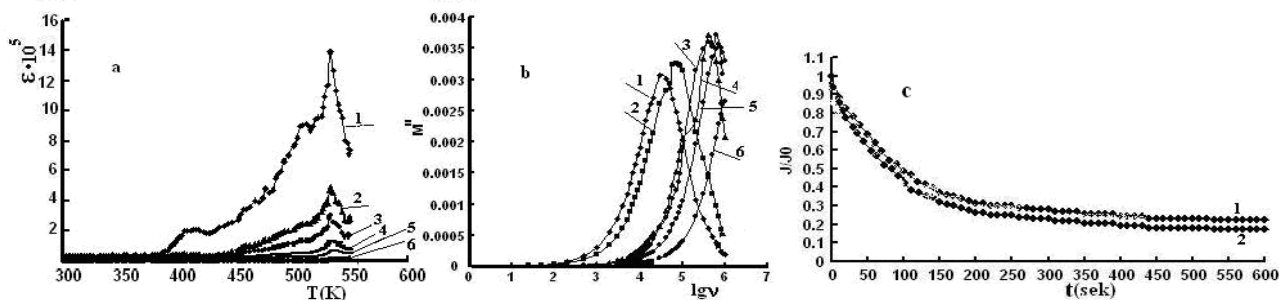


Рис. 1. а – температурная зависимость диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$ (1-25 Гц; 50 Гц; 100 Гц; 200 Гц; 500 Гц; 1 кГц), б – частотная зависимость мнимых частей электрического модуля M'' (193 К; 230 К; 293 К; 324 К; 372 К; 434 К), в – зависимости приведенной электропроводности от времени $J(t)/J_0$ при $T=470$ К: 1 – 0; 2 – 20 Мрад

Экспериментальные результаты показывают, что при дозе облучения 20 Мрад ионная проводимость кристалла $TlGaSe_2$ возрастает до 82% (рис. 1(с)-2), в то время как для необлученных составляет 76% (рис. 1(с)-1).

Обсуждаются возможные механизмы проводимости, неупорядоченности и электрической неустойчивости в кристалле $TlGaSe_2$.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-2013-9(15)-46/03/1.

ДЕФИЦИТ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРИОДАХ СИСТЕМЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Градобоев А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический Университет, г. Томск, Россия

Ранее в [1-3] была предложена Периодическая система атомов элементов (далее ПСАЭ), которая представляет собой Периодическую систему Д.И.Менделеева с учетом ее конечности. ПСАЭ содержит 172 базовых элемента, которые распределены по 12 периодам и 7 классам.

Предлагаемая структура ПСАЭ показывает наличие очень четкой симметрии в распределении элементов по классам и периодам. При этом выявляются идентичный закон распределения количества элементов по четным и нечетным периодам Системы.

Целью данной работы является анализ распределения элементов по периодам ПСАЭ. Поскольку обычно номер периода связывают с главным квантовым числом n , тогда, с учетом других квантовых чисел, максимальное количество элементов (соответственно максимальное количество электронов на электронных орбиталях для элемента с максимальным порядковым номером для рассматриваемого периода), образующих период, можно определить по следующей формуле:

$$\Sigma \mathcal{E}_T(n) = 2 \cdot n^2, \quad (1)$$

где $\Sigma \mathcal{E}_T(n)$ – теоретическое количество элементов в периоде n . Иначе данную величину $\Sigma \mathcal{E}_T(n)$ можно назвать *теоретической емкостью периода*.

Реальное количество элементов во многих периодах существенно отличается от расчетного значения. Тогда можно ввести понятие *дефицита элементов в периоде*, величина которого будет определяться следующей формулой:

$$\Delta \mathcal{E}(n) = \Sigma \mathcal{E}_T(n) - \Sigma \mathcal{E}_p(n), \quad (2)$$

где $\Delta \mathcal{E}(n)$ – дефицит элементов в n -ом периоде; $\Sigma \mathcal{E}_p(n)$ – количество элементов в периоде, наблюдаемое на практике, или *реальная емкость периода*.

Основные результаты и выводы, полученные в данной работе:

1. На основании общего анализа распределения элементов в периодах Периодической системы установлен идентичный закон распределения элементов для четных и нечетных периодов Системы, который близок к нормальному распределению.
2. На основании анализа распределения элементов в периодах Периодической системы установлены соотношения, которые являются математической записью закона о Периодичности, открытого Д.И. Менделеевым, и описывают распределение элементов по нечетным и четным периодам.
3. Установлено наличие дефицита элементов, как в четных, так и в нечетных периодах, величина которого определяется как разность между теоретической емкостью периода и реальной емкостью периода.
4. Установлено существование двух независимых механизмов появления дефицита элементов в периодах Системы, при этом первый механизм проявляется для всех периодов Системы, в то время как второй механизм проявляется только для второй половины Системы ($Z > 86$).
5. Установлены соотношения, описывающие распределение дефицита элементов по периодам в целом, а также с учетом механизма появления дефицита.

В дальнейшем будут рассмотрены физические основы появления дефицита элементов в периодах Периодической системы.

Литература:

1. Градобоев А.В., Матвеев В.С. Закономерности строения элементов и конечность Периодической системы Д.И. Менделеева. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 183с.
2. Градобоев А.В. Закономерности строения Вещества: монография. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 260с.
3. Gradoboev A.V., Matveev V.C. Finitness of Mendeleev,s Periodic Systems / J. Chem. Chem. Eng. – 7(2013) 275-281

ОБЪЯСНЕНИЕ СТРОЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ НОВУЮ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Таниев Д.М.

частное лицо, г. Павлодар, Республика Казахстан

Актуальность: данная гипотеза связано раскрывает проблему развития Вселенной с проблемой устройства протона, «темной материи», «темной энергии», гравитации с введением новой частицы «тан».

Цель исследования: связать нерешенные проблемы астрофизики, космологии, физики элементарных частиц в единую гипотезу.

Методы исследования: прослушивание и анализ публичных лекций и выступлений в научных программах ведущих российских специалистов в области астрофизики, космологии, физики элементарных частиц.

Выводы в результате исследования:

1) При взрыве сверхновой усилением взрывной волны в центре ядра звезды образуется частица тан и частица нейтрино, данные процессы являются «цепными реакциями» при этом образуется «черная дыра» либо нейтронная звезда.

2) Частица тан и частица нейтрино образуются по одинаковому сценарию:

а) проникновение положительного полузаряда фотона в отрицательный полузаряд фотона с поглощением энергии для частицы тан;

б) проникновение позитрона в электрон с поглощением энергии для частицы нейтрино.

3) «Черные дыры» испытывают недостаток энергии и избыток положительных зарядов, что определяет гравитацию на этих объектах, «джеты» «черных дыр» это позитроны (имеющие одинаковый заряд с «черной дырой» отталкиваются от нее), возможно протоны, частицы тан и нейтрино.

4) Частица тан и частица нейтрино имеют четыре состояния:

а) при образовании частицы состояние «точка невозврата», в этом состоянии частица поглощает энергию;

б) состояние «стабильное», в этом состоянии является «темной энергией» большая наружная часть частицы отрицательно заряжена, есть два положительно заряженных полюса, через которые проходит положительно заряженная ось, в данном состоянии частицы образуют пространственно-временную решетку;

в) «ионизированное» состояние частиц, три «поляризованных» частицы тан аннигилируя своими отрицательными сторонами с позитроном с испусканием двух фотонов образуют протон (протон состоит из трех «ионизированных» частиц тан);

г) «поляризованное» состояние, в этом состоянии частицы тан находятся в глюонных полях протонов, чем ближе поляризованная частица к ионизированной частице, тем больше поляризация частицы в глюонном поле, что является сутью конфаймента протона, так же проходя через материю, поляризация возрастает. Поляризованные частицы тан являются «темной материей» так как имеют положительно заряженную сторону и гравитационно взаимодействуют ей с наружным отрицательным зарядом стабильной частицей тан.

5) Планеты и звезды увеличиваются в размерах за счет распада частиц тан внутри (за счет распада частиц тан уменьшается плотность пространства-времени (стабильных частиц тан), что является сутью гравитации на планетах и звездах), при достижении второй космической скорости 200-300 км/сек из планет образуются звезды.

Литература:

Публичные лекции и программы – д.ф.-м.н. В.А. Рубаков, д.ф.-м.н. С.Б. Попов, д.ф.-м.н. Д.И. Казаков.

Секция 3
РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ



Section 3
RADIATION ECOLOGY

ENVIRONMENTAL BEHAVIOUR OF RADIOACTIVE PARTICLES

Ole Christian Lind and Brit Salbu

*CERAD CoE, Department of Environmental Sciences, Norwegian University of Life Sciences,
P.O. Box 5003, N-1432 Ås, Norway
e-mail: olelin@nmbu.no*

Radioactive particles are localized aggregates of radioactive atoms ranging from submicrons to fragments in size and that give rise to an inhomogeneous distribution of radionuclides significantly different from that of the matrix background. A major fraction of refractory radionuclides such as uranium (U) and plutonium (Pu) released during severe nuclear events associated with the nuclear weapon and fuel cycles will be present as radioactive particles. Such particles can carry a substantial amount of the bulk radioactivity and represent point sources of potential short- and long-term radioecological and analytical impact. Direct effects relate to efficient atmospheric transport and subsequent inhalation and skin doses as well as retention in the gastrointestinal tract. Long-term ecosystem impact relates in particular to characteristics of deposited particles influencing particle weathering and subsequent mobilisation and soil-to-plant transfer of associated radionuclides. Particles can also be retained by soil and sediment dwelling organisms as well as filtering aquatic organisms and eventually be ingested by man.

In the present work, we demonstrate the linkage between particle characteristics and their environmental behaviour based on observations and modelling of particle transport in the atmosphere, on observations from particle contaminated areas as well as laboratory experiment data.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ

Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Ларионова Н.В.

*Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан
e-mail: asan@nnc.kz*

Основные следы радиоактивных выпадений от ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне были направлены в северо-восточном, юго-восточном и южном направлениях. При этом, радиоактивное загрязнение распространилось за пределы полигона на сотни километров, образуя следы шириной десятки километров. В результате радиоактивному загрязнению подверглись территории находящиеся за границами СИП и на которых проживает местное население.

Согласно Закону Республики Казахстан от 18.12.1992 г. № 1787-ХІІ «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне» сделана классификация территорий, подвергшихся воздействию ядерных испытаний, основанная на данных радиационной разведки проводившейся в период испытаний. К настоящему времени объективная информация о радиологической ситуации на данных территориях практически отсутствует.

В рамках комплексного обследования территории, прилегающей к границам СИП проводилось изучение характера и особенностей радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды: воздух, вода, почва, растительный и животный мир. Была сделана оценка дозовых нагрузок на население, проживающее на данной территории. Кроме того, исследовались механизмы и особенности загрязнения компонентов экосистем, характерных для указанной местности: р. Иртыш, ленточный бор, лесостепь.

Согласно проведенным исследованиям, площадное распределение цезия и америция носит равномерный характер для населенных пунктов, каких-либо зон с повышенными значениями удельной активности техногенных радионуклидов не обнаружено. Установлено, что содержание естественных и техногенных радионуклидов в воздушной и водной среде, в растительной продукции не превышает установленных норм.

Результаты по площадному распределению радионуклидов в районе прохождения следов показали, что средние значения удельных активностей радионуклидов в почве зоны следа радиоактивных выпадений и на «фоновой» территории отличаются между собой в несколько раз. Так, среднее содержание ^{137}Cs на следе выпадений почти в 3 раза выше, чем на остальной территории. Установлено, что растительный покров исследуемой территории может считаться пригодным для ведения всех видов хозяйственной деятельности без ограничения, и не представляет никакой радиационной опасности.

Исследованы некоторые физико-химические свойства почв и формы нахождения в них радионуклидов. Полученные результаты не выявили новых закономерностей поведения радионуклида ^{137}Cs в почвах, однако позволяют заключить о его низкой биологической доступности. Количественные значения ^{241}Am определены лишь в прочносвязанной форме. Отмечаются некоторые особенности и различия в характере распределения радионуклидов на глубину, в зависимости от типа экосистем.

Проведенной оценкой дозовых нагрузок на население проживающих в селах Бескарагай и Канонерка при условии жилищного сценария установлено, что ожидаемая годовая эффективная доза на человека от искусственных радионуклидов не превысит 0,3 мЗв.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ И ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

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

Для проведения комплексной оценки состояния поверхностных водных объектов (водоемов и водотоков) очень важно иметь информацию о радионуклидном загрязнении как воды, так и донных отложений. Аккумулируя загрязнение на протяжении продолжительного периода, донные отложения являются индикатором радиоэкологического состояния водного объекта. При этом, они могут являться накопителями радионуклидов и быть источником вторичного радиоактивного загрязнения водного объекта. Целью данной работы является исследование уровней и характера распределения радионуклидного загрязнения в системе «вода – донные отложения» объектов Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и прилегающих территорий.

Объектами исследования были выбраны водоемы и водотоки площадок «Опытное поле», «Балапан», «Дегелен», «Телькем», прилегающих территорий, а также рек Шаган и Иртыш. С выбранных объектов проводился сопряженный отбор пробы воды и донных отложений. Отбор проб донных отложений проводился с глубины порядка 30 – 40 см, при этом расстояние от береговой линии составляло от 0,2 – 0,3 м до 1 – 2 м. Пробы отбирались на глубину 0 – 10 см, массой порядка 1 кг. Отбор проб воды проводился с поверхности 0 – 15 см, объемом 10 л с территории СИП и объемом 100 л с прилегающих территорий. В отобранных пробах проводилось определение содержания техногенных радионуклидов ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{241}Am .

В результате проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты перехода (КП), определяющие характер распределения радионуклидного загрязнения в водных объектах. Согласно полученным данным КП уменьшается в ряду $^{239+240}\text{Pu} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$ т.е. соответственно $n \times 10^5 > n \times 10^4 > n \times 10^3$. Тем не менее, полученные данные значения КП $\gg 1$. Это свидетельствует о том, что большая часть исследуемых радионуклидов в системе «вода – донные отложения» сосредоточена в донных отложениях.

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РЕГИОНЕ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Аскарлов С.А., Ахметов М.А., Беркинбаев Г.Д., Каюков П.Г.

ТОО «ЭКОСЕРВИС-С», г. Алматы, Казахстан

Регион западного Казахстана в радиационном отношении является относительно благополучным. Вместе с тем источники водоснабжения могут иметь повышенный уровень радиоактивности. В статье показано, что радиоактивное загрязнение воды имеет естественное происхождение и достаточно выраженную географическую дифференциацию, что может быть использовано при разработке мер по улучшению водоснабжения населения.

ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ р. ШАГАН И «АТОМНОГО» ОЗЕРА

Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В данной работе представлены результаты исследования характера загрязнения радионуклидами вод «Атомного» озера и р. Шаган, расположенных на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Содержание техногенных радионуклидов в «Атомном» озере определялось по глубине водоема, с вертикальным интервалом 5-10 м. Исследование вод р. Шаган проводилось по глубине с интервалом 5 см. Для определения гидрологического режима водных объектов проведены работы по измерению температуры воды.

Согласно полученным данным, в «Атомном» озере отмечается пространственное распределение концентрации техногенных радионуклидов. Максимальные значения трития и стронция-90 зафиксированы в центральной части водоема, на глубине 60-80 м, и составили 20 000 и 15 Бк/кг, соответственно. Минимальные значения (100 и 1 Бк/кг) отмечаются на глубине до 10 м. Такое вертикальное распределение техногенных радионуклидов связано со стратификацией водной толщи из-за растворенных химических соединений, преобладающие более солеными (до 20 г/л) водами на дне водоема и менее солеными (до 10 г/л) на поверхности. Термометрия вод показала отсутствие поступления подземных вод, влияющих на распределение радионуклидов и отсутствие вертикального водообмена на глубине от 25 м.

Термометрия придонного слоя воды р. Шаган позволила определить участки питания реки подземными водами, начиная от выхода реки из «Атомного» озера и до 6 км вниз по течению. На данном отрезке русла реки отмечаются резкие колебания концентрации трития (от 500 до 350 000 Бк/кг). Максимальное содержание трития зафиксировано на участке, расположенном на расстоянии 5 км вниз по течению от «Атомного» озера. Этот участок характеризуется распределением трития, как по ширине, так и по глубине водотока. Концентрация трития изменяется в широком диапазоне значений от 2000 до 250 000 Бк/кг и не зависит от расположения относительно берега (правый/левый) и глубины водотока (10-30 см). При этом максимальные значения трития прослеживаются у дна реки, на уровне донных отложений. Установлено, что на данном участке происходит прямая разгрузка загрязненных подземных вод непосредственно в протекающий водоток реки.

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am И $^{239+240}\text{Pu}$ В ОРГАНЫ И ТКАНИ ОВЕЦ

Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В.,
Каратаев С.С., Байгазы С.А., Мамырбаева А.С.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В настоящее время на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проводятся комплексные исследования с целью передачи земель полигона в хозяйственный оборот. Одним из основных видов деятельности на этих территориях является животноводство, в частности разведение овец и лошадей.

Несмотря на то, что в мире выполнено достаточное большое количество научных работ посвященных изучению перехода радионуклидов в сельскохозяйственные продукты, вопрос о безопасности получаемой животноводческой продукции на полигоне является до сих пор открытым. В первую очередь это связано с недостаточностью знаний о параметрах перехода радионуклидов в некоторые виды продукции. Единичны исследования миграции трансурановых радионуклидов. Имеющиеся в мире данные по параметрам перехода радионуклидов в продукты (мясо, молоко) могут отличаться до нескольких порядков.

В связи с этим на базе Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК проводятся исследования параметров перехода радионуклидов в овцеводческую продукцию. Основное внимание уделено радионуклидам ^3H , ^{137}Cs и ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$, которые являются основными дозообразующими и наиболее распространенными радионуклидами на Семипалатинском полигоне.

Натурные исследования с животными проводились в летний период в условиях стойлового содержания, где отдельным группам овец скармливали загрязненный корм, почву, спаивали загрязненную воду, в некоторых случаях поступление было смешанное. Корм, воду и почву заготавливали с загрязненных участков, на которых ранее проводились подземные и наземные ядерные испытания.

В результате проведенных работ определена динамика перехода радионуклидов в органы и ткани овец и изучены закономерности их распределения в организме. В ходе работ были получены параметры перехода радионуклидов в системе «корм – продукция овцеводства», «почва – продукция овцеводства», «вода – продукция овцеводства».

Установлено, что основными органами депонирования для ^{137}Cs являются мышечная ткань и почки, для ^{90}Sr – костная ткань и шерсть, для ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – костная ткань и печень. Время наступления динамического равновесия ^{137}Cs в основных органах депонирования происходит через 2 месяца. Для ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ на выбранных временных интервалах (до 112 суток) такого равновесия не установлено.

В целом, полученные результаты исследований подтверждают уже имеющиеся данные о динамике накопления и характера распределения радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в организме животных. Однако полученные коэффициенты перехода ($K_{\text{п}}$) оказались на порядок меньше чем, средние значение $K_{\text{п}}$, представленные в базе данных МАГАТЭ.

Установлено, что трансурановые радионуклиды, поступающие с почвой, усваиваются меньше, чем при поступлении с кормом. При этом $K_{\text{п}}$ $^{239+240}\text{Pu}$ были сопоставимы с имеющимися единичными данными в мире.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ^{210}Po В БИОСУБСТРАТАХ ЧЕЛОВЕКА. ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК

Каримова А.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В., Шатров А.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Данная работа посвящена разработке методики определения активности ^{210}Po в биосубстратах человека, а именно в пробах мочи.

Целью работы является постановка метода определения активности ^{210}Po в пробах мочи и оценка доз внутреннего облучения от данного радионуклида.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Разработать методику определения активности ^{210}Po в пробах мочи.
2. Определить активность ^{210}Po в суточных пробах мочи.
3. Оценить дозу внутреннего облучения человека от ^{210}Po .

В ходе разработки методики радиохимического выделения ^{210}Po из проб мочи были изучены и проанализированы существующие методы определения активности радионуклидов в биологических пробах. В результате чего была составлена методика радиохимического выделения ^{210}Po из проб мочи, которая состоит из следующих основных операций: разрушение органической матрицы, подготовка пробы к автоосаждению, получение счетного образца и альфа-спектрометрические измерения.

Разрушение органической матрицы мочи проводили путем мокрого озоления концентрированными кислотами. Сочетание методов мокрого и сухого озоления неприемлемо, так как повышение температуры более 150 °С может привести к улетучиванию органических соединений ^{210}Po . При автоосаждении ^{210}Po приняты меры для предотвращения сорбции ^{210}Po на стекле и мешающего влияния иона трехвалентного железа. Измерение активности ^{210}Po проводятся на альфа-спектрометре с полупроводниковым детектором (ППД) «Alpha-Analyst» («CANBERRA», США).

На основе результатов определения полония в суточных пробах мочи была проведена оценка доз внутреннего облучения персонала. Главным путем поступления выбран ингаляционный путь. Расчеты проводились с использованием биокинетической модели ^{210}Po . С ее использованием была получена функция выведения ^{210}Po с мочой на 1 Бк ингаляционного поступления. Функция выведения ^{210}Po с мочой для хронического ингаляционного поступления со скоростью 1 Бк/сутки была представлена как суперпозиция однократных поступлений за все время хронического поступления. Переход от активности ^{210}Po в моче к его активности в организме осуществлялся с использованием отношения функции выведения ^{210}Po с мочой к функции удержания ^{210}Po во всем теле при условии хронического ингаляционного поступления со скоростью 1 Бк/сутки на один и тот же момент времени. Расчет дозы проводился для основных критических органов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СООТНОШЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ В ПОЧВЕ НА УСЛОВНО-ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Бакланова Ю.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Начиная с 2008 г. Институтом радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ) проводятся комплексные радиоэкологические исследования территорий полигона, находящихся за пределами испытательных площадок. За это время было подробно исследовано более 6,9 тыс. км² территории полигона. Проведен анализ содержания гамма-излучающих естественных и техногенных изотопов радионуклидов в более чем 8,1 тыс. образцах грунта. Учитывая площадь исследуемых территорий и количество проб, определение таких изотопов как ^{90}Sr с использованием радиохимического анализа достаточно трудоемко и дорогостояще.

Данная работа посвящена исследованию отношений активностей продуктов деления ^{137}Cs и ^{90}Sr на условно-фоновых территориях СИП. Целью исследования является определение основных значений изотопных отношений $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ и их распределение на условно-фоновых территориях СИП. Схожесть ядерно-физических характеристик образования этих радионуклидов позволяет предложить оценку площадного распределения ^{90}Sr , используя соотношения активностей между ними. Используя данный метод, появляется возможность обойти радиохимическую подготовку проб, и, таким образом, упростить и удешевить процедуру оценки активности ^{90}Sr , проводя ее только для подтверждения расчетных данных.

Расчеты соотношений $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ проводились на основе полученных ранее результатов лабораторных измерений образцов почвы, прошедших гамма-спектрометрический анализ для определения активности ^{137}Cs , и радиохимическую подготовку с последующей жидко-сцинтилляционной бета-спектрометрией для определения активности ^{90}Sr . В результате статистического анализа выявлена возможность проведения оценки активности ^{90}Sr через корреляционную зависимость от активности ^{137}Cs , установлено, что соотношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ на фоновых территориях СИП подчиняется нормальному логарифмическому закону, что объясняет значительный разброс значений изотопных отношений, при этом 95% выборки находится в интервале $0,04 \div 1,8$. Коэффициент корреляции для соотношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ на условно-фоновых территориях составляет 0,71. Результаты расчетов показали, что для экспрессной оценки активности ^{90}Sr в образцах почвы, отобранных на условно-фоновых территориях СИП, можно использовать выражение $^{90}\text{Sr} \leq 0,7 \cdot ^{137}\text{Cs}$.

Для проверки возможности использования данного коэффициента в местах, подвергшихся явному влиянию СИП, были проведены подобные исследования по изучению распределения соотношений $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в местах прохождения следа от термоядерного испытания 12.08.1953 г. В результате проведенного статистического анализа установлено, что соотношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ подчиняется нормальному логарифмическому закону, при этом 95% выборки для данной территории находится в интервале $0,2 \div 8,2$, получен средний коэффициент отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs} = 3,1$. Данные расчеты показали, что использование выражения $^{90}\text{Sr} \leq 0,7 \cdot ^{137}\text{Cs}$ возможно только на условно-фоновых территориях СИП и не применимо для мест, подвергшихся выпадениям от ядерных испытаний.

Проведенные расчёты позволяют оптимизировать проведение комплексных радиоэкологических исследований условно-фоновых территорий путем отказа от проведения дорогостоящих радиохимических анализов ^{90}Sr , проводя их только для подтверждения полученных результатов.

ПРЕМИАЛЬНЫЕ ПОЛУ ПЛАНАРНЫЕ ОЧГ ДЕТЕКТОРЫ GEM-SP КОМПАНИИ ORTEC ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕМИАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ НАЧИНАЯ ОТ 3 кэВ. А ТАКЖЕ УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ

Бредихин И.С.

ORTEC - Ametek LLC, г. Москва, Россия

e-mail: ivan.bredikhin@ametek.com

Получение предельных разрешений по энергии во всём исследуемом диапазоне – жизненно важное требование, ставящееся современными учёными. Только выполнение данного требования позволяет проводить много-нуклидную идентификацию. Само же разрешение во многом определяется не только качеством электроники и алгоритмами, используемыми для деконволюции пиков, но именно полупроводниковыми ОЧГ детекторами. Так, лучшее разрешение повышает точность определения пиков в спектре, что ведёт к уменьшению количества ложноположительных и перекрывающихся пиков, что приводит к уменьшению минимально детектируемой активности (МДА) искомым нуклидов.

Особенно актуальна проблема идентификации нуклидов с эмиссией гамма-квантов в областях малых энергий. Канонически исследователи пытаются определять их количества по взаимосвязям с наличием нуклидов-спутников. К сожалению, это возможно лишь для хорошо известных серий образцов, и не для всех интересующих нуклидов.

Начиная с 1960 года ORTEC последовательно развивал и выводил на рынок новые технологии в области альфа и гамма спектрометрии. Не стали исключением и 2014/2015 года, когда общественности были представлены две прорывные технологии «тонкого фронтального контакта» (2014), а также «низкошумного обратного контакта» (2015), реализованные в детекторах р-типа линеек GEM Profile S/C/SP.

Упомянутые выше детекторы линейки GEM Profile SP не только позволяют измерять нуклиды с пиками на энергиях от 3 кэВ до 3 МэВ, но и обладают на 25% (четверть) лучшим разрешением на энергии 5,9 кэВ чем ближайшие по параметрам коммерчески доступные на сегодняшний день детекторы других производителей.

Премиальное разрешение, низкие шумы, низкий Комптоновский пик, оптимизированная геометрия, колоссальная эффективность регистрации в области малых энергий – вот не полный перечень преимуществ, которые предлагаются современным исследователям и работникам атомной промышленности, экологам и отделам радиационной безопасности, отделам по работе с ядерными отходами и медицинским сотрудникам.

В докладе будут рассмотрены как приведённые выше новые детекторы и системы охлаждения, так и обновлённые системы на их основе.

ОСОБЕННОСТИ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ р. ШАГАН

Есимбеков А.Ж., Айдарханов А.О., Актаев М.Р., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В данной работе представлены результаты исследования подземных вод, распространённых в бассейне р. Шаган, а также рассмотрены основные особенности тритиевого загрязнения подземных вод.

В бассейне р. Шаган изучались следующие виды подземных вод: грунтовые воды, залегающие в толще рыхлых осадочных отложений, и трещинные воды, залегающие в пустотах и трещинах коренных скальных пород. Отбор проб подземных вод производился путем вскрытия водоносного горизонта методом бурения скважин. Исследования грунтовых вод левого берега проводились по профилям проложенным вдоль русла в интервале с 1 по 30 км вниз по течению от «Атомного» озера. Расстояние между скважинами определялось степенью детализации исследований и составляло на отрезке с 1 по 4,6 км – 200 м, на участке с 4,6 по 6 км – 100 м, далее с 6 по 20 км – также 200 м и с 20 по 30 км – 400 м. Грунтовые воды правого берега изучались по профилю в интервале с 4 по 8 км с шагом между скважинами 300 м. Трещинные воды исследовались на участке максимальной концентрации трития в поверхностных водах на 5 км вниз по течению от «Атомного» озера на правом и левом берегах р. Шаган.

Согласно результатам исследований загрязнение тритием грунтовых вод левого берега характеризуется неравномерным распределением трития. Максимальные значения установлены на участке, расположенном на расстоянии 5 км вниз по течению от «Атомного» озера и составили ~45 000 Бк/кг. Далее с 5 по 30 км происходит снижение активности трития, но неравномерный характер загрязнения сохраняется, изменяясь в пределах от 15 000-20 000 до 300 Бк/кг. Загрязнение грунтовых вод правого берега отличается зависимостью уровня загрязнения тритием от расстояния до русла реки. Так, в скважинах, пробуренных в непосредственной близости от русла (10-20 м) зафиксированы максимальные значения трития ~12 000-36 000 Бк/кг, тогда как в скважинах удаленных от русла на 300-700 м активность трития не превышает 140 Бк/кг. Такая особенность связана тем, что на загрязнение грунтовых вод, распространенных вблизи русла, оказывают воздействие загрязненные поверхностные воды путем естественного водообмена.

По полученным данным максимальная активность трития в трещинных водах левого берега составляет 300 000 Бк/кг. На правом берегу активность трития в трещинных водах составила меньше предела обнаружения используемой аппаратуры (<13 Бк/кг). Активность H^3 в трещинных водах выше значений H^3 в поверхностных и грунтовых водах. Учитывая это, а также имеющиеся данные о геологическом строении и тектонической ситуации участка, полученные ранее Институтом геофизических исследований, можно утверждать, что трещинные воды являются главным загрязнителем поверхностных вод р. Шаган.

Таким образом, разгрузка загрязненных H^3 трещинных вод в поверхностные воды реки происходит с левого берега. Тем не менее, принимая во внимание сложное геологическое строение и наличие множества тектонических нарушений на исследуемом участке, можно предположить, что динамика и взаимодействие трещинных вод правобережной и левобережной части происходит на более глубоких уровнях толщи коренных пород, а также по глубинным разломам. Также требует дальнейших исследований характер взаимодействия в системе «поверхностные воды – грунтовые воды – трещинные воды» на участках, удаленных от основного источника загрязнения H^3 и сохраняющих уровень загрязнения в грунтовых и поверхностных водах до 15 000 Бк/кг, для ответа на вопрос: является ли причиной данного загрязнения наличие дополнительных каналов разгрузки или оно связано с постепенным разбавлением загрязненных поверхностных вод.

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЯХ ПОЧВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Кабдыракова А.М., Лукашенко С.Н., Кундузбаева А.Е., Меньдубаев А.Т.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Исследования распределения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr по гранулометрическим фракциям почв проводились в местах, радиоактивное загрязнение которых обусловлено различными механизмами: водный перенос радионуклидов (сорбционно-десорбционные процессы), выпадения от экскавационного испытания, выпадения от наземных взрывов (ближние и отдаленные зоны выпадений) и фоновое загрязнение.

Для количественной оценки распределения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr по гранулометрическим фракциям почвы был использован безразмерный параметр – коэффициент обогащения (K_o), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции ($A_{уд}^{фр.}$) к удельной активности того же радионуклида в соответствующей исходной почве ($\bar{A}_{уд}^п$): $K_o = A_{уд}^{фр.} / \bar{A}_{уд}^п$. Значение $K_o > 1$ свидетельствует о концентрировании радионуклидов в данной фракции, а при $K_o < 1$ фракция обеднена радионуклидами.

Результаты показали, что распределение радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ по гранулометрическим фракциям почвы имеет свои особенности в зависимости от характера и механизма радиоактивного загрязнения:

- сорбционно-десорбционные процессы, протекающие в почве, приводят к возрастанию концентрации радионуклидов прямо пропорционально удельной поверхности частиц, т.е. чем меньше фракция, тем больше в ней сконцентрировано радионуклидов;
- в местах проведения экскавационных испытаний («Атомное» озеро) особенностью распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы является различие характера распределения продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) и элементов материала ядерного заряда (^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$). Распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr имеет тенденцию накопления в тонких фракциях почвы (<1 мкм), ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – наоборот, в относительно крупных (100-500 мкм и 40-8 мкм);
- в ближних зонах выпадений продуктов наземного ядерного взрыва концентрирование активности всех радионуклидов главным образом происходит в крупных фракциях почвы (1000-500 мкм);
- на отдаленных следах наземных ядерных испытаний в почве обнаруживаются определенные фракции, существенно обогащенные искусственными радионуклидами. Например, на 70-110 км участке следа термоядерного взрыва 12.08.1953 г. в наибольшей степени обогащена радионуклидами фракция 500-250 мкм;
- на условно «фоновых» территориях распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы имеет тенденцию возрастания концентрации радионуклидов в тонких почвенных фракциях, что вероятнее всего обусловлено их сорбционно-десорбционным перераспределением.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены основные механизмы формирования распределения радионуклидов по почвенным гранулометрическим фракциям при различных условиях радиоактивного загрязнения почвы.

СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ УРАНА В ПОЧВАХ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»

Койгельдинова М.Т., Лукашенко С.Н., Мухамедияров Н.Ж., Ташекова А.Ж.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Наибольшее внимание в радиэкологических обследованиях СИП уделялось изучению долгоживущих осколков деления (^{90}Sr , ^{137}Cs), остаткам делящегося вещества ядерного заряда (^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu и ^{241}Am). При этом за все время обследования практически не было данных об уровнях содержания на данной территории изотопов урана (^{235}U и ^{238}U). По историческим данным известно, что на территории Семипалатинского испытательного полигона проводились гидроядерные эксперименты с зарядами, содержащими не только плутоний, но и уран. В связи с этим была поставлена *цель исследования*: изучение валового содержания урана и его изотопного состава, а также форм нахождения урана в почвах СИП с использованием более чувствительного масс-спектрометрического метода.

Материалом для исследования послужили пробы почвы, отобранные с глубины 0-2,5 см с площадки «Опытное поле»: П2-П7, П2-Г, П-3-П5, техногенного объекта «У-1». Исследуемые почвы относятся к светло-каштановым, суглинистым почвам, с содержанием гумуса – 2-3%. Анализ результатов показал, что загрязнение почвы изотопами техногенного урана (обедненного/обогащенного ^{235}U) данных площадок имеет мозаичный и неравномерный характер.

Площадки П-2, П2-Г, П-7. На данных площадках выявлено 19 участков, с различными уровнями содержания в почве техногенного урана. Концентрация урана в почве площадок П-2, П2-Г и П-7 находилась в пределах 0,58-33 мг/кг. При этом для большинства исследуемых проб изотопный состав урана (смесь природного и техногенного) был смещен относительно природного содержания в сторону обогащения по изотопу ^{235}U .

Площадка П3- П-5. На данных площадках исследовано 8 участков, с различными уровнями содержания в почве техногенного урана и его изотопного состава. Согласно полученным данным, содержание урана в почвах площадок П-3 и П-5 не превышают кларковые значения и колеблются в интервале 0,40-1,84 мг/кг. Для большинства исследуемых участков выявлено повышенное содержание ^{235}U , с обогащением до 3%. Исключение составил участок № 6, который характеризовался наличием обогащенного ^{235}U (37%).

Техногенный объект У-1 (урановые воронки). На территории техногенного объекта У-1 выявлены локальные участки загрязнения техногенным ураном, изотопный состав которого смещен в сторону обеднения по ^{235}U . Выявлены точки с аномально высоким содержанием техногенного урана в почве в пределах 94,6-31 800 мг/кг с изотопным соотношением, соответствующему обедненному урану: (^{235}U 0,17-0,43%).

Исследуемые образцы различались как по степени обогащения ^{235}U , так и абсолютным содержанием урана, поэтому и подвижность техногенного урана в данных образцах могла быть различна.

Общей тенденцией для всех исследуемых проб почв с различным содержанием урана и изотопным соотношением было минимальное содержание его легкодоступных для растений форм (водорастворимой и обменной) – в среднем менее 2%. В связи, низкого содержания гумуса в исследуемых светло-каштановых почвах содержание урана в органически связанной фракции также была минимальна или вовсе отсутствовала.

Для форм соединений урана в относительном выражении концентраций при незначительных отклонениях был характерен следующий ряд: $U_{\text{водн}} < U_{\text{обм}} < U_{\text{орг}} < U_{\text{прочн.св}} < U_{\text{подв}}$. Основная доля урана в почве находилась в потенциально подвижной форме (1 н HCl). В данную фракцию входят элементы, связанные с различными почвенными компонентами (глинистыми минералами, гуминовыми соединениями, оксидами Fe, Al, Mn, первичными минералами) которые характеризуются различной миграционной способностью. В случае изменения почвенных условий, главным образом pH, Eh, солености, данные соединения могут стать мобильными и мигрировать из почвы. В данной ситуации может возникнуть угроза ухудшения экологической ситуации, особо опасным является миграция в системе «почва – грунтовые воды» и «почва – растения».

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ УСЛОВНО «ФОНОВЫХ» ТЕРРИТОРИЙ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Кундузбаева А.Е., Лукашенко С.Н., Кабдыракова А.М., Бакирова Г.А.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В работе приведены результаты исследования форм нахождения искусственных радионуклидов в почвах некоторых условно «фоновых» территорий СИП: «северная», «западная», «юго-восточная» и «южная». Несмотря на близкое расположение площадок испытаний, радиационная обстановка на большей части условно «фоновых» территорий в основном обусловлена глобальными выпадениями, за исключением зон прохождения «следов» местных выпадений от ядерных испытаний проведенных на площадке «Опытное поле». «Следы» выпадений двух наземных взрывов (24.09.1951 г. и 12.08.1953 г. (термоядерный)), которые пересекают исследуемые «юго-восточную» и «южную» части СИП, могли определить иной характер радионуклидного загрязнения почвенного покрова.

Исследование форм нахождения радионуклидов в почвах проводили методом последовательного экстрагирования с применением следующих экстрагентов: H_2O (водорастворимые формы), 1М CH_3COONH_4 (рН=6,8) (обменные формы), 0,1 н NaOH (органически связанные формы), 1 н HCl (подвижные). В почве после экстракции определяли прочносвязанные (остаточные) формы.

Проведенные исследования выявили низкую подвижность в почвах радионуклидов ^{137}Cs и $^{239+240}Pu$ независимо от типа выпадений, обусловивших радиоактивное загрязнение почв. Более 93% удельной активности ^{137}Cs находится в почвах условно «фоновых» территорий в прочносвязанной форме. Доля прочносвязанного почвенными компонентами $^{239+240}Pu$ может достигать 99% от удельной активности радионуклида в почве.

Основное содержание трансуранового радионуклида ^{241}Am в почвах отмечено в прочносвязанной, недоступной растениям форме, менее значительное содержание отмечается в подвижной (кислоторастворимой) форме, представляющей потенциальный резерв для растений.

Особый интерес представляют результаты исследования радионуклида ^{90}Sr . В целом, в почвах условно «фоновых» территориях СИП ^{90}Sr отмечен как наиболее подвижный радионуклид. Однако, содержание форм нахождения радионуклида в исследованных почвах довольно неоднородное. В почвах «северной» и «западной» территорий, наиболее отдаленных от «следов» вышеупомянутых наземных взрывов, значимая доля ^{90}Sr находится в обменной форме (в среднем около 40%), несколько меньше в подвижной (в среднем 25%). На участках, расположенных вблизи зон прохождения «следов» («юго-восточная» и «южная» часть), содержание обменной и подвижной форм снижается в среднем до 30% и 15% соответственно.

На «следах» выпадений от наземных ядерных испытаний поведение ^{90}Sr принципиально меняется. Доминирующей становится прочносвязанная форма, содержание которой достигает более 90%, а доли обменной и подвижной форм в сумме не превышают 10%.

Таким образом, результаты исследования подвижности радионуклида ^{90}Sr могут быть использованы в качестве дополнительного параметра при изучении характера радионуклидного загрязнения почвенного покрова и установлении влияния выпадений от наземных ядерных испытаний на исследуемые территории.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛОЩАДКИ МОНИТОРИНГА НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханова А.К.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

До настоящего времени на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) существуют радиационно-опасные объекты (участки радиоактивного загрязнения), нуждающиеся в постоянном мониторинге. Наиболее распространенные методы радиоэкологического мониторинга (системы гидрогеологических скважин и постов воздушного мониторинга) отражают ситуацию на определенный момент времени, но не всегда способны дать интегральную оценку за прошедший период. С этой точки зрения, биологические площадки мониторинга, представляющие собой группы растений определенного видового состава, могут характеризовать радиационную ситуацию за определенный отрезок времени, связанный с продолжительностью жизни, как отдельных видов растений, так и отдельных их органов.

Исследования проведены на участках выноса радионуклидов с водой из мест проведения подземных ядерных испытаний за границу площадки «Дегелен». С целью выявления соотношения и механизмов перераспределения радионуклидов по отдельным компонентам окружающей среды проведены полевые работы, включающие: бурение гидрогеологических скважин, заложение почвенных разрезов и отбор проб окружающей среды (вода (поверхностная и грунтовая), почва, растения). Исследуемые виды растений: гигрофиты (*Phragmites australis*, *Carex melanostachya*, *Calamagrostis arundinacea*), произрастающие в зоне поверхностного водотока, и фреатофиты (*Salix triandra*, *Populus nigra*), использующие в качестве источника влаги в основном грунтовые воды. Измерение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проведены методом гамма-спектрометрии, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией, ^3H – методом жидкостинциляционной спектрометрии. Содержание ^3H в растениях определялось в их органической составляющей и свободной воде, испаряемой растениями.

По результатам анализа удельная активность радионуклида ^3H в воде составляет 35-75 кБк/кг, ^{90}Sr – <0,25-14 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – <0,0002-0,002 Бк/кг. Количественные значения содержания ^{241}Am (<3 Бк/кг) и ^{137}Cs (<0,03 Бк/кг) в воде установить не удалось. Максимальные концентрации радионуклидов ^{241}Am (до 7 Бк/кг), ^{137}Cs (до 140 Бк/кг), ^{90}Sr (до 1200 Бк/кг) и $^{239+240}\text{Pu}$ (до 35 Бк/кг) отмечаются в верхнем слое почв и снижаются по глубине профиля, что может указывать на их вынос с поверхностными водами. Удельная активность ^3H в свободной воде растений составляет 10-45 кБк/кг, в органической составляющей – 7,9-17 кБк/кг. Содержание ^{90}Sr в растениях составляет 4,8-350 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – <0,1-13±2 Бк/кг, ^{241}Am – <0,4-2,6 Бк/кг, ^{137}Cs – <1-6,7 Бк/кг. Более высокие значения удельной активности ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^{137}Cs в растениях, чем в воде, могут быть связаны как со способностью растений к их накоплению, так и с непостоянством выноса радионуклидов с водой. Растения в данном случае, могут быть показателями содержания радионуклидов в почвенном покрове, в поверхностной воде, а также могут характеризовать более глубокие слои почвы и грунтовые воды соответствующих территорий. Установленные количественные значения удельной активности радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs в растениях указывают на возможность их использования для оценки вод и почв при мониторинге радиационно-опасных объектов.

МЕТОДОЛОГИЯ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО УЧЕТА ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ИОНИЗИРУЮЩЕМУ ОБЛУЧЕНИЮ ОТ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Апсаликов К.Н., Мулдагалиев Т.Ж., Липихина А.В., Жакупова Ш.Б.

Научно-исследовательский институт Радиационной медицины и экологии, г. Семей, Республика Казахстан

В Республике Казахстан в силу геологических особенностей территории, развития урансодержащей сырьевой базы, наличия бывших полигонов ядерных испытаний в зонах радиационного воздействия находится около 13% территории страны с населением 1 млн. человек [1].

Персонифицированный учет лиц, подвергшихся ионизирующему облучению от радиационно-опасных объектов, – стратегическое направление для решения медико-организационных задач, в том числе управления качеством медицинского освидетельствования лиц, формирование численного и возрастно-полового состава населения, подвергшегося облучению, оценка состояния здоровья, выявление и ранжирование патологических состояний на основе радиационно-гигиенического мониторинга.

Основными задачами персонифицированного учета лиц являются:

- автоматизированный учет паспортно-регистрационных, дозиметрических и медицинских данных подвергшегося ионизирующему облучению населения;
- создание программно-математического обеспечения по статистическому и радиационно-эпидемиологическому анализу данных;
- обеспечение контроля над состоянием здоровья населения, выявление достоверных причинно-следственных связей между показателями здоровья и факторами риска [2];
- создание унифицированных подходов при ведении медицинских информационных систем и медицинских регистров по радиационной медицине и радиационной эпидемиологии;
- подготовка обобщающих информационно-аналитических материалов, обмен медико-дозиметрическими данными на республиканском и международном уровне.

Система персонифицированного учета (СПУ) лиц, подвергшихся ионизирующему облучению, представляет собой программно-технический комплекс с информационно-аналитической системой. Предназначена для сбора, консолидации, хранения и учетного анализа данных населения, пострадавшего от воздействия ионизирующего облучения, на основе единой электронной базы данных и ее поддержки в актуальном состоянии [3].

Основная цель создания СПУ – создание и внедрение новых технологий регистрации, анализа и преодоления медико-социальных последствий облучения населения Казахстана в результате действия источников ионизирующего излучения.

При создании СПУ медицинские учреждения на местах получают возможность всеобъемлющего контроля за изменением численности групп с высокой степенью риска реализации постлучевых эффектов и динамики их состояния здоровья. Выделение некоторых индикаторных классов общесоматических и онкологических заболеваний, имеющих высокую чувствительность к радиационному воздействию, позволят оперативно и с большей эффективностью проводить профилактические и реабилитационные мероприятия, направленные на минимизацию последствий облучения [4]. Разработка и внедрение методов диспансерной профилактической и реабилитационной работы позволит формировать среднесрочные и долгосрочные программы, направленные на снижение ежегодных дозовых нагрузок на население и профилактику соответствующих классов заболеваний.

Методология персонифицированного учёта, прежде всего, основана на территориальном распределении радиационно-опасных регионов, благодаря чему можно рассчитать уровень поглощённой дозы исходя из документов, подтверждающих местопребывание на данной территории любого лица, подвергавшегося ионизирующему облучению в определённый период времени. Также при учёте лиц, подвергшихся ионизирующему облучению, обязательно берётся во внимание генеалогический аспект, в СПУ заносится информация о ближайших родственниках, что позволяет отслеживать радиационное воздействие сразу для нескольких поколений, а также систематизировать поступающие данные.

В Научно-исследовательском институте радиационной медицины и экологии созданы, функционируют и постоянно пополняются информацией: «Государственный научный автоматизированный медицинский регистр» (ГНАМР) населения Казахстана, пострадавшего в результате деятельности Семипалатинского полигона; «Система персонифицированного учета ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции и их потомков» (СПУ), проживающих на территории нашей страны. На сегодняшний день в базе данных ГНАМР содержится регистрационная, медицинская, дозиметрическая информация на 316 067 человек, в базе данных СПУ – на 2 540 человек.

Начато создание электронной базы данных, включающей в себя две взаимосвязанные структуры «База данных населения села Калачи» и «База данных экологических параметров села Калачи». Названная база данных послужит основой для создания системы персонифицированного учета лиц, проживающих на территориях урановорудных месторождений Казахстана.

Литература:

1. Панин М.С. Основные источники загрязнения территории Казахстана радионуклидами и тяжелыми металлами // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Материалы III Междунар. конф., Семипалатинск, 7-9 октября 2004 г. Т. 1. – Семипалатинск, 2004. С. 14-27.
2. Пивина Л.М., Белихина Т.Н., Кошпесова Г.К., Болеуханова Р.Т., Керимкулова А.С., Маркабаева А.М. Тематический регистр болезней системы кровообращения жителей Казахстана, подвергшихся радиационному воздействию // Наука и здравоохранение. - 2013.- № 4,- С. 15-18
3. Мулдагалиев Т.Ж., Апсаликов К.Н., Липихина А.В., Белихина Т.И., Зингатинова З.С., Жакупова Ш.Б., Булеуханова Р.Т. Автоматизированная система персонифицированного учета лиц, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне, и их потомков // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции (Томск, 4-8 июня 2013г.); Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 377-379.
4. А.В. Липихина, Г.К. Кошпесова, А.Е. Мансарина. Медико-организационное обеспечение Государственного научного автоматизированного медицинского регистра населения Казахстана, подвергшегося радиационному воздействию в результате испытаний ядерного оружия на СИЯП // Сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции «Экология. Радиация. Здоровье» (28-29 августа), Государственный медицинский университет г. Семей, - Семей: МАП, 2012. – С.53.

ЭПР-ДОЗИМЕТРИЯ НА ОСНОВЕ АЛАНИНА И ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Середавина Т.А., Рухин А.Б., Стахов О.В., Сушкова Н.С.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

С развитием атомной техники и радиационных технологий вопросы дозиметрии становятся все более актуальными. Особенно важной проблемой является изучение свойств материалов дозиметров для оперативной и ретроспективной дозиметрии.

В ЭПР-дозиметрии, основанной на измерении концентрации парамагнитных радиационных дефектов, для контроля дозы используются дозиметрические материалы (ДМ), важные свойства которых – образование стабильных парамагнитных центров (пмц) при поглощении энергии излучения, линейность дозового отклика, доступность и технологичность, желательно в сочетании с тканеэквивалентностью.

Дозиметрия на основе аланина, применяемая для задач оперативной дозиметрии, работоспособна до 10^4 Гр, а датчик дозы практически удовлетворяет требованию тканеэквивалентности. ЭПР-дозиметрия по аланину, вследствие стабильности дефектов и линейности дозового отклика в широких пределах, исследовалась в ИЯФ на предмет возможности развития γ -нейтронной дозиметрии.

Несмотря на наличие стандартов, при практическом применении аланиновой дозиметрии, в случае реальных радиационных полей, возникают вопросы. В работе рассматриваются результаты проведенного исследования возможностей применения таблетированных дозиметров на основе аланина с добавками элементов, дающих пороговые реакции с нейтронами, в условиях смешанного γ -нейтронного излучения исследовательского атомного реактора ВВР-К и источника нейтронов на базе изохронного циклотрона, изучен также ряд органических материалов.

Поиск материалов для дозиметрии методом ЭПР продолжается в разных направлениях, особенно в ретроспективной дозиметрии, в частности, для этой цели – для дозиметрии аварийного облучения – детально и не совсем безуспешно исследовались другие ткани – ногти, волосы человека, а также предметы быта – стекла, полимеры и т.д.

Результаты проведенных работ могут быть полезны для дозиметрии при материаловедческих исследованиях, при производственной радиационной стерилизации пищевых продуктов, при производстве радиоизотопов для медицины и промышленности.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Тимонова Л.В., Турченко Д.В., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

За всю историю Семипалатинского испытательного полигона (СИП) на его территории было проведено более 450 ядерных испытаний, в результате чего, наряду с основными техногенными радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238+240}\text{Pu}$, образовалось значительное количества трития. Радиологические исследования, проводимые на полигоне, показали, что на настоящий момент тритий является основным радионуклидом, представляющим опасность с точки зрения радиационного загрязнения воздушной среды.

Целью исследования являлось изучение закономерностей распределения трития в воздушной среде радиационно-опасных участков СИП.

Исследования характера распределения трития в воздухе проводились на территории испытательных площадок «Дегелен», «Балапан», «Опытное поле», а также на радиационно-опасных объектах полигона – «Атомное» озеро и река Шаган, где осуществлялись ядерные испытания различного характера. Дополнительно, для оценки фоновых концентраций трития на полигоне, было проведено исследование содержания трития в воздухе на условно «фоновой» территории – юго-восточной части СИП.

Особое внимание необходимо обратить на то, что в ходе проведения исследований на ряде участков было выявлено присутствие двух форм трития в воздухе – в виде тритированной воды (НТО) и в виде газообразных соединений ($\text{H}_{\text{газ}}$).

Максимальная концентрация НТО зафиксирована на площадке «Дегелен», где проводились подземные ядерные взрывы (ПЯВ) в штольнях. Присутствие НТО отмечено в атмосферном, почвенном и штольневом воздухе, максимальная объемная активность составила порядка 1300 Бк/м^3 , значимые концентрации НТО в воздухе, достигающие $1 \cdot 10^2 \text{ Бк/м}^3$ также наблюдались и за пределами площадки «Дегелен», на расстоянии более 5 км. Присутствие $\text{H}_{\text{газ}}$ зафиксировано в почвенном воздухе в непосредственной близости от портала штолен, объемная активность составила порядка $0,5 \text{ Бк/м}^3$.

Максимальная концентрация $\text{H}_{\text{газ}}$ в воздухе отмечается на площадке «Балапан», где ПЯВ проводились в вертикальных скважинах. На данной территории наблюдается иное распределение трития в воздушной среде. Тритий зафиксирован в атмосферном и почвенном воздухе, вблизи расположения скважин, на расстоянии не более 500 м от устья. Объемная активность НТО составила $1 \div 300 \text{ Бк/м}^3$, $\text{H}_{\text{газ}} - 1 \div 200 \text{ Бк/м}^3$.

Исследования в местах проведения наземных, воздушных ядерных испытаний на площадке «Опытное поле» не выявили значимых концентрация трития в воздушной среде. Объемная активность НТО составила не более $0,5 \text{ Бк/м}^3$.

В месте проведения экскавационного взрыва на территории «Атомного» озера также отмечено присутствие обеих форм трития в атмосферном и почвенном воздухе. Концентрация НТО на гребне воронки озера составила от 1 до 90 Бк/м^3 , концентрация $\text{H}_{\text{газ}}$ составила от 0,2 до 4 Бк/м^3 . На данном участке распространение трития в воздухе носит локальный характер и ограничено зоной расположения воронки взрыва.

Исследования в русле реки Шаган, которая проходит через «Атомное» озеро и выходит далеко за пределы полигона, показали наличие высокого содержания НТО в воздухе, объемной активностью до 700 Бк/м^3 . Содержание $\text{H}_{\text{газ}}$ на данном участке составило порядка $0,2 \text{ Бк/м}^3$. По мере удаления от русла реки в стороны концентрация трития резко снижается, достигая фоновых значений.

Впервые для территории СИП получены систематические количественные данные об уровне содержания ^3H в воздушном бассейне и его распределении в воздушной среде на испытательных площадках. Результаты исследований показали – уровни концентрации трития в воздушной среде и закономерности его распределения существенно изменяются в зависимости от вида проводимых испытаний.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДКИ П-1

Новиков А.А., Мошков А.С., Умаров М.А., Лукашенко С.Н., Яковенко Ю.Ю.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

«Опытное поле» было первой испытательной площадкой Семипалатинского полигона и предназначалось для проведения атмосферных (наземных и воздушных) ядерных испытаний в период с 1949 по 1962 гг. В пределах площадки «Опытное поле» существовал ряд технических площадок (П-1, П-2, П-3, П-5, П-7), где проводились наземные ядерные испытания. Объектом исследования в данной работе являлась техническая площадка П-1, расположенная в центре «Опытного поля». По имеющимся историческим данным (хронология ядерных испытаний СССР 1949-1962 гг.) на территории технической площадки П-1 были проведены 4 наземных ядерных испытания (29.08.1949 г. – 22 кт, 24.09.1951 г. – 38 кт, 12.08.1953 г. – 400 кт и 05.11.1962 г. – 0,4 кт).

Техническая площадка П-1 представляет собой равнину с незначительными перепадами высот и следами значительной техногенной деятельности. Контур площадки округлой формы радиусом 2 км и площадью 13 км². На территории данной площадки была сооружена мощная испытательная инфраструктура в виде множества наземных и подземных бетонных сооружений, капониров, кабельных каналов, прочих техногенных объектов, предназначенных для регистрации основных параметров ядерного взрыва. В настоящее время в центре технической площадки П-1 имеется несимметричная воронка с признаками проявления грунтовых вод, а так же множество техногенных объектов в виде земляных насыпей.

Основной целью исследования являлось идентификация мест проведения наземных испытаний, проведенных на территории технической площадки П-1.

Исследование особенностей площадного распределения радионуклидов заключалось в получении современной информации о пространственном распределении техногенных радионуклидов на территории площадки путем применения методов пешеходной гамма- спектрометрической съемки и анализа проб почвы гамма- спектрометрическим и радиохимическим методом в лабораторных условиях. Используемые методы позволили получить данные, по которым была проведена идентификация мест проведения испытаний на территории исследуемого объекта.

В результате проведенных работ был определен общий характер загрязнения территории площадки. Обнаружены два эпицентра ядерных испытаний, а также следы радиоактивных выпадений. Выявленные эпицентры имеют индивидуальный радионуклидный портрет, а также разные изотопные соотношения.

В эпицентре, расположенном в центре площадки, максимальное значение удельной активности для ²¹⁴Am не превышает 3 500 Бк/кг, для ¹³⁷Cs значения достигают 80 000 Бк/кг, среднее значение отношения ²⁴¹Am/¹³⁷Cs – 0.04, значения изотопных отношений для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu/²⁴¹Am варьируют от 3 до 70. Учитывая полученные практические и литературные данные, можно предположить, что именно в этой точке были проведены 3 испытания (29.08.1949 г. – 22 кт, 24.09.1951 г. – 38 кт, 12.08.1953 г. – 400 кт). Диаметр эпицентральной зоны составляет ~2000 метров, который приурочен к испытанию, проведенному в 1953 г.

Второй эпицентр расположен на удалении ~1200 метров от центра технической площадки П-1. Максимальное значение удельной активности для ²¹⁴Am составляет порядка 80 000 Бк/кг, для ¹³⁷Cs – 7 000 Бк/кг, среднее значение отношения для ²⁴¹Am/¹³⁷Cs составляет 11.3, для ²³⁹⁺²⁴⁰Pu/²⁴¹Am – 6.8, что в свою очередь свидетельствует о принадлежности к отдельному эксперименту. Диаметр эпицентральной зоны составляет ~600 метров.

Ключевым моментом оказалось применение данных по ¹⁵²Eu (порядка $n \times 10^4$), которые позволили идентифицировать эпицентры испытаний и охарактеризовать размеры эпицентральных зон.

По результатам работ получена информация о современном радиационном состоянии сформированной на территории технической площадки П-1, выявленные эпицентры идентифицированы, охарактеризованы в полном объеме и соответствуют каталогу проведенных испытаний.

РАДИОНУКЛИДЫ В ОРГАНИЗМЕ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Паницкий А.В., Лукашенко С.Н., Кадырова Н.Ж.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В ходе проведения испытания ядерного оружия и поражающих факторов радиоактивных веществ на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) сформировались участки с высоким уровнем содержания радионуклидов в природных средах – почве, растительности, воде. Как правило, такие участки приурочены к эпицентрам наземных ядерных взрывов на площадке «Опытное поле», руслам радиоактивно-загрязненных водотоков из испытательных штолен площадки «Дегелен», местам проведения испытаний боевых радиоактивных веществ на площадках «4» и «4А» и местам проведения подземных экскавационных ядерных взрывов – «Атомное озеро», «Телькем 1», «Телькем 2». Также, зафиксировано радиоактивное загрязнение территории полигона в виде «следов» от выпадений вследствие прохождения радиоактивных облаков, образованных в момент проведения испытаний.

Ввиду того, что на этих участках фиксируются достаточно высокие значения содержания техногенных радионуклидов в почве, растительности и воде, определенный интерес вызывает содержание техногенных радионуклидов в организме животных, постоянно обитающих таких участках.

Данные, представленные в работе, получены в рамках международных проектов МНТЦ (проекты К-759, К-2085) и государственных республиканских программ Республики Казахстан.

Проведенные исследования показывают, что содержание радионуклидов в организме исследованных животных, обитающих на различных участках СИП различно. К примеру, на условно чистых «фоновых» территориях СИП удельная активность радионуклидов в организме исследованных млекопитающих и водоплавающих птиц не обнаруживаются, либо находятся на уровне нижних пределов измерения аппаратуры.

Основным радионуклидом в организме птиц, обитающих на территории площадки «Дегелен» является ^3H . Этот же радионуклид преобладает и в организме водоплавающих птиц, обитающих на берегах р. Шаган и «Атомного озера».

В экосистемах, сопряженных с радиоактивными водотоками основным радионуклидом, вносящим вклад в загрязнение ящериц, является ^{137}Cs . На участках испытания БРВ – ^{90}Sr . При этом концентрация радионуклидов в организме ящериц зависит от исходных уровней содержания радионуклидов в компонентах среды обитания и форм нахождения радионуклидов в почве. При определенных условиях (как в случае с площадкой испытания БРВ) ящерицы могут вносить существенный вклад в перераспределение радионуклидов в природной среде. Так, на отдельных участках радионуклидного загрязнения этой площадки отмечены очень высокие удельные активности радионуклида ^{90}Sr в организме ящериц, достигающие $7,8 \cdot 10^5$ Бк/кг.

Получены данные по удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани куропаток (*Perdix perdix*), обитающих на отвалах «Атомного озера». Имеющиеся данные позволяют рассчитать отношение содержания ^{137}Cs в мышцах к содержанию радионуклида в суточном рационе. Эта величина составляет 0,11. Если же рассчитать отношение содержания ^{137}Cs в мышцах к содержанию радионуклида в почве, то эта величина может составлять 0,0008. Данные параметры перехода радионуклидов в мясо куропаток можно использовать для оценки возможного содержания радионуклидов в организме куропаток на других территориях со сложной радиационной обстановкой.

ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ РАО

Ртищев В.А.

Представительство компании CANBERRA (США), г. Москва, Россия

Компания CANBERRA, располагая огромным опытом и экспертными знаниями в области измерения отходов неразрушающими методами, предоставляет своим заказчикам полный диапазон решений для характеристики отходов на их предприятиях, производит и поставляет гамма-спектрометрические, нейтронные, а также комбинированные гамма/нейтронные системы измерения РАО, с помощью которых можно определять активность отходов как в специальных упаковках и контейнерах, так и неупакованных отходов или отходов, перевозимых в транспортных средствах. Понимание технологического процесса образования того или иного вида отходов и результаты предварительного лабораторного анализа изотопного состава отходов можно использовать для расчёта содержания чистых альфа- и бета-излучающих нуклидов, активность которых невозможно измерить непосредственно.

Системы производства компании CANBERRA могут быть использованы для следующих целей:

- количественного определения радиоактивного содержимого в отходах предприятия;
- классификации отходов по следующим категориям: трансураниевые или альфа-излучающие РАО; низкоактивные отходы; отходы, требующие дистанционного обращения; отходы, освобождаемые от контроля;
- сокращения затрат на утилизацию радиоактивных отходов и сокращения объемов хранения за счет паспортизации, сортировки и разделения промышленных отходов, ОНАО, САО и ВАО;
- инвентаризации радиоактивного содержимого и контроль материального баланса с целью учета, контроля радиоактивных и ядерных материалов.

Системы измерения РАО поставляются в различных конфигурациях – от отдельных систем с ручной загрузкой измеряемых отходов до полностью автоматизированных систем, обеспечивающих высокую производительность с минимальным облучением обслуживающего персонала. Кроме того, предлагаются также мобильные системы, в том числе на базе грузовых контейнеров, соответствующих стандарту ISO (ISO-контейнеров), или полутрейлеров. Подбор оптимальной конфигурации измерительной системы, которая будет удовлетворять требованиям предприятия-заказчика, также поможет сократить эксплуатационные затраты и снизить уровни облучения персонала в соответствии с целями программы оптимизации доз облучения (ALARA).

Чтобы соблюдать установленные государством нормы безопасности, предприятия, занимающиеся обращением с радиоактивными материалами, обязаны выполнять характеристику и паспортизацию остаточного радиоактивного содержимого в любых отходах перед их отправкой на захоронение и хранение. Наиболее жизнеспособный подход к соблюдению установленных норм заключается в измерении активности альфа-излучающих радионуклидов и продуктов деления/активации посредством неразрушающего контроля. Результаты этих измерений используются при обращении с радиоактивными отходами (РАО), учете ядерных материалов и для обеспечения ядерной безопасности.

Из-за сложности нормативной базы, разнообразия радиоактивного содержимого в отходах, а также вследствие ограниченности уровней обнаружения и точности измерений, не существует универсальной системы измерения РАО, которая бы удовлетворяла требованиям всех заказчиков.

Правильный выбор конкретной системы измерения отходов определяется исходными техническими требованиями:

- целью измерений;
- предполагаемым нуклидным составом;
- требуемыми уровнями минимально измеряемых активностей для различных нуклидов;
- химическим составом, агрегатным состоянием,
- плотностью РАО, типами контейнеров и др.;
- требуемой производительностью;
- специальными требованиями по обращению с радиоактивными материалами.

В докладе представлены примеры систем контроля РАО используемых в европейских странах, России и США.

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am В ПОЧВЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

Садчиков В.И., Бондарь Ю.И., Забродский В.Н., Калинин В.Н.

*Государственное научно-исследовательское учреждение «ПГРЭЗ»,
г. Хойники, Республика Беларусь*

Среди природных и антропогенных факторов, влияющих на экологическую обстановку в районах, загрязненных продуктами чернобыльской аварии, особое место занимают пожары. При лесном пожаре в дымовом шлейфе появляются все радионуклиды, которые находятся на местности после аварии на ЧАЭС. Экспериментально установлено, что район лесного пожара обедняется ^{137}Cs и в меньшей степени другими радионуклидами чернобыльского происхождения. Этими элементами загрязняются прилегающие к пожарам территории. Исследованию радиоэкологических последствий лесных пожаров на загрязненных радионуклидами территориях уделяется большое внимание. Имеется большое количество публикаций по этому вопросу. В тоже время, полностью отсутствуют работы по теоретическому и экспериментальному исследованию миграционного поведения радионуклидов в почве при лесных пожарах.

В данной работе на основе измеренных значений активности ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в местах пожарищ и контрольных участков, находящихся в зоне отчуждения, исследовалось температурное воздействие пожаров на вертикальный профиль перераспределения радионуклидов в почве при низовых и верховых пожарах на территориях с высокими плотностями радиоактивного загрязнения почвы и рассматривались вопросы количественного выноса радионуклидов при верховых пожарах. Профиль температуры в почве при прохождении пожара рассчитывался при решении одномерного дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных с начальными и граничными условиями.

Показано, что в местах прохождения лесных пожаров в почве происходит кардинальная перестройка вертикального профиля распределения концентрации всех радионуклидов, который был до пожара. Характер этой перестройки зависит от миграционных свойств радионуклида, от вида и интенсивности пожара, исходного загрязнения рассматриваемых площадей на момент выброса Чернобыльских выпадений, характеристик почвы, метеоусловий при пожаре, времени, прошедшего с момента пожара до измерения отобранных проб на этих территориях.

По результатам спектрометрических и радиохимических измерений построены распределения концентраций ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am по профилю почвы на пожарищах и контрольных участках. Дано сравнение их с теоретическими и экспериментальными литературными данными. Установлено, что ^{90}Sr в силу своих миграционных свойств значительно промигрировал в почву на глубину более чем на 20 см. В результате анализа показано, что на участке U2f произошел верховой пожар средней интенсивности с выносом в окружающую среду всех имеющихся на этом месте радионуклидов. Расчетные величины выноса радионуклидов составили для ^{137}Cs – 21%, для ^{90}Sr — 9,2%, ^{241}Am – 7,1%. Пожары на участках Rf, UF, Chf являются низовыми разной степени интенсивности.

Основным процессом, определяющим миграцию радионуклидов в почве при протекании пожаров, является перенос тепла теплопроводностью от поверхности к нижним слоям почвы. Градиент температуры в почве, получающийся при пожарах, вызывает перенос жидкости и пара с содержащимися в них радионуклидами за счет явления термовлагодобности. При лесных пожарах под действием температурного градиента, который создается тепловыделением пожара, несвязанные радионуклиды из глубины почвы поднимаются вверх к поверхностным слоям почвы в направлении увеличения температуры. Согласно полученным экспериментальным данным концентрирование радиоактивных веществ в верхнем 2 см слое почвы на всех горельниках может быть представлено как результат воздействия пожара на участок леса. При верховых пожарах это концентрирование слабее за счет вылета радионуклидов в атмосферу в составе аэрозольных частиц дымового шлейфа. Показано, что перемещение несвязанных радионуклидов при пожаре из глубины в приповерхностный слой почвы и выход из него является физическим процессом внутреннего неизотермического теплопереноса в капиллярно-пористых средах.

Настоящая работа выполнена по договору M15-12/1 в рамках проекта BLR-11/004 «Влияние лесных пожаров на поведение радионуклидов и их миграцию в компонентах биосферы в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС», финансирование которого осуществлялось из научных фондов Министерства иностранных дел Норвегии.

ПРИМЕНЕНИЕ МИРОВОГО ОПЫТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ ВЫСОКОЙ АКТИВНОСТИ В БЕЛАРУСИ

Салтанова И.В.

*ГНУ «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь*

Проблема захоронения высокоактивных радиоактивных отходов (РАО) для Беларуси возникла и стала особенно актуальной в связи с реализацией проекта строительства Белорусской АЭС. Выход высокоактивных РАО (ВАО) планируется от $0,5\text{ м}^3$ до $1,2\text{ м}^3$ в год (по разным источникам). Кроме того, на данный момент окончательно не решен вопрос с отходами от отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Проект будущей АЭС предусматривает хранение высокоактивных твёрдых РАО в течение всего срока службы станции, что указывает на временной интервал, в течение которого Республика Беларусь должна решить проблему захоронения высокоактивных РАО.

Анализируя опыт других стран, можно с уверенностью утверждать, что на сегодняшний день наиболее эффективным и безопасным решением проблемы долговременной изоляции ВАО является их захоронение в могильниках на глубине не менее 500 м в глубинных геологических формациях с соблюдением принципа многобарьерной защиты и обязательным переводом жидких радиоактивных отходов в отверждённое состояние.

Захоронение РАО в глубокие геологические формации включает в себя ряд последовательных стадий и состоит из: концептуальной и технологической разработки хранилища; исследования участков возможного размещения хранилища; исследования характера поверхности и геологической среды на выбранных площадках; выбора одной или нескольких площадок, наиболее подходящих для захоронения; инженерного обоснования возможности проведения работ; строительства подземного хранилища; размещения отходов; заполнения пространства вокруг отходов буферным материалом; герметизации всех выходов, демонтажа всех установок на поверхности и закрытия объекта.

При реализации такого проекта важны следующие обстоятельства:

1. Разработка проекта геологического глубинного захоронения ВАО требует значительных объёмов исследований и участия в этих исследованиях специалистов различных профессий, что требует времени для разработки согласованного подхода.

2. Страна должна иметь подходящие геологические и климатические условия. На данной степени изученности геологической среды (на сегодняшний день) наиболее пригодными для глубинного размещения хранилища ВАО является территория Беларуси, административно включающая в себя юг Минской, западную часть Гомельской и восточную часть Брестской областей.

3. Необходимо наличие у страны чёткой национальной стратегии в сфере обращения с РАО. Требуется прочная правовая основа: необходима разработка законодательства в области завершения ЯТЦ.

4. При реализации проекта могильника ВАО важными условиями являются размер атомной отрасли и объём собственных ВАО. Для осуществления проекта могильника ВАО требуются значительные финансовые вложения. Учитывая эти обстоятельства, а также тот факт, что Белорусская АЭС находится на стадии строительства, а вопрос с РАО и ОЯТ на сегодняшний день не решён, необходимо просчитать способность страны финансировать масштабный проект и при отсутствии таковой рассмотреть вариант участия страны в международном проекте строительства геологического хранилища.

5. Общественное одобрение. Национальные программы по обращению с отходами в различных странах часто акцентировались на планировании, выборе места хранилища и сталкивались с мощным общественным противодействием. Во многих странах именно противостояние общества вынудило власти отложить реализацию проекта геологического хранилища ВАО (например, в Бельгии, Аргентине, Испании, Франции, Италии и др.). В данном вопросе крайне важными являются мнение и поддержка общества. Автором, совместно с коллегами из различных ВУЗов страны, проведены исследования по восприятию строительства АЭС в Беларуси молодой частью населения – студентами. Результаты анкетирования студентов по вопросам обращения с РАО показали: по вопросу реализации проекта могильника ВАО необходима развёрнутая широкомасштабная работа с населением при помощи специалистов с целью информирования и достижения общественного единства.

КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЮЖНОЙ И ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ СИП

Стрильчук Ю.Г.¹, Лукашенко С.Н.¹, Яковенко Ю.Ю.¹, Турченко Д.В.¹,
Ляхова О.Н.¹, Ларионова Н.В.¹, Магашева Р.Ю.¹, Паницкий А.В.¹,
Субботин С.Б.¹, Кабдыракова А.¹, Топорова А.В.¹, Тоневицкая О.В.¹,
Бахтин Л.В.², Глущенко В.Н.³

¹ Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

² РГП Институт геофизических исследований, г. Курчатов, Казахстан

³ РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

С целью передачи земель полигона в хозяйственное пользование в 2013-2014 гг. Институтом радиационной безопасности и экологии, совместно с Институтом ядерной физики, было выполнено комплексное экологическое обследование южной (общей площадью 800 км²) и юго-западной (1000 км²) территории СИП. Предметом исследований являлись объекты природной среды (почвенно-растительный покров, водная и воздушная среды, животный мир, сельскохозяйственная продукция, производимая на данной территории).

Формирование радиационной обстановки на исследуемых территориях, в основном, обусловлено испытанием, проведенным на площадке «Опытное поле» 24 сентября 1951 г. (мощностью 38 кт).

Южную часть территории полигона можно разделить на 2 зоны. Средние значения удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве наиболее загрязненной зоны в 1,5 - 2 раза превышают уровень фона глобальных выпадений, средние значения удельной активности радионуклида ²³⁹⁺²⁴⁰Pu превышают фон глобальных выпадений (при условии его максимального значения 5 Бк/кг) до 4 раз. В почвах территории второй зоны средние значения удельной активности техногенных радионуклидов находятся на уровне фона глобальных выпадений.

По результатам площадного распределения ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am на юго-западной территории выделены две области повышенных значений удельной активности в почве – в северной части участка и на следе радиоактивного выпадения в результате проведенного в 1951 г. ядерного взрыва. Среднее значение ¹³⁷Cs на «следе» составляет 76,1 Бк/кг, ²⁴¹Am – 2,6 Бк/кг, в северной части ¹³⁷Cs – 36,1 Бк/кг, ²⁴¹Am – 2,7 Бк/кг

Проведенные исследования показали, что по уровням содержания радионуклидов в подземных и поверхностных водах данной территории СИП могут использоваться в любых видах хозяйственной деятельности без каких-либо ограничений. Содержание радионуклидов в воде не превышает уровня вмешательства при поступлении радионуклидов в организм взрослых людей с водой, согласно ГН СЭТОРБ.

Содержание радионуклидов в растительном покрове также не представляет опасности для населения. Прогнозируемые величины удельной активности искусственных радионуклидов в растениеводческой и животноводческой продукции существенно ниже допустимого содержания, даже в случае их получения в зоне повышенных значений удельной активности трансурановых элементов. Таким образом, ожидаемое содержание радионуклидов в продуктах питания, произведенных на данной территории, не будет превышать допустимые уровни, согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности».

Содержание радионуклидов в атмосферном воздухе не представляет опасности для человека, находящегося непосредственно на этой территории, т.к. здесь отсутствуют техногенные объекты («могильники», хранилища РАО) и зоны с повышенным содержанием техногенных радионуклидов, а также площадки проведения ядерных испытаний.

В результате проведения оценки ожидаемых дозовых нагрузок на население при условии «наихудшего» сценария «фермер, ведущий натуральное хозяйство» в пределах обследованных территорий ожидаемая годовая эффективная доза на человека не превысит 0,3 мЗв/год и является ниже уровня вмешательства, согласно ГН СЭТОРБ. Следовательно, никаких защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения не требуется.

Таким образом, на обследованной южной и юго-западной части территории СИП содержание радионуклидов в объектах природной среды находится на допустимом уровне, и никаких мероприятий по ликвидации последствий испытаний ядерного оружия проводить нет необходимости. По результатам оценки распределения интегральных радиационных параметров, с учетом существующих требований нормативной базы РК, вся обследованная территория может использоваться без ограничений.

НЕРАДИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ОПАСНОСТИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Субботин С.Б., Лукашенко С.Н., Романенко В.В., Новикова Е.А.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Кроме опасности радиационного воздействия на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) присутствует и ряд других опасностей, связанных с эффектами остаточных проявлений долговременной геотермальной активности в эпицентральных зонах подземных ядерных взрывов (ПЯВ) и наличием необрушенных «котловых» полостей. Данные процессы, в основном, характерны для 129 «боевых» скважин, где проведены ПЯВ на площадках «Балапан» и «Сары-Узень». Эффекты остаточных проявлений могут иметь катастрофический характер, в процессе которых не исключены внезапные выбросы газов на поверхность, обрушение дневной поверхности, выброс радиоактивности, интенсификация землетрясений.

Основными предпосылками возникновения в блоках горных пород на территории СИП процессов подземной газификации горных пород являются некоторые уникальные особенности условий проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ). На площадках «Балапан» и «Сары-Узень» значительная часть ПЯВ в скважинах проведена в горных породах, содержащих углистые материалы. При этом наличие подземных вод и высоких температур на данной территории способствовали возникновению процесса подземной газификации горных пород. Результаты лабораторных анализов показали, что состав выделяющихся газов соответствует составу газообразных продуктов термической бескислородной деструкции углесодержащих пород, о чем свидетельствуют высокие концентрации метана, оксида углерода, сернистого ангидрида, сероводорода.

Процессы газификации горных пород в местах расположения выявленных «критических» скважин на площадках «Балапан» и «Сары-Узень» продолжают и имеют относительно стабильный характер. На динамику процессов газовой выделения влияет очень много факторов, но условно их можно разбить на две группы. В-первых, образование газов происходит на глубине в результате химических процессов, которые определяют состав газа и его концентрацию. Такие процессы условно отнесены к «первичному» фактору, который изначально формирует характер газовой выделения. Образовавшиеся потоки газа по газопроницаемым зонам проходят сквозь толщу горных пород, а затем проникают в почвенный воздух. Физико-химические свойства горных пород, так или иначе, влияют на скорость прохождения и состав потоков газа, а климатические факторы оказывают воздействие на газы, которые уже проникли в почвенный воздух. Такое комплексное влияние можно условно назвать «вторичным» фактором. В связи с чем, для получения более полной информации о наличии газоносных зон пробы газа отбирались из накопительных емкостей, установленных на дневной поверхности, пробоборных шпуров глубиной до 1 м, из гидрогеологических скважин глубиной до 100 м, а также из затрубного пространства «боевых» скважин.

В докладе представлены результаты газовых исследований на площадках «Балапан» и «Сары-Узень» начатых в 2007 году до настоящих дней.

ХАРАКТЕР ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В ходе проведения исследований на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) тритий был зафиксирован в различных объектах окружающей среды – поверхностных и подземных водах, растительности, воздушной среде, снежном покрове. Анализ полученных данных показал, что тритиевое загрязнение объектов окружающей среды на территории СИП приурочено к местам проведения подземных ядерных испытаний, где полость взрыва не «сообщалась» с атмосферой. Предполагалось, что при проведении наземных ядерных испытаний, в основном, весь тритий выбрасывался в атмосферу и переносился с воздушными потоками за пределы полигона. Было решено исследовать почву в местах проведения наземных и экскавационных взрывов.

Цель работы – оценка тритиевого загрязнения почвы в местах проведения ядерных испытаний.

Объектами исследования на территории «Опытного поля» являлись предполагаемые эпицентры взрывов (площадки П-1, П-3, П-5, П-2, П-7). На площадке «Балапан» объектом исследования являлась территория «Атомного» озера.

В результате проведенных исследований на территории «Опытного поля» максимальные значения удельной активности трития в почве отмечены для площадки П-1. Остальные площадки отличаются меньшим уровнем тритиевого загрязнения почвы.

На территории «Атомного» озера содержание трития в почве составило в значимых количествах.

В ходе проведенных работ выявлено, что содержание ^3H в почве коррелирует с содержанием ^{152}Eu . Вероятно, содержание трития в почве зависит от различного характера проведенных испытаний.

Полученные результаты показали, что тритий может содержаться в почве в значимых количествах не только в местах проведения подземных ядерных взрывов, но и в местах проведения наземных и экскавационных ядерных испытаний.

ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Испытания ядерного оружия на Семипалатинском испытательном полигоне привели к обширным загрязнениям окружающей среды долгоживущими радионуклидами ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$. Одним из важных компонентов экосистемы является воздушная среда. Поскольку сельскохозяйственная деятельность способна распространять радиоактивные частицы пыли за пределы границы испытательных площадок, что может представлять опасность для населения или животных при выпасе скота.

Ранее долгосрочный мониторинг воздушного бассейна на СИП не проводился, проведены лишь единичные работы на площадке «Опытное поле» и 2-х годовой мониторинг воздушной среды в г. Курчатов. Полученных данных было недостаточно для оценки текущего состояния воздушного бассейна СИП и прилегающих территорий.

Целью работы являлось определение уровней радиоактивного загрязнения воздушного бассейна СИП в естественных условиях и при проведении производственных работ.

Для определения уровней радиоактивного загрязнения воздушного бассейна были проведены работы по изучению воздушной среды непосредственно на радиоактивно-загрязненном участке, на условно чистых территориях и на различном удалении от участков с высокими уровнями радиоактивного загрязнения почвы. Для оценки распространения радионуклидов за пределы СИП проведены исследования воздушного бассейна в населенных пунктах, прилегающих к территории СИП (г. Курчатов, п. Бодене, Саржал и Кайнар).

Отбор проб воздуха проводился электромеханическим пробоотборником воздуха на фильтрующий элемент (фильтр). На постах мониторинга воздуха, в населенных пунктах и месторождениях полезных ископаемых (Караджал, Каражыра) устанавливался стационарный пробоотборник воздуха, средний объем прокачанного воздуха через фильтр составлял $n \cdot 10^4 \text{ м}^3$. На исследовательских участках, не имеющих постоянного источника электропитания, устанавливался переносной пробоотборник воздуха, средний объем прокачанного воздуха через фильтр составлял $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3 \text{ м}^3$. Фильтры исследовались на содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr .

На всех исследовательских участках объемная активность радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr в воздушной среде не превышала допустимую объемную активность для категории население ($\text{Д} \text{О} \text{А}_{\text{НАС}}$). Наилучшим показателем загрязненности воздушной среды искусственными радионуклидами является наличие радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе. В естественных условиях на радиоактивно-загрязненной территории концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ не превышает 100 мкБк/м^3 . При техногенном воздействии на почвенный покров (боронование почвы) в условиях радиоактивного загрязнения, концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ достигает $30\,000 \text{ мкБк/м}^3$, что более чем в 10 раз превышает $\text{Д} \text{О} \text{А}_{\text{НАС}}$ и находится на уровне $\text{Д} \text{О} \text{А}_{\text{ПЕРС}}$. На расстоянии 300 м от участка, с радиоактивным загрязнением почвенного покрова, средняя концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в воздушной среде, за весь исследовательский период, не превышает 20 мкБк/м^3 .

В местах проведения ядерных испытаний проведены исследовательские работы по определению характера и уровня радионуклидного загрязнения воздушной среды искусственными радионуклидами на различном удалении от эпицентров ядерных взрывов. Распространение искусственных радионуклидов с испытательных площадок не значительное, как правило, на расстоянии 500-1000 м от эпицентра ядерного испытания концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ не превышает $20-50 \text{ мкБк/м}^3$, а на расстоянии 4000 м – 1 мкБк/м^3 , что на 3-4 порядка ниже уровня $\text{Д} \text{О} \text{А}_{\text{НАС}}$.

В населенных пунктах и объектах производственной деятельности концентрация радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ составляет от $0,4$ до 2 мкБк/м^3 , что на 3-4 порядка ниже уровня $\text{Д} \text{О} \text{А}_{\text{НАС}}$ и не представляет опасности для населения и персонала, проводящего сельскохозяйственные и производственные работы на данных территориях.

Исходя из полученных данных, можно утверждать, что искусственные радионуклиды, содержащиеся в воздушной среде и почве на территории испытательных площадок СИП, не могут достигать территории населенных пунктов Долонь, Саржал и Бодене воздушным путем.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ И МЕХАНИЗМОВ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

За последние 5 лет на территории испытательных площадок Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проведено комплексное обследование основных компонентов окружающей среды. Установлено, что все биологические компоненты окружающей среды, расположенные или прилегающие к участкам с высокими концентрациями трития в русловой воде, накапливают тритий. Кроме этого, в местах проведения подземных (ПЯВ) и экскавационных ядерных взрывов на площадке «Балапан» обнаружено поступление трития в воздушную среду. Можно предположить, что все приустьевые участки подземных ядерных испытаний площадки «Балапан» являются потенциальными источниками поступления трития в объекты окружающей среды. Исследования содержания трития в снежном покрове на территории СИП ранее не проводились.

Целью работы являлось исследование характера распределения и изучение механизмов поступления трития в снежный покров.

Максимальные концентрации трития в снежном покрове обнаружены непосредственно на водотоках СИП (ручьи на площадке «Дегелен» и река Шаган) и достигают концентрации трития в поверхностных водах (40 кБк/кг). На расстоянии 100-150 м от центра русла в перпендикулярном направлении концентрация трития в снегу уменьшается до значений фонового уровня (12 Бк/кг). Основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из почвенного или ледяного покрова. Также стоит отметить, что на реке Шаган и «Атомном озере» одновременно действует 2 механизма поступления трития: эманация из почвы и атмосферный перенос трития с загрязненных участков поверхностных водотоков.

В местах проведения ПЯВ на площадке «Балапан» обнаружено наличие трития в снежном покрове. При этом концентрация трития в приземном слое снега больше, чем в поверхностном слое снежного покрова, что также подтверждает наличие основного механизма поступления трития – эманации из почвы. Для подтверждения данного предположения, в местах с повышенным содержанием трития в снежном покрове были пробурены скважины на глубину 7-9 м, на различной глубине (0, 1, 2 м и т.д.) отобраны пробы геологических пород. Геологические породы анализировались на содержание трития. На всех участках обследования геологических пород обнаружен тритий. На приустьевом участке скважины 1355 максимальная концентрация трития в глубине 5 м достигает 90 кБк/кг, а на скважине 1010 – не превышает 1 кБк/кг.

Данное исследование показало, что распространение трития на СИП гораздо масштабнее, чем предполагалось нами ранее. Разработанный метод достаточно дешевый по материальным затратам и простой в реализации. Данный метод можно успешно использовать при идентификации или верификации мест проведения подземных ядерных испытаний.

На расстоянии 0-10 км от площадки «Дегелен», в местах проведения наземных испытаний на площадке «Опытное поле» и в прилегающих к СИП населенных пунктах тритий не обнаружен. Это значит, что тритий не распространяется воздушным путем на большие расстояния.

СОВРЕМЕННАЯ РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»

Лукашенко С.Н., Умаров М.А., Новиков А.А.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Техническая площадка «Балапан» является одной из площадок СИП, где с 1965 по 1989 гг. проводились подземные ядерные испытания в 106 скважинах, глубиной от 200 до 650 м.

В период с 1999 по 2003 гг. Институтом радиационной безопасности и экологии было выполнено первое обследование площадки «Балапан». Была проведена характеристика радиационной обстановки на приустьевых площадках скважин. Основным методом обследования на тот период являлся метод измерения радиационных параметров (мощность эквивалентной дозы, плотности потока альфа- и бета-частиц) по сети 50×50 м, а в местах с повышенными уровнями радиационных параметров отбирались пробы почвы (в среднем 2-3 пробы на одну скважину). Зафиксировано радиоактивное загрязнение приустьевых площадок 28 скважин, включая «Атомное озеро». Предполагалось, что основным радиоактивно-загрязненным местом является оголовок скважины, где происходил выход инертных газов после ядерного испытания. При этом, обнаруженные радиоактивные «пятна» на некотором удалении от оголовка (50-200 м), являются следствием радиоактивных выпадений – результата выброса газов из полостей взрывов.

В 2015 г. проведено комплексное обследование приустьевых площадок скважин с применением полевой гамма-спектрометрической съемки. Данный метод позволил не только определить размеры участков радиоактивного загрязнения, определить их границы, но и выявить некоторые особенности формирования этого загрязнения.

Наиболее важным результатом комплексного обследования явилось то, что на некоторых скважинах были обнаружены места выхода инертных газов из полостей ядерных взрывов на поверхность на значительном удалении от оголовков скважин. Так, в скважине 1080 таких мест, как минимум, три, не включая оголовок скважины, где произошел основной выброс. От каждого из мест выхода инертных газов тянутся следы радиоактивных выпадений, причем направление этих следов явно отличается от направления основного следа. Предположительно, что выбросы произошли в разные временные интервалы. Подобных скважин на площадке – 14 из 28. Данный факт можно использовать для определения местоположения постов наблюдения при долгосрочном мониторинге выхода радиоактивных продуктов взрывов (например, трития) из полостей взрыва на дневную поверхность.

Также проведено полевое дешифрирование более 500 объектов, которые были определены на космическом снимке территории площадки «Балапан». В результате дешифрирования идентифицировано 6 объектов, по внешнему виду напоминающие «боевые» скважины. Эти объекты не входят в общий каталог скважин площадки «Балапан», где упомянуты 106 «боевых» скважин (места проведения подземных ядерных испытаний) и 13 «чистых» скважин, приготовленных для проведения испытаний. Радиационное обследование этих объектов не выявило радиоактивного загрязнения их приустьевых площадок.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ ХИМИКО-СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Быченко А.Н., Харкин П.В., Калиева А.К., Гусева Н.В., Эдомская М.А., Ежова С.В.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

В последнее время перед горнодобывающей промышленностью Казахстана стоит задача по освоению технологий попутного извлечения редких металлов в процессе промышленного освоения руд. Поэтому разработка и внедрение методик выполнения измерений содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в минеральном сырье современными химико-спектральными методами является актуальной задачей. Кроме того, необходимость разработки таких методик обусловлена также их дефицитом в нормативной базе Республики Казахстан.

Целью данной работы является разработка методических схем определения массовой доли РЗЭ в минеральном сырье методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). На первом этапе исследованы возможности определения РЗЭ в бокситах (алюминиевая руда).

Для выполнения работ использован квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ELAN 9000 производства PerkinElmer SCIEX. В результате экспериментальных работ выбраны следующие оптимальные инструментальные параметры масс-спектрометра ELAN 9000:

- мощность, подводимая к плазме: 1300 Вт;
- режим сканирования: прыжки по пикам;
- поток газа распылителя: от 0,85 л/мин до 1,0 л/мин;
- разрешение на 10%-й высоте пика: $0,7 \pm 0,1$ а.е.м.

В ходе предварительных исследований выбран метод разложения бокситов сплавлением с углекислым натрием, обеспечивающий полное “вскрытие” матрицы бокситов.

Результаты определения массовой доли РЗЭ в образцах бокситов в сравнении с результатами анализа методом нейтронной активации (НАА) по аттестованной методике [1] приведены в Таблице 1. Сравнение результатов демонстрирует удовлетворительную межметодную сходимость и свидетельствует о правильности выбранной схемы разложения и параметров ИСП-МС. Полученные результаты могут быть использованы для разработки комплексной методики выполнения измерения содержания РЗЭ в минеральном сырье химико-спектральными методами.

Таблица 1. Результаты определения массовой доли РЗЭ в образцах бокситов методами ИСП-МС и НАА, мкг/г

Аналит	Масса	А2-01		А2-03		А2-05		А2-07		А2-09	
		ИСП-МС	НАА	ИСП-МС	НАА	ИСП-МС	НАА	ИСП-МС	НАА	ИСП-МС	НАА
Y	89	0,665	-	0,711	-	0,774	-	0,874	-	0,845	-
La	139	0,808	0,826	0,524	0,539	0,477	0,491	0,495	0,591	0,678	0,747
Nd	143	0,801	0,846	0,591	0,589	0,404	0,448	0,588	0,595	0,676	0,774
Ce	140	1,394	1,564	1,307	1,310	1,601	1,776	1,808	2,008	1,213	1,301
Dy	163	0,114	-	0,117	-	0,107	-	0,130	-	0,160	-
Eu	153	0,034	0,035	0,032	0,289	0,027	0,023	0,033	0,029	0,039	0,037
Sm	147	0,166	0,164	0,163	0,131	0,124	0,099	0,143	0,129	0,179	0,176
Yb	173	0,064	0,068	0,076	0,068	0,080	0,081	0,094	0,098	0,116	0,115
Lu	175	0,010	0,092	0,012	0,094	0,013	0,011	0,015	0,014	0,018	0,016
Er	166	0,075	-	0,083	-	0,084	-	0,103	-	0,122	-
Hf	179	5,795	-	5,428	-	6,197	-	6,701	-	5,767	-
Ho	165	0,024	0,027	0,026	0,025	0,025	0,023	0,029	0,031	0,035	0,372
Pr	141	0,191	-	0,154	-	0,109	-	0,127	-	0,178	-
Sc	45	0,301	0,291	0,335	0,318	0,402	0,392	0,440	0,395	0,418	0,350
Gd	157	0,147	0,164	0,132	0,113	0,102	0,083	0,120	0,155	0,153	0,160
Tb	159	0,021	0,020	0,021	0,018	0,017	0,017	0,021	0,020	0,026	0,026

Литература:

1. “Методика определения содержания редкоземельных металлов Lu, Tb, Tm, Eu, Ho, Yb, Sc, Sm, Gd, La, Nd, Ce, Y в геологических пробах комплексом ядерно-физических методов” Зарегистрирована в реестре ГСИ РК № KZ 07.00.02096-2014 от 25.09.2014 г.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ КОНТАКТИРУЮЩИХ С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

Чередниченко О.Г., Пилюгина А.Л.

*Институт общей генетики и цитологии КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан
e-mail: chero70@mail.ru*

Для изучения хронического влияния малых доз мутагенных факторов достаточно удобной моделью является когорта людей, профессионально подвергающихся воздействию радиации. В отличие от жителей экологически неблагоприятных регионов, где порой очень трудно вычлнить преимущественный тип мутагенного воздействия, в данном случае мы можем даже говорить о типе радиационного воздействия. Ранее нами проведено обследование группы людей, подвергающихся рентгеновскому излучению в силу своей профессиональной деятельности. Настоящему обследованию подверглись медицинские работники хронически подвергающиеся γ -излучению.

Цитогенетический анализ работников контактирующих с источниками γ -излучения выявил у них повышенный выход, как числа aberrантных клеток, так и числа aberrаций. Средняя частота клеток с хромосомными нарушениями у них составила $3,48 \pm 0,31\%$, что более чем в 4 раза превышает контрольный уровень $0,87 \pm 0,1\%$ (п. Таусугур) ($p \leq 0,01$). Спектр хромосомных нарушений был представлен aberrациями aberrациями хромосомного типа ($2,1 \pm 0,25\%$) и хроматидного типа ($1,38 \pm 0,20\%$). При этом основную массу aberrаций хромосомного типа составляли разрывы и фрагменты ($1,84 \pm 0,23\%$). При анализе обследуемых медработников (жители г. Алматы) оправдано проведение сравнения с цитогенетическими данными алматинцев, не контактирующих с ионизирующей радиацией и не проходивших за последний год рентгеновского обследования. Сравнительные данные свидетельствуют об одинаковой частоте aberrаций хроматидного типа, т.е. вклад химической составляющей идентичен в обеих выборках. А почти семикратное ($2,1 \pm 0,25\%$ по сравнению с $0,3 \pm 0,07\%$, $p \leq 0,01$) увеличение частоты aberrаций хромосомного типа свидетельствует о мутагенном эффекте радиационных факторов профессиональной среды. Корреляции между возрастом, продолжительностью работы во вредных условиях и выходом хромосомных нарушений, хромосомного типа в частности, не было отмечено.

Индивидуальные колебания частот хромосомных нарушений составили 1-7%. У 32% обследованных она была относительно нормальной 1-2%, у 45% повышенной и у 23% высокой ($\geq 5\%$). Однако, у людей с высоким процентом aberrаций вклад частоты aberrаций хроматидного типа в общую сумму хромосомных нарушений был 45%, в то время как в группе с относительно нормальной частотой хромосомных нарушений этот показатель составил 20%. Эти данные свидетельствуют, что в этой группе людей, вероятно, наблюдается общее снижение иммунитета или репарационной активности, так как на них значительное влияние оказывают еще и факторы химической природы.

Из всей когорты обследуемых заслуживают внимания два индивидуума.

Один по медицинским показаниям был подвергнут локальному (коленный сустав) радиационному γ -облучению в дозе 5 Гр за месяц до забора крови для нашего исследования. При этом у него наблюдалась нормальная частота хромосомных нарушений – 1%, что свидетельствует либо об адаптированности, либо о сниженной радиочувствительности данного индивидуума.

Второй был родом из региона СИП и проживал там до 17 лет. У него обнаружено 7% хромосомных нарушений, 5 из которых являются aberrациями хромосомного типа. В данном случае, скорее всего, имеет место радиосенсибилизация или радиационно-индуцированная нестабильность генома (РИНСГ), переданная от родителей, непосредственно подвергавшихся воздействию ядерных испытаний на СИП.

В аналогичных исследованиях проведенных нами ранее при изучении медицинских рентгенологов (г. Алматы) индивидуальные колебания частот клеток с хромосомными нарушениями составили в основном 1-10%. Цитогенетический анализ работников рентгенлабораторий также выявил повышенный выход, как числа aberrантных клеток, так и числа aberrаций. Средняя частота клеток с хромосомными нарушениями у них составила $6,3 \pm 0,54\%$. У рентгенологов, в отличие от медработников, контактирующих с γ -излучением, наблюдается повышенный уровень не только хромосомных $4,79 \pm 0,47\%$, но и хроматидных aberrаций $2,54 \pm 0,3\%$ (жители г. Алматы – $0,3 \pm 0,07\%$ и $1,3 \pm 0,15\%$ соответственно), что свидетельствует о повышенной радиационной и химической нагрузке. При этом почти треть aberrаций хромосомного типа составляли обменные aberrации – дицентрики, кольца и транслокации ($1,42 \pm 0,16\%$). Корреляции между возрастом, продолжительностью работы во вредных условиях и выходом хромосомных нарушений, хромосомного типа в частности, также не было отмечено.

Различия в частотах и спектре хромосомных нарушений у медработников, подвергающихся рентгеновскому и γ -излучению возможно кроется не только в получаемых дозах, хотя по протоколу они не превышают суммарный предел дозовых нагрузок за 1 год, что составляет 10 мЗв для персонала, но и в типе радиационного воздействия.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Ширяева Н.М.¹, Яцко С.Н.¹, Денисова В.В.¹, Томина Н.М.², Захаров А.А.², Жукова О.М.³

¹ Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

² Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

³ Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга РБ, г. Минск, Беларусь

В работе приведены предварительные исследования уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению в зоне влияния Белорусской АЭС, строящейся в Островецком районе Гродненской области. Для прогноза возможного загрязнения грунтовых вод в зоне наблюдения АЭС были рассмотрены воздействия, обусловленные радиационными авариями, относящимися к 5-му и 6-му классу международной шкалы событий (*INES*) на АЭС, которые могут привести к загрязнению больших территорий (площадной источник загрязнения). Загрязнение водоносных горизонтов в этом случае возможно за счет инфильтрации радиоактивных продуктов с поверхности земли – так называемый «чернобыльский тип» загрязнения подземных вод.

Защищенность и уязвимость грунтовых и подземных вод лучше всего представлять в картографическом виде. На данном этапе карты защищенности и уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению в зоне влияния Белорусской АЭС отсутствуют. Поэтому прогноз возможного радиоактивного загрязнения грунтовых вод при площадном загрязнении территории 30-км зоны АЭС в результате аварийных аэрозольных выбросов был выполнен только для наиболее уязвимых участков исследуемого региона. Для определения подобных участков на исследуемой территории были рассмотрены карты: почвенная карта, карта геолого-литологического строения зоны аэрации и карта глубин залегания грунтовых вод (фондовые материалы ИПП НАН Беларуси), а также карты генерализации почв по интенсивности вертикальной миграции ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, разработанные в РЦРКМ Республики Беларусь для 30-км зоны вокруг Островецкой площадки АЭС. На каждой карте были выделены области наиболее уязвимые к радиоактивному загрязнению. Используя принцип суперпозиции карт с выделенными слабо защищенными участками, была выполнена генерализация карты с участками наиболее уязвимыми к радиоактивному загрязнению ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr по комплексу природных факторов, на которых были выделены четыре наиболее характерных участка.

Для прогнозных оценок использована обобщенная многокамерная модель перемешанной ячейки (*MULTIBOX*), тестируемая путем сравнения результатов расчета по данной программе и международным, таким как *DUST*, *GWSCREEN*, *AMBER*. Прогноз выполнен для четырех выбранных репрезентативных участков. В качестве критериев неустойчивости грунтовых вод были использованы соотношение времени миграции загрязняющего вещества (T_m) и времени потенциальной опасности загрязнения (T_{pd}): $(T_m / T_{pd}) > 1$ и соотношение концентрации радионуклидов в растворенной форме (C_w) и уровня вмешательства по питьевой воде (C_{VB}) для рассматриваемых загрязнителей $I > C_{wom} = C_w / C_{VB}$.

По предварительным прогнозным оценкам аварийные аэрозольные выбросы АЭС могут привести в случае тяжелой аварии к загрязнению грунтовых вод ⁹⁰Sr на наиболее уязвимых её участках в зоне влияния в концентрациях выше уровня вмешательства по международной шкале *INES 6*, но в концентрациях значительно ниже допустимого уровня в случае аварий и инцидентов более низкого уровня.

ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛИГОНОВ «АЗГИР» И КАПУСТИН ЯР В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ

Полешко А.Н., Глущенко В.Н., Харкин П.В., Левашов М.А.,
Глущенко Г.М., Матиенко Л.Д., Позняк В.Л.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Полигоны «Азгир» и «Капустин Яр» расположены в Атырауской и Западно-Казахстанской областях Республики Казахстан. Из 39 мирных подземных ядерных взрывов, проведенных в Казахстане, 17 были выполнены на Азгирском полигоне. Полигон «Капустин Яр» действует с 1947 года на территориях Республики Казахстан, Астраханской, Волгоградской областей Российской Федерации. По данным Российской стороны, в период 1957-1962 годов, на полигоне «Капустин Яр» проведено 11 воздушных и высотных ядерных взрывов (на высотах от 5,5 до 300 км.) с суммарной мощностью 982,4 килотонн в тротиловом эквиваленте. Запущено и взорвано около 25000 зенитно-управляемых ракет, испытано около 180 образцов военной техники, уничтожено на грунте 619 ракет средней дальности. Кроме того, территория полигона на ряде участков являлась местом падения отделяющихся частей ракет, что приводило к загрязнению поверхности компонентами ракетного топлива.

Целью настоящей работы является получение достоверных данных о вкладе полигонов «Азгир» и «Капустин Яр» в формирование радиоэкологической обстановки населенных пунктов, прилегающих к полигону, в объеме, необходимом для принятия решения о признании их зонами чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия по радиационному признаку в соответствии с требованиями действующего законодательства.

Основанием для постановки исследований является План организационных мероприятий, утвержденный Первым заместителем Премьер-министра Республики Казахстан 22 июля 2013 г., по исполнению пункта 7 Плана мероприятий по реализации поручений Президента Республики Казахстан, данных в ходе визита в Западно-Казахстанскую область 22-23 сентября 2008 г.

Исследования проводились в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий», утвержденными Постановлением Правительства РК №653 от 31 июля 2007 г. и ст. 174 Экологического кодекса Республики Казахстан.

Объектами исследования является территория, представленная 50-км зоной, прилегающей к полигонам Азгир и Капустин Яр. На выделенной территории располагаются 41 населенный пункт с общим населением около 28 тыс. человек. Оценка радиоэкологической обстановки проведена для селитебных и межселитебных территорий.

Полигоны «Азгир» и «Капустин Яр» расположены в Атырауской и Западно-Казахстанской областях Республики Казахстан. Из 39 мирных подземных ядерных взрывов, проведенных в Казахстане, 17 были выполнены на Азгирском полигоне. Полигон «Капустин Яр» действует с 1947 года на территориях Республики Казахстан, Астраханской, Волгоградской областей Российской Федерации. По данным Российской стороны, в период 1957-1962 годов, на полигоне «Капустин Яр» проведено 11 воздушных и высотных ядерных взрывов (на высотах от 5,5 до 300 км.) с суммарной мощностью 982,4 килотонн в тротиловом эквиваленте. Запущено и взорвано около 25000 зенитно-управляемых ракет, испытано около 180 образцов военной техники, уничтожено на грунте 619 ракет средней дальности. Кроме того, территория полигона на ряде участков являлась местом падения отделяющихся частей ракет, что приводило к загрязнению поверхности компонентами ракетного топлива.

Основными направлениями исследований являлись:

- исследования гамма-фона;
- исследования уровней загрязнения природных сред (почвы, воды) естественными и техногенными радионуклидами;
- исследования загрязнения растительности природными и техногенными радионуклидами;
- радоноопасность исследуемой территории.

Изучение радиационной обстановки выполнено прямыми и косвенными методами исследований. Прямыми методами являлись проведение пешеходной гамма-съемки с различной степенью детальности исследования и определение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в жилых и производственных помещениях. К косвенным методам исследований относится изучение радиационной обстановки путем

изучения радиационных характеристик проб объектов окружающей среды лабораторными методами исследования. Отобранные на стадии полевых работ пробы были проанализированы в лаборатории Института ядерной физики МЭ Республики Казахстан (аттестат аккредитации №0004424, зарегистрирован в реестре субъектов аккредитации № KZ.И.02.1062 от 14.01.2014г.). Качество исследований обеспечено применением высокоточного оборудования и аттестованных методик анализа.

Проведенными комплексными исследованиями установлено отсутствие влияния полигонов Азгир и Капустин Яр на состояние окружающей среды. В соответствии с критериями оценки экологической обстановки территорий, утвержденными Постановлением Правительства №653 от 31 июля 2007 г., район 50-км зоны, прилегающей к полигонам Капустин Яр и Азгир (район исследования), должен быть отнесен к территориям с относительно удовлетворительной экологической ситуацией по радиационному признаку.

Выявленное загрязнение питьевых вод не относится к показателям устойчивых отрицательных изменений в окружающей среде и не связано с воздействием полигона. неудовлетворительное качество питьевой воды не является исключительным для района исследования, а характерно для всего Западного Казахстана.

NEW TRENDS IN MONITORING RADIOLOGICAL EMERGENCIES

I. Cespirova, P. Kuca, L. Gryc

National Radiation Protection Institute (SURO), Prague, Czech Republic

The paper describes the equipment and procedures for a radiation situation monitoring, it focuses in particular on a mobile laboratory (equipped with a wide range of measuring and sampling devices), on a new generation of detectors for field monitoring using remote-controlled devices (UGV, robotic rover) or airborne (UAV, drones) devices and on systems for continuous monitoring of dose rate with data transmission to a central database for local government and other entities, as well field-deployable stand-alone detectors given over to increase the density of the monitoring sites network in an emergency planning zone of NPPs in the event of a radiological emergency.

For mobile laboratory a van/vehicle VW Transporter was chosen and equipped. The poster presents a car-borne system comprising basic spectrometry identification, determination of heading to source using two detectors located on lateral sides of the vehicle, dose rate logging and mapping. Another part of a monitoring vehicle is a HPGe detector inserted into lead shielding for quick qualitative and quantitative evaluation of environmental samples and other detectors for field measurement.

A small, lightweight detector has been developed for remote dose rates measurement. This detector is designed for installation of an unmanned airborne or a ground robot systems for using them to perform monitoring in areas with high contamination levels (high dose rates that could endanger the health of intervening persons) or where the helicopter cannot be used (e.g. urban agglomeration at the lower flight altitudes etc.). It is primarily devoted for usage in nuclear/radiological emergencies like nuclear-power equipment crashes, accidents or losses during a production, transport or use of ionizing radiation sources (industrial, medical and military), dispersion of radioactive substances due to dirty bomb attacks or leakage of contaminated wastewater. Required detector must have a sufficient efficiency, fast response, small size and weight and also the ability to record measurement data and optionally transmit them during a flight/drive to the base. The developed detector is a plastic scintillator crystal based on polystyrene in a shape of cylinder with the dimensions of the crystal $\varnothing 90 \times 90 \text{ mm}^3$.

To monitor the radiation situation using the dose rate measurement system was developed as fixed stations suitable for deployment on local government departments, other both public and civil organizations, for citizens as well as an option allowing deployment as a "stand-alone" network of monitoring sites in the emergency planning zone in case of a radiological emergency. The system includes a detection part - probes for measuring dose rates based on GM-detectors with variable configuration of detectors and accessories, a communication part - data-transmission equipment at the central office and a display part - presentation of results on the website.

The poster is drawn up on the basis of the Ministry of the Interior Project results, ID: VG20122015083.

SECURITY RESEARCH PERFORMED BY SURO

P. Kuca, J. Koc

National Radiation Protection Institute (SURO), Prague, Czech Republic

The paper presents actual aspect of security research in the Czech Republic. This research, founded by the Ministry of Interior of the Czech Republic, is aimed at Emergency Preparedness and Response in case of Nuclear and/or Radiological Emergency.

Results of selected projects, solved by the National Radiation Protection Institute (SURO) in recent years, are presented:

Project “Prevention and severe accident consequences mitigation analyses performed for Czech NPPs in connection with the new experience obtained from the stress tests after the Fukushima accident.” The National Radiation Protection Institute (SURO) contributes to evaluation of the potential radiation doses for the emergency workers in the course and in the recovery phase of the severe accident. As in the event of a radiation accident at nuclear power plant it is likely that potential exposure rates in different parts of the plant and airborne activity can to vary significantly in space and time, and situations when the devices will operate in conditions both radiological (dose rates) and physical (temperature, pressure, humidity etc.) outside their declared operation range cannot be excluded. As a part of the project the performance of selected detectors and components has been tested.

Project „Research of advances methods of detection, assessment and mastering of radioactive contamination aimed at modernization of appropriate parts of system for ensuring protection of public and selected critical infrastructures of the Czech Republic related to radiological attack or large-scale radiological emergency“ covers wide range of objectives from detection of radioactive matters up to early warning and information of both public and responding personnel, education public, training of responding subjects, foreknowledge of public and of touched subjects and bodies, including except other field experiments aimed to simulation of terrorist attack using radioactive substances dispersed to atmosphere by small explosion (co called „dirty bomb“). Results of the field experiment performed in 2014 are presented.

Project “Radiation Monitoring Network for institutions and schools for assuring early awareness and enhancing safety of citizens” aimed at enhancement of safety of citizens by implementation of radiation monitoring system on the level of local institution, schools and citizens in accordance with current trends worldwide. Results of pilot implementation and testing of probes used for so called “citizen monitoring networks” are presented.

The poster is drawn upon the basis of Ministry of Interior of the Czech Republic projects ID VG20132015105 et al.

ПОИСК ПУТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА

Зима Г.В., Кутний Д.В., Ванжа С.А.

Национальный Научный Центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

В последнее время в Украине повышенное внимание уделяется проблеме совершенствования системы учета и контроля ядерных материалов (ЯМ), которая состоит из нескольких основных задач: информационной поддержки; обеспечения нормативной документацией; создания, совершенствования и внедрения методик измерений и контроля; создания и обеспечения аппаратурой для измерений и контроля ядерных материалов; обучения персонала современным методам работы [1]. Совершенствование методик измерений и контроля является актуальной задачей, решение которой позволяет определять специфические характеристики, такие, как обогащение по изотопу ^{235}U ядерных материалов на различных этапах ядерного топливного цикла, что является весьма важным для их отслеживания в любом технологическом процессе. В подавляющем большинстве случаев методы неразрушающего контроля являются более экспрессными, дешевыми и доступными, чем разрушающий химический анализ, требуют меньшей подготовки персонала, проводящего измерения, и не производят каких-либо значительных изменений в состоянии исследуемого материала.

Сведения о ядерных материалах основываются на количественных измерениях, которые используются для получения характеристик какого-либо процесса. За последние годы методы неразрушающего контроля (или неразрушающего анализа) стали важными аналитическими средствами для определения количественных значений и характеристик ядерных материалов, одной из которых является обогащение по изотопу ^{235}U .

При этом следует подчеркнуть, что, несмотря на относительно узкую специфичность и востребованность задач по определению обогащения урана по изотопу ^{235}U , спектр методов, позволяющих их осуществить, весьма широк. Не менее широк и диапазон определяемого обогащения – если в промышленности и энергетическом секторе используется уран с определённым обогащением по изотопу ^{235}U , то вариативность степени обогащения по изотопу ^{235}U ядерных материалов, используемых в научных целях – крайне высока – от обеднённого до высокообогащённого, не говоря уже о задачах ядерной криминалистики, где зачастую невозможно даже предсказать с каким уровнем обогащения предстоит столкнуться и тем самым подготовиться к работе в заданном диапазоне обогащений.

Наличие возможности выбора метода подтолкнуло к поиску путей оптимизации использования различных методов по определению обогащения урана. Поэтому нами была проведена работа по исследованию точности методов определения обогащения урана в различных диапазонах обогащения. Представляло интерес проследить одинаково ли эффективны методы измерения обогащения урана для обеднённого материала, материала с естественным обогащением и обогащённого.

Для работы были использованы сертифицированные образцы из набора SRM 969 на основе порошка U_3O_8 с содержанием изотопа ^{235}U 0,317% (обеднённый) и 0,712% (природный); и сертифицированные образцы из набора SRM 146 на основе порошка U_3O_8 с содержанием изотопа ^{235}U 20,107 % (обогащённый) и 93,170% (высокообогащённый). Определения обогащения образцов проводили с помощью планарного и широкодиапазонного Ge-детекторов, с помощью программного обеспечения (ПО) MGAU, FRAM и SpectraLine. Статистическую обработку проводили классическими методами математической статистики, определяя доверительный интервал и относительную погрешность измерения [2].

По результатам определения обогащения и последующей статистической обработки результатов можно сделать вывод о существовании зависимости точности определения величины обогащения по изотопу ^{235}U от выбранной комбинации ПО-детектор для разных диапазонов обогащения. Проведенное исследование позволяет предположить, что наилучшей комбинацией ПО-детектор для измерения обогащения в природном и обогащённом уране является Планарный детектор +MGAU, а вот для измерений в обеднённом и высокообогащённом уране оптимальная комбинация BEGe+FRAM. Возможно, данная комбинация ПО-детектор наилучшим образом реагирует на экстремальные (крайне низкие и очень высокие), количества изотопов ^{235}U в материале. При этом, следует подчеркнуть, что для получения более достоверных результатов необходимо проведение дальнейших исследований.

Литература:

1. Д.В. Кутний, Ю.Н. Телегин, Н.П. Одейчук, В.А. Михайлов, В.Е. Товканец Определение обогащения урановых материалов гамма-спектрометрическими методами. Вопросы атомной науки и техники 2009, Вып.94, № 2-4, с.256-262.
2. В.Е. Гмурман Теория вероятности и математическая статистика. Москва. Высшая школа. 2003. 479 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В НИХ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДА Cs-137

Иванова А.Р., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Стандартная методика подготовки проб растений для определения радионуклида ^{137}Cs , предусматривает озоление при $T=400-450\text{ }^\circ\text{C}$, так как по литературным данным потери ^{137}Cs могут наблюдаться, если температура превышает примерно $450\text{ }^\circ\text{C}$. При сухом озолении, даже если в муфельной печи термостатически поддерживается эта или ещё более низкая температура, может произойти возгорание растительных образцов, в результате чего в отдельных местах температура достигает значительно более высоких значений. В связи с этим поставлена задача установления температурного режима озоления растительных образцов, при котором потери радионуклида ^{137}Cs будут минимальны.

Для проведения эксперимента отобрана смешанная проба растительности с заведомо известным повышенным содержанием радионуклида ^{137}Cs . Пробу промыли, высушили, измельчили, тщательно гомогенизировали и далее подвергали озолению в муфельной печи при различных температурных режимах. Первоначально образцы проб массой 60г в трёх повторах предварительно обугливали, в закрытых фарфоровых чашках не допуская воспламенения проб при температуре $250\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2,5 часов. Обугленные сухие остатки озоляли в муфельной печи, в следующем температурном режиме: 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 $^\circ\text{C}$ в течение 5 часов для каждого температурного режима. Через каждый 1 час озоления определяли массу остывшего зольного образца. Измерения образцов проводились инструментальным гамма-спектрометрическим методом. Расчет гамма-активности ^{137}Cs выполнялся по измеренной скорости счета в соответствующем пике источника и эффективности регистрации гамма-излучения в расчете на массу сухой навески до озоления. Предел обнаружения составил 1 Бк/кг.

В результате проведенного эксперимента установлено, что масса золы становится постоянной спустя 5 часов при температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$. Измерение удельной активности радионуклида ^{137}Cs в сухом образце и в золе, полученной при температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$, дает не вполне качественный результат, что, по всей видимости, связано с некорректным учетом плотности анализируемой пробы. Незначительное снижение ($\approx 15\%$) удельной активности ^{137}Cs наблюдается при температуре $500-600\text{ }^\circ\text{C}$, более резко (на 30%) его содержание в образце падает при температуре $700\text{ }^\circ\text{C}$. Измерение же удельной активности ^{137}Cs после пробоподготовки при температуре $800\text{ }^\circ\text{C}$ не имеет смысла, так как потери в этом случае составляют до 80%. Таким образом, оптимальная температура озоления растений, при которой плотность образца достаточна для ее корректного учета, а потери радионуклида ^{137}Cs минимальны, составляет $400\text{ }^\circ\text{C}$ (время озоления не менее 5 часов).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ИСККУСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ СВИНОВОДСТВА ПРИ ИХ ПОСТУПЛЕНИИ С ПОЧВОЙ

Каратаев С.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Мамырбаева А.С.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований параметров перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в продукцию свиноводства при их поступления с почвой, а также изучение динамики накопления и динамики выведения этих радионуклидов из организма поросят.

Исследование проводилось посредством натуральных экспериментов. В качестве исследуемых животных использовалось 16 голов поросят в возрасте 1,5-2 месяца.

Для получения всех необходимых данных в исследование применялась следующая схема постановки животных на эксперимент:

1. Изучение перехода радионуклидов в продукцию при их длительном поступлении: 8 голов поросят кормили радиоактивно-загрязненной почвой с кормовой смесью в течение 56 суток. Через 7, 14, 28, 56 суток, после 12 часовой голодной выдержкой проводился забой по 2 головы поросят.

2. Изучение динамики выведения радионуклидов после длительного поступления: 8 голов поросят кормили радиоактивно-загрязненной почвой с кормовой смесью в течение 56 суток. После 56 суток животные переведены на «чистый» рацион. Через 7, 14, 28, 56 суток, после перевода на «чистый» проводился забой по 2 головы поросят. С каждого животного на радионуклидные анализы отбирались мышечная ткань, печень, костная ткань.

По результатам проведенных работ было установлено, что содержание радионуклида ^{137}Cs в мышечной ткани, печени и костной ткани приблизительно одинаковое. Определено, что через месяц после ежедневного поступления ^{137}Cs в организм животных устанавливается динамическое равновесие между его поступлением и выведением.

Динамика выведения ^{137}Cs из организма животных показала, что период полуснижения удельной активности ^{137}Cs составляет 7 дней. На 56 сутки содержание ^{137}Cs достигает 0,3% от среднесуточного поступления.

Исследование динамики перехода ^{241}Am в мышечную ткань, печень и костную ткань поросят показала, что равновесное состояние радионуклида в мышечной ткани наступает на 28 сутки, тогда как в печени и костной ткани в пределах выбранных временных интервалах эксперимента (до 56 суток) равновесного состояния не достигнуто.

Выведение ^{241}Am из печени и костной ткани происходит медленнее, чем из мышечной ткани. На 7-е сутки содержание этого радионуклида в мышечной ткани, печени и костной ткани составляет 0,006%, 0,054% и 0,09% от среднесуточного поступления этого радионуклида, на 56 сутки 0,0001%, 0,047% и 0,05%.

Полученные значения параметров накопления радионуклидов свиноводческой продукцией будут использованы при расчете доз для населения, проживающего на территориях, прилегающих территориях СИП.

Кроме того, результаты, полученные в ходе планируемых исследований, будут применяться при проведении оценки возможных концентраций радионуклидов в сельскохозяйственной продукции при ее производстве как на территориях СИП, перспективных для передачи в хозяйственный оборот, так и на прилегающих территориях с повышенным содержанием техногенных радионуклидов.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ АНТРОПОГЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ ПОДМОСКОВЬЯ

Крапивко В.П., Скоркин В.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований РАН, г. Москва, Россия*

Цель настоящего сообщения – изучение и оценка радиэкологической обстановки на территории региона и в частности определение характеристик трёх моно-загрязнений:

1. Загрязнение цезием на объекте ОАО «Подольский завод цветных металлов» (ОАО «ПЗЦМ»);
2. Радиевое загрязнение в г. Раменское (озеро Солнечное);
3. Ториевое загрязнение в г. Подольске.

Рассматриваются также история возникновения радиационных аномалий, современное состояние и пути решения проблемы, связанной с ними. Во всех трёх случаях хозяева радиоактивных отходов (радиационных аномалий) не были определены. Претензии на ликвидацию возникшей ситуации никому не были предъявлены. Нормализацией радиационной обстановки занимались МосНПО «Радон», РосРАО, Министерство по чрезвычайным ситуациям, несколько частных предприятий. Объекты ликвидировались годами, но до сих пор остаются вопросы. Полностью ни один из перечисленных объектов не снят с контроля.

В разные годы менялись подходы к решению и пути решения проблем, но не хватало материальных ресурсов, политической воли довести ситуацию до приемлемой.

На сегодняшний день положение дел по объектам следующее:

1. **ОАО «ПЗЦМ».** Дезактивирован и демонтирован цех, в котором непосредственно были расплавлены источники (Cs-137) радиационного загрязнения (рафинировочное отделение, отражательные печи №1 и №2, дымовая труба). Остались, как источники радиоактивного загрязнения, отвалы (всего более 2000 м³), с уровнем загрязнения до 100 кБк/кг, вывезено более 3000 м³ НАО. Произошло повторное загрязнение ж/д полотна, мест прокладки коммуникаций, речки Петрица.

2. **Раменское.** РАО в основном вывезены. Осталась свалка бытовых отходов, локальные участки загрязнения Ra-222 (светомасса). Неравномерность загрязнения: от мелкодисперсного состояния до отдельных частиц размером в несколько миллиметров.

3. **Подольск.** В основном, убраны радиоактивные пятна (Th-232) в микрорайоне Северном города, при проведении работ по дезактивации в 2002 г. РАО вывезены на долговременное подконтрольное хранение в МосНПО Радон. Для хранения УНАО выстроено специальное сооружение на территории «Водоканала». Но локальные загрязнения возможны под дорогами в микрорайоне Северном г. Подольска. При проведении работ по инженерно-экологическим изысканиям в 2013 г. для строительства многоэтажного жилого дома в Парковом микрорайоне г. Подольска, обнаружено локальное ториевое загрязнение. В 2014 г. при проведении планового обследования территории были обнаружены три пятна на Домодедовском шоссе, на границе города Подольска и Подольского района. Проведена дезактивация. Проблема ториевого загрязнения остается.

Работы ведутся, но нормализация радиэкологической обстановки не наступила. Возникают финансовые трудности при реализации проектов. Приходится возвращаться к объектам несколько раз. Работу проводят не одна, а несколько организаций. Преемственности нет, слабая реализация принятых решений. Администрации районов и городов не проявляют заинтересованности и не контролируют ход проведения работ.

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКАВАЦИОННЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Ларионова Н.В.¹, Лукашенко С.Н.¹, Глуценко В.Н.², Харкин П.В.², Иванова А.Р.¹

¹ Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

² РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Одним из направлений использования экскавационных (с выбросом грунта) ядерных взрывов во время функционирования Семипалатинского испытательного полигона была отработка технологии создания искусственных водоемов для засушливых районов страны. В результате целенаправленных испытаний в местах подрыва ядерных зарядов образовались заполненные водой воронки радиусом в сотни и глубиной несколько десятков метров – «Атомное» озеро, «Телькем-1», «Телькем-2» и др. Растительный покров перечисленных объектов, полностью уничтоженный во время взрыва, на сегодняшний день представлен фрагментами водной и прибрежной растительности. На внутренней стороне отвалов формируются единичные особи и изреженные группировки петрофитных и сорных видов местной флоры. По мере удаления от навала проявляется зональная степная растительность. С точки зрения радиоактивного загрязнения определенным интересом здесь представляют параметры перехода радионуклидов из почв отвалов в наземные виды растений и из донных отложений в водные, а также особенности накопления радионуклидов растениями в зависимости от микрорельефа по мере удаления от эпицентра взрыва.

Для оценки накопления радионуклидов растениями в местах проведения экскавационных взрывов в районе «Атомного» озера, «Телькем-1» и «Телькем-2» отобраны пробы почвы (донных отложений) и растений (наземные, водные). Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилось методом гамма-спектрометрии, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией. Концентрация радионуклидов в растениях определялась в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по ^{137}Cs составлял 1 Бк/кг (для проб растений) и 4 Бк/кг (для проб почвы), ^{241}Am – 0,02 Бк/кг и 0,5 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1 Бк/кг и 1 Бк/кг, ^{90}Sr – 1 Бк/кг и 5 Бк/кг соответственно. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am не превышала 10-20 %, ^{90}Sr – 15-25 %, $^{239+240}\text{Pu}$ – 30%.

В результате проведенных исследований, выявлено, что удельная активность радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почве отвалов «Атомного» озера выше, либо сравнима, с их концентрацией в донных отложениях. Средние количественные значения Кн ^{241}Am и ^{90}Sr составляют 0,0099 и 0,0056, диапазон значений Кн ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ достигает двух порядков (0,0078-0,70 и 0,00029-0,019 соответственно). Стабильно более высокие значения Кн ^{137}Cs отмечаются для водного растения – рдест (*Potamogeton perfoliatus*). Для наземных растений значения Кн ^{137}Cs в 3-4 раза, а ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в 2 раза выше для полыни (*Artemisia gracileccens*), чем для ковыля (*Stipa sareptana*). Явное повышение Кн ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ прослеживается по мере удаления от гребня воронки «Атомного» озера – минимальные значения Кн наблюдаются в районе «навала» (до 500 м от гребня, образовавшегося в результате проведения ядерного испытания), а максимальные – на расстоянии более 2000 м по профилю. Значения Кн ^{137}Cs и ^{90}Sr в районе воронок «Телькем-1» и «Телькем-2» наоборот по мере удаления от гребней уменьшаются, однако некоторое увеличение отмечается для радионуклидов трансуранового ряда $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am (искл. полынь (*Artemisia gracileccens*)).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ ПТИЦЕВОДСТВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ПОСТУПЛЕНИЯ

Мамырбаева А.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В.,
Каратаев С.С., Байгазы С.А.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В работе представлены результаты натуральных исследований по изучению перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в органы и ткани птиц при поступлении с загрязненной почвой, водой, растительным кормом.

В качестве объектов исследования использованы куры – несушки, куры – бройлеры, которые находились в условиях клеточного содержания. Срок содержания птиц варьировал от 0 до 70 суток. Птицы были разделены на группы с разными источниками поступления радионуклидов (почва, вода, корм). Исследования в каждой группе проводились в 2 этапа: на 1 этапе изучали динамику перехода радионуклидов в продукцию при их длительном поступлении; на 2 этапе – динамику выведения радионуклидов после длительного поступления.

Результаты показали, что в начале поступления радионуклиды интенсивно накапливаются в органах и тканях, а затем, несмотря на продолжающееся поступление, увеличение их концентрации не происходит.

Для ^{137}Cs равновесное состояние накопления его в мясе наступает на 28 сутки, в печени на 14 сутки проведения эксперимента. После перевода птиц на чистый рацион период полувыведения в мясе наступает на 4 сутки. В печени период полувыведения характеризуется 9 сутками. Определено, что биологическая доступность радионуклида ^{137}Cs поступившего с водой, выше, чем при поступлении с кормом в 1,5 раза, а с почвой в 15 раз.

В яйце равновесное состояние ^{137}Cs наступает на 11 сутки, после чего дальнейшего увеличения активности не происходит. К этому сроку содержание радионуклида в яйце становится максимальным и составляет 4,4% среднесуточного поступления. Содержание ^{137}Cs в яйце уже на 6 сутки перевода птиц на чистый рацион уменьшается в 2 раза.

Полученные данные о параметрах перехода ^{137}Cs в продукцию птицеводства были сопоставимы с имеющимися в мире данными.

Концентрации ^{241}Am в мышечной ткани и печени кур были ниже предела обнаружения при использованных методиках и аппаратурно-методическом обеспечении. Можно только предположить, что, возможно, на 38 сутки эксперимента кривая выйдет на плато. Период полувыведения ^{241}Am из мышечной ткани составляет 10 суток.

Равновесное состояние ^{241}Am в яйцах наступает на 8 сутки, период полувыведения равен 6 суткам. Ввиду отсутствия в мире данных по параметрам перехода ^{241}Am в птицеводческую продукцию сопоставить полученные результаты невозможно.

ANALYSIS OF INDIVIDUAL RADIOSENSITIVITY OF PEOPLE LIVING AROUND THE FORMER SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE

F.T. Muratova, N.K. Altynova, B.O. Bekmanov, E.M. Khussainova,
L.B. Djansugurova, R.I. Bersimbai

Institute of General Genetics and Cytology, SC MES RK, Almaty, Kazakhstan

Semipalatinsk nuclear test site was closed more than 25 years ago and its northern territory is being returned to the economic use, however cancer, cardiovascular diseases, autoimmune deficiencies indicators of the population of East Kazakhstan region remain leading in the Republic. Such a data suggest a strong monitoring of radiation-affected people and their descendants.

The aim of present investigation was estimation of the genetic risk of chronic radiation exposure and identification of radiosensitivity markers in the Kazakh population.

For our study we selected radiation-exposed representative 3-, 4-generational families from East Kazakhstan region (villages Dolon, Karaul, Mostik, Cheryomushki, Kara-Murza, Kanonerka, Bodene, Chagan) and non-irradiated families from ecologically favorable Almaty region (Dzerzhinsk, Ushtobe, Zhanatalap, Taukaraturyk, Kyrbaltabay) of Kazakhstan. The material were frozen (-20°C) DNA samples and lymphocyte cultures from the genebank of the Laboratory of Molecular Genetics. Analysis of candidate gene polymorphisms was performed for genes responsible for genomic instability control (*ATM* G5557A), DNA repair (*XRCC1* Arg194Trp, *XRCC1* Arg399Gln, *XRCC3* Trp241Met, *XPB* Asp312Asn, *XPB* Lys751Gln), detoxification of xenobiotics (*GSTM1*, *GSTT1*, *GSTP1*) and nitric oxide metabolism *eNOS* 4a/b. A statistical analysis of association between the studied species polymorphisms and the irradiation factor, as well as increased frequency of 8 minisatellite loci mutations and chromosome aberrations was carried out.

According to the obtained data, the correlation with radiation factor was found for *eNOS* 4a / b and *XRCC1* Arg194Trp. While homozygote alleles 4a and 194Trp significantly increased this risk (OR = 6.15, P = 0.04; OR = 4.86, P = 0.005), in the heterozygous state the negative impact of these alleles was leveled. As well, the relative risk of radiation exposure revealed minor homozygotes *XRCC3* Met241Met (OR = 2.44, P = 0.07) and *GSTM1* deletion (OR = 5.13; P = 0.0). For *XPB* Lys751Gln risk was indicated only for dominant homozygotes (OR = 1.47; p = 0.007).

Associative analysis of candidate polymorphisms with the induction of minisatellite mutations was only shown for *GSTM1*(-/-) gene of exposed group (OR = 1.859; P = 0.010). For other genotypes data were not reliable.

Cytogenetic analysis of the two cohorts registered an elevated level of chromosomal aberrations in the exposed population - 2.4 times higher than this in the control group. Revealed markers of radiation damage in the exposed group – dicentrics (0,275 ± 0,063) and rings (0,056 ± 0,028) suggest that people living close to the SNTS continue undergo adverse influence of radiation. Analysis of chosen genes polymorphisms with the induction of chromosomal aberrations identified radiosensitive genotypes: *XRCC3* (Met241Met; OR=2.22) and *GSTM1* deletion (OR=3.19). The accumulated radiation dose for 55 exposed persons was calculated as 1.82 cGy.

The research findings confirm the absence of a significant effect of radiation at present time (low frequency of unstable chromosome aberrations). However the revealed retrospective radiation dose (1.82 cGy) is quite high, and suggests that population around the former Semipalatinsk nuclear test site is still being exposed to radiation.

ВЫЯВЛЕНИЕ СЛЕДОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ С СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ БЛИЗКИМ К ФОНОВЫМ ЗНАЧЕНИЯМ

Нефедов Р.А., Умаров М.А., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

По исторической информации известно, что количество проведенных наземных испытаний на площадке «Опытное поле» составляет 30, в результате которых сформированы следы радиоактивных выпадений различной активности и протяженности. Дополнительно известно об аварийных и экскавационных испытаниях (до 15) на других испытательных площадках, когда происходило истечение радиоактивных газов и аэрозолей на дневную поверхность. Ранние исследования, в том числе аэрогамма-спектрометрическая съемка всей территории СИП выявили лишь три наиболее «грязных» следа приуроченных к испытательной площадке «Опытное поле»: испытание от 29.08.1949 г. – первого испытания ядерного заряда в СССР, от 24.09.1951 г. – второго испытания мощностью 38 кт и от 12.08.1953 г. – наземного испытания мощностью 400 кт т.э. Следов радиоактивных выпадений от других испытаний за пределами границ СИПа не обнаружено.

Целью работы была разработка метода выявления следов радиоактивных выпадений с содержанием искусственных радионуклидов близким к фоновым значениям, в частности выявление ранее незарегистрированных следов радиоактивных выпадений от ядерных испытаний за пределами границ СИП.

Работа была выполнена с использованием комбинирования методов in-situ гамма-спектрометрической съемки и отбора проб почвы на территориях, подверженных радиоактивному загрязнению гамма-излучающими радионуклидами с уровнями близким фоновым значениям. Исследования проведены по профилям, заложенным перпендикулярно осям распространения предполагаемых следов радиоактивных выпадений. На профилях в заданных точках (равноудаленных друг от друга на 200 м) осуществлялись измерения поверхностной активности радионуклидов с использованием полевой гамма-спектрометрии с последующим отбором проб почвы в точки измерений (верификация полученных данных и расширение определяемых изотопов). Для определения направления следа было заложено несколько профилей. Подобная схема обследования позволяет с наибольшей степенью зарегистрировать даже небольшой по размерам (сотни метров в ширину) и с низкой по активности след радиоактивных выпадений.

Для исследования были выбраны два участка на территории прохождения следов радиоактивных выпадений: участок №1 - по следу радиоактивных выпадений от наземного испытания 29.08.1949 г. – данный след был ранее изучен и здесь проводились работы по оптимизации выбора плотности сети, определения необходимой чувствительности; участок №2 – в районе р. Чаган, восточнее испытательной площадки «Балапан», место прохождения следов (по данным метеоусловий на момент испытаний) как минимум от 3-х испытаний.

На участке №1 по трем профилям более подробно изучен ранее исследованный след радиоактивных выпадений от испытания 1949 г. Ширина следа составила 10-13 км, значения активности ^{137}Cs по результатам полевой гамма-съемки 0,2-1,9 cps (~15-150 Бк/кг) и <10-92 Бк/кг по лабораторным анализам проб почвы. При этом были выявлены некоторые особенности вторичного перераспределения ^{137}Cs в различных экосистемах: наибольшую способность к аккумуляции в верхнем слое почвы показала экосистема соснового бора, минимальную – пойменные почвы.

На втором участке, в районе р. Чаган выявлены два следа. Ширина выявленных следов колебалась от 6 до 14 км, значения активности ^{137}Cs составили 0,2-0,8 cps (~15-60 Бк/кг) и 3-55 Бк/кг по лабораторным результатам.

По результатам исследований доказано, что совместное использование in-situ гамма-спектрометрической съемки и отбора проб почвы позволяет выявить следы радиоактивных выпадений с содержанием ^{137}Cs близким к фоновым (>15-20 Бк/кг), а также достаточно подробно проводить оценку пространственного распределения ^{137}Cs в поперечном сечении следов радиоактивных выпадений.

ЗНАЧЕНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Орлова К.Н., Градобоев А.В.

*Юргинский технологический институт Национального исследовательского
Томского политехнического университета, г. Юрга, Россия*

В настоящее время все больший интерес приобретает определение уровня радиационной безопасности на территории промышленных центров. Данный интерес обусловлен, прежде всего, использованием специфичных материалов конструкций и технологических комплектующих, при этом использование рудных ископаемых в осуществлении технологического цикла предполагает наличие некоторого повышенного уровня ионизирующего излучения.

Ввиду вышеуказанных причин целью исследования явилось определение необходимости и целесообразности проведения радиоэкологического мониторинга территорий фабрик и заводов, т.е. промышленных территорий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- произвести оценку мощности дозы гамма-излучения на промышленной территории города;
- определить вклад различных промышленных объектов в показания мощности дозы гамма-излучения.

В ходе исследования определялись характеристики гамма-излучения. Гамма-излучение возникает при ядерных реакциях, α - и β -распадах радиоактивных ядер, элементарных частиц, при аннигиляции пар частица-античастица, а также при прохождении быстрых заряженных частиц через вещество. Гамма-излучение, сопровождающее распад радиоактивных ядер, испускается при переходах ядер из более возбужденного энергетического состояния в менее возбужденное или в основное.

Измерительную базу исследования составлял дозиметр типа «Гроч». Детектором дозиметра «Гроч» (чувствительным элементом дозиметра), служащим для преобразования явлений, вызываемых ионизирующими излучениями, в электрический или другой сигнал, легко доступный для измерения, является ионизационный счетчик, по типу счётчика Гейгера, определяющий чувствительность дозиметра в 20000 имп./мкЗв. Сфера применения этого дозиметра достаточно широка, его используют как в атомной энергетике, таможенной службе, так и в домашних условиях из-за его удобных размеров и простоты использования.

Показания снимались при одинаковой ясной погоде и на одинаковом расстоянии 1 м от грунта, строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 7%. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма- и бета-излучений и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека.

Первые повышенные значения зарегистрированы для местности, прилегающей к машиностроительному заводу, точнее ТЭЦ. Высокие значения можно объяснить находящимися неподалеку шламовыми насыпями и использованием угля. Также значения, превышающие норму, определены на территории, принадлежащей ферросплавному заводу, где находятся хранилища для осаждения шлама.

Выводы:

1. На прилегающей к двум заводам территории наблюдается превышение максимального фонового значения мощности дозы гамма-излучения
2. Повышения фонового значения годовой дозы гамма-излучения вероятнее всего обусловлены расположением хранилищ отходов промышленности и использованием рудных ископаемых в осуществлении технологического цикла.

Литература:

1. Дозиметр гамма-излучения ДКГ-03Д «Гроч». Руководство по эксплуатации, 2005 г.
2. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, № 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, № 14534. 2009.
3. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, № 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

Орлова К.Н., Градобоев А.В.

*Юргинский технологический институт Национального исследовательского
Томского политехнического университета, г. Юрга, Россия.*

При определении уровня ионизирующего излучения в жилых постройках, прежде всего, подразумевается наличие внешних технологических источников радиационного загрязнения. Однако практически отсутствуют сведения о миграции радионуклидов из верхних почвенных слоев в толщи строительного материала.

При этом нельзя отрицать тот факт, что данная миграция имеет место быть и так как строительный материал имеет пористую структуру, то природные радионуклиды вполне могут накапливаться, распадаться и излучать вторичные продукты распада, что должно изменять уровень ионизирующего излучения.

Таким образом, целью исследования явилось определение уровня радиационной безопасности в постройках из различного материала и срока эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Произвести оценку мощности дозы гамма-излучения, как основного вторичного продукта распада радионуклида.
- Сопоставить полученные данные с типом строительных материалов и сроком эксплуатации зданий.

В ходе исследования определялись амбиентная эквивалентная мощность дозы гамма-излучения. Измерительную базу исследования составлял дозиметр типа «Грач». Детектором дозиметра «Грач» (чувствительным элементом дозиметра), служащим для преобразования явлений, вызываемых ионизирующими излучениями в электрический или другой сигнал, доступный для измерения, является ионизационный счетчик, по типу счетчика Гейгера, определяющий чувствительность дозиметра в 20000 имп./мкЗв.

Показания снимались при одинаковой ясной погоде и на одинаковом расстоянии 1 м. от поверхности строго в горизонтальном положении при величине относительной погрешности не более 10%. Измерения на высоте 1 м – это своеобразный стандарт, связанный с определенной геометрией и соотношением гамма- и бета-излучений и местоположением наиболее чувствительной части тела стоящего человека.

Наблюдается превышение максимально допустимой мощности дозы гамма-излучения практически в два раза для засыпных построек (которые состоят из кирпичного каркаса и засыпанные внутри шлаком). При этом более высокие значения наблюдаются для верхних этажей зданий. Таким образом, с учетом наличия проветривания можно говорить о накоплении радионуклидов верхними этажами зданий спустя 70-80 лет эксплуатации подобных построек. При этом нижние этажи накапливают радионуклиды до некоторого определенного уровня, выше которого мощность дозы гамма-излучения более не регистрируется. При этом для железобетонных конструкций изначально наблюдаются более высокие значения мощности дозы гамма-излучения, однако с годами эксплуатации зданий увеличение уровня гамма-излучения, а следовательно накопление радионуклидов данным строительным материалом незначительно. Из рассмотренных построек кирпичные изначально являются более экологичными. Существенное накопление радионуклидов и увеличение мощности дозы гамма-излучения наблюдается только при эксплуатации зданий более 30 лет.

Литература:

1. Дозиметр гамма-излучения ДКГ-03Д «Грач». Руководство по эксплуатации, 2005 г.
2. СанПиН 2.6.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» от 7 июля 2009 года, № 47: Зарегистрировано в МинЮсте РФ 14 августа 2009 года, № 14534. 2009.
3. Федеральный закон ФЗ «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года, № 3: Принят Государственной Думой 5 декабря 1995 года. 1996.

THE PLANT'S IDENTIFICATION ACCORDING TO THE TRANSFER FACTOR OF Cs¹³⁷ INTO THE PLANTS FROM THE MEADOW SOILS OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

R.P. Plisak, S.V. Plisak

*The institute of botany and phytointroduction of Ministry of education and science
of the Republic of Kazakhstan, Almaty*

The plants ability to accumulate the radionuclides and the methods of its quantitative evaluation are not enough researched. As a result of such researches the abilities of phytoremediation of territory that were polluted during the nuclear tests are being revealed. On the basis of the gamma spectrometric analysis of "plant-soil" pair samples we received the data of Cs¹³⁷ transition factors for 9 species of the meadow plants. They are ranged to decrease of their transition factors. Diapason of transition factors of the researched plants is significant. The coefficient of accumulation of radio Cs is changing from 0,078 till 1.616.

The dominant species of following 4 meadow ecosystems were chosen as an objects of the research:

1. Communities of *Elytrigia repens* + *Inula britannica* on the meadow sandy loamy, loamy and heavy loamy drying soils of higher parts of small rivers' flood plains and streams.
2. Communities of *Calamagrostis epigeios* + *Sanguisorba officinalis* + *Galatella biflora* on the meadow, heavy loamy and clay loamy solonchakous soils of the lower flood plains of small rivers and streams.
3. Communities of *Achnatherum splendens* + *Glycyrrhiza uralensis* + *Leymus angustus* on the meadow sandy loamy, loamy stony getting stepped soils of higher parts of the central flood plain of the small rivers' valleys.
4. Communities of *Leymus angustus* on the meadow low developed, loamy rock waste, stepped soils of higher parts and over flood plain terraces of small mountain rivers.

Cs¹³⁷ is the main pollutant of the meadow soils on the Semipalatinsk test site. The research of the vertical distribution of Cs¹³⁷ in soils revealed that it is being accumulated in the higher layer 0-15(20) cm of soil. Its basic stake (0,1-0,9%) is being accumulated in the layer 0-5(10) cm. The depth of penetration of plant's roots reaches 20-60 cm. The higher layer of soils 0-10(20) cm is the most saturated with the roots layer (77,6-729,5 g/m²). Because of that the large stake of Cs¹³⁷ is been in the roots inhabited layer of soils and accessible for the plants.

Glycyrrhiza uralensis has the highest ability to accumulate Cs¹³⁷ in it's over ground part comparing to 9 researched higher plants. The over ground part of the plant accumulates up to 1 794 Bk/kg when the crown activity of Cs¹³⁷ in the higher 0-5(7) cm layer of soil is 1 053-1 394 Bk/kg. The coefficient of accumulation reaches 1,161. *Lasiagrostis splendens* accumulates up to 1 339 Bk/kg of Cs¹³⁷ in it's over ground part in the same radio ecological conditions. The coefficient of accumulation reaches 1,2. These plants are hyperaccumulators of Cs¹³⁷. It is possible to use them in the remediation of the polluted parts of the lower flood plains of small rivers and streams on the territory of the Semipalatinsk test site. *Inula britannica* accumulates Cs¹³⁷ in it's over ground part up to 680 Bk/kg in the same radio ecological conditions. The coefficient of accumulation is 0,755. That is more than 80% of the content of Cs¹³⁷ in the soil layer 0-8 cm. *Inula britannica* is the hyperaccumulator of Cs¹³⁷.

Elytrigia repens, *Calamagrostis epigeios* and *Phragmites australis* have the lowest ability to accumulate Cs¹³⁷ in their over ground part. These plants accumulate 238-356 Bk/kg when the specify activity of Cs¹³⁷ in the higher 0-4(8) cm layer of soil is 672-850 Bk/kg. The coefficient of accumulation is equal 0,078-0,104. *Sanguisorba officinalis*, *Galatella biflora* and *Leymus angustus* accumulate 446-612 Bk/kg of Cs¹³⁷ in their over ground part when the specify activity of Cs¹³⁷ in the higher (0-8 cm) layer of soil is 612-672 Bk/kg. The coefficient of accumulation is 0,129-0,197. *Elytrigia repens*, *Calamagrostis epigeios*, *Phragmites australis*, *Sanguisorba officinalis*, *Galatella biflora* and *Leymus angustus* are the hyperaccumulators of Cs¹³⁷.

THE ACCUMULATION OF Cs¹³⁷ BY THE COMPONENTS OF THE DISTURBED ECOSYSTEMS OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

R.P. Plisak, S.V. Plisak

*The institute of botany and phytointroduction of Ministry of education and science
of the Republic of Kazakhstan, Almaty*

Many objects of infrastructure with the different destination were built during the time of the nuclear tests on the Semipalatinsk test site. These are the engineering and technical communications, military-technical buildings, car and railway bridges, electricity lines, metro and so on. These objects and the surrounding territory were polluted by the radiation.

On the basis of the gamma spectrometric analysis of “plant-soil” pair samples we received the figures of Cs¹³⁷ transition factors for the components of several types of the disturbed ecosystems.

1. The lichens *Parmelia vagans* is revealed as the major accumulator of Cs¹³⁷ in the disturbed ecosystems. The lichens accumulates up to 54 000 Bk/kg when the specify activity of Cs¹³⁷ in the higher (0-10 cm) layer of soil is 14 470 Bk/kg. The coefficient of accumulation reaches 3,732. The power of equivalent dose of gamma radiation is 150-280 µR/Hr. The selection of the pair sample “plant-soil” was made out of the plot which was disturbed by the engineering-technical communications. The above solonetz horizon of the meadow-desert-steppe solonetz was disturbed as a result of planning and possibly deactivation works. The soil texture is clay loam. The vegetable cover is disturbed. The total plant covering percentage is changing between 50 to 70 %. *Parmelia vagans* takes 40-50 % of that square. It is possible to conduct the alienation of its biomass and further destruction for the rehabilitation of the plots with the predominance of these lichens in the plant community. *Parmelia vagans* is the hyper accumulator of Cs¹³⁷.

2. The military-technical building sands for 1,5 m above the surface of the wide, flat inter hill plain. The building is covered by the ground. The ground is gravel-stony-loamy sandy substrate with the fragments of the building concrete. The soil is not formed. The slopes of the ground up to 30° are hold by the gropes of the primitive plant aggregation. The xeromesophyte dwarf semishrub *Ephedra distachya* predominates among them. The total plant cover percentage is changing between 10-15 to 100%. *Ephedra distachya* takes 40-50% of that square. Its roots are situated in the ground layer of 0-5 cm under the surface. The power of equivalent dose of gamma radiation is 150 µR/Hr. The roots of *Ephedra distachya* accumulate up to 51 Bk/kg, its over ground part accumulates up to 67 Bk/kg when the specify activity of Cs¹³⁷ in the higher 0-5 cm layer of ground is 51 Bk/kg. The coefficient of accumulation reaches 1,314. *Ephedra distachya* is hyper accumulator of Cs¹³⁷. The plant can be used during the rehabilitation of different objects of the infrastructure of the Semipalatinsk test-site which were polluted by the radionuclides during the nuclear explosions.

3. The factor of transition of Cs¹³⁷ into the roots and over ground part of plant in the zone of influence of electricity lines is researched for xerophyte dwarf semishrub *Atriplex cana*. Communities of *Camphorosma monspeliacum* with participation of *Atriplex cana* are being formed on the meadow-desert-steppe solonetz dentle slope to solonchackous depression. The mechanical content in the layer of soil 9-22 cm is heavy loamy. The content of humus does not exceed 1,2-1,9%. The vegetation is degraded. The remained cespitose grasses – *Stipa sareptana* and *Koeleria cristata* are representatives of the plants which are typical for these ecosystems. Halomesoxerophyte semishrub *Kalidium schrenkianum* and lichens *Parmelia vagans* are being met rather rarely. The project coverage of soils by the plants does not exceed 30-40%. The soil surface cover is not formed. The depth of penetration of the *Atriplex cana* roots reaches 80-85 cm. The higher layer of the soil 0-10 cm is the most saturated by the plant's roots. The specify activity of Cs¹³⁷ in the soil (in the layer 0-9 cm) reaches 5 397 Bk/kg. In the roots of *Atriplex cana* it accumulates up to 2 440 Bk/kg, in the over ground part – 2 770 Bk/kg. The coefficient of accumulation is 0,513. It is more than 50% of the content of Cs¹³⁷ in the soil (in the layer 0-9 cm). *Atriplex cana* is the hyperaccumulator of Cs¹³⁷.

THE ACCUMULATION OF Cs¹³⁷ IN THE OVER GROUND PLANT'S PART OF THE HALOPHYTE ECOSYSTEMS OF THE SEMPALATINSK TEST SITE

R.P. Plisak, S.V. Plisak

The institute of botany and phytointroduction of Ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan, Almaty

The radioactive isotopes Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ play the most important role in the biotic cycle among the larger quantity of the radioactive matters formed as a result of nucleus division. The periods of their half disintegration are accordingly 28 and 30 years. Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ are soluble in the water. They can participate in the food chain of men.

The pollution of the Semipalatinsk test site's territory is not even. It has the character either extent "tracks" as a result of the air and over ground explosions or stains which differ by the square and the layer of pollution. The regional background of Cs¹³⁷ is little bit higher in the area of test site than the average global background on the territory of Kazakhstan.

On the basis of the gamma spectrometric analysis of "plant-soil" pair samples we received the data of the Cs¹³⁷ radionuclide's factors of transition out of soils into the over ground part of plants for two dominant species of halophytic ecosystems: *Halocnemum strobilaceum* and *Halimione verrucifera*.

The halophytic ecosystems on the territory of the Semipalatinsk test site are situated on the rounded depressions of the inter hill plains and slopes of the solonchakous depressions. The soil building breeds are deluvial proluvial sediments. They form themselves in conditions of additional moistening because of slope runoff of the thaw breeder mineralize ground waters. The communities of *Halimione verrucifera* + *Halocnemum strobilaceum* are typical for these habitats. The mechanical structure of the meadow solonchaks is sandy loamy and loamy. The content of organic materials is insignificant 2,0-2,4%. The capacity of the humus horizon does not exceed 36-40 cm. The total project cover percentage of this community is varying from 30 to 80%. The soil surface cover does not exceed 5-15%. The depth of penetration of the plants roots reaches 90-95 cm. The main mass of the roots is situated in the soil layer 0-25(30) cm.

Cs¹³⁷ is the main technogenic pollutant of the halophytic ecosystems. The power of the equivalent dose does not exceed 30-50 μ R/Hr. The specific activity of Cs¹³⁷ in the soil layer 0-10 cm reaches 2 828 Bk/kg. In the over ground part of *Halocnemum strobilaceum* it is being accumulated up to 536 Bk/kg, for *Halimione verrucifera* – 112-113 Bk/kg. The coefficients of accumulation of Cs¹³⁷ in these plants are 0,036-0,145 and 0,030-0,049 accordingly.

The insignificant coefficients of Cs¹³⁷ accumulation in the dominant species communities of the halophyte ecosystems are conditioned by the following factors:

- 1) additional moistening of soils because of rain and melted snow waters in the depression elements of the relief does not make the significant redistribution of radionuclides in the soil profile;
- 2) the main physical and chemical characteristics of the solonchaks does not make the noticeable influence on the intensity of the radionuclides migration. The content of humus does not exceed 2,0-2,4% , the solution's pH is 7,6-8,6. The loam and heavy loam diversity is prevailing in the mechanical soil composition.

THE MIGRATION OF Cs¹³⁷ IN THE “SOIL-PLANT” SYSTEM IN THE ZONAL BIOGEOCOENOSES OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

R.P. Plisak¹, V.V. Polevik², S.V. Plisak¹

¹ The institute of botany and phytointroduction of Ministry of education and science of the Republic of Kazakhstan, Almaty
e-mail: plisak@mail.ru

² The Semipalatinsk state pedagogical institute, the Republic of Kazakhstan, Semey
e-mail: irina670767@mail.ru

The ability of the plants to accumulate radionuclides is not used enough for practical goals: for the purification of the polluted territories of radioactive products of division. It is being done through the alienation of the over ground plant's part and its following burning up and utilization.

On the basis of the gamma spectrometric analysis of “plant – soil” pair samples we received the figures of the Cs¹³⁷ radionuclide's factors of transition out of soils into the over ground part of plants for two dominant species of zonal biogeocoenose.

Zonal biogeocoenoses are situated on the larger part of the Semipalatinsk test site's territory. The factor of transition of Cs¹³⁷ from soils into plants was researched in communities of *Stipa sareptana* + *Festuca valesiaca* + *Artemisia marschalliana* + *A. sublessingiana*. It is being formed on the light chestnut normal sandy loam (rarely – loamy sand) soils, which are gently sloping or flat inter hill plains of the test plot “Experimental field”. The polluted by Cs¹³⁷ zone takes the square about 10-12 km², that is 3% of the total square of that test plot. The soil forming breeds are deluvial-proluvial sandy-skeleton deposits. The soils are being formed in the disadvantageous hydro thermic conditions. The water regime type is non-washed. The typical humus horizon capacity for these soils is not large (up to 27 cm). During the deactivation works the top layer of soils was partly deleted. The humus content does not exceed 2,5%. The income of organic substances is insignificant. The reaction of the water suspensions of higher horizons is weak alkaline (pH 7.1-7.6) and is growing to alkaline towards the lower layers. The loamy varieties of the chestnut soils are being characterized with the not higher capacity of absorption (12-22 mg/equiv. on 100 mg). The cations of calcium and magnesium are dominating in the water extract. The quality of the gross potassium around the whole profile does not exceed 2%.

Sagebrush-cespitose community is formed by firm-bunch grasses perennial xerophytes *Stipa sareptana* and *Festuca valesiaca* and xerophyte dwarf semishrubs *Artemisia sublessingiana* and *A. marshalliana*. The project plant cover of soils varies from 50% to 70%, over ground cover – from 5% to 15%. The depth of penetration of plant's roots reaches 70-100 cm. The main mass of roots (142,8-152,0 g/m²) is situated in the layer of 0-28(30) cm. The power of the equivalent doze of gamma radiation reaches 150-170 μR/Hr. Specific activity of Cs¹³⁷ in the layer of soil 0-12 cm is 568 Bk/kg., in the layer 0-13 cm – 1 037 Bk/kg.

Stipa sareptana accumulates up to 30-57 Bk/kg of Cs¹³⁷ in its over ground part. *Artemisia sublessingiana* accumulates up to 35-56 Bk/kg of Cs¹³⁷ in its over ground part. The coefficient of the accumulation of Cs¹³⁷ by these dominant plant species is equal 0,029-0,1 and 0,023-0,05 accordingly. These plants are the hypoaccumulators of Cs¹³⁷.

In the zonal ecosystems the figure of transition factor of Cs¹³⁷ from soils into roots and over ground part of plants is significantly limited by the higher deficit of moisture, the non-washed type of water regime, lower content of humus.

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ГРУНТА ЗОНЫ НАВАЛА «АТОМНОГО» ОЗЕРА НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Раимканова А.М., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

В результате проведения экскавационного взрыва на площадке «Балапан» Семипалатинского испытательного полигона (СИП) было образовано «Атомное» озеро. Зона навала грунта вокруг «Атомного» озера является потенциальным источником радионуклидного загрязнения других объектов окружающей среды. В непосредственной близости с «Атомным» озером протекает р. Шаган, являющаяся левобережным притоком р. Иртыш, следовательно, не исключается вероятность попадания техногенных радионуклидов в данные объекты. Целью настоящей работы являлось исследование возможности перехода техногенных радионуклидов из грунта в природные воды путем выщелачивания. Основные задачи исследований состояли в определении степени выщелачивания радионуклидов и изучении факторов, влияющих на данный процесс (зависимость степени выщелачивания от времени контакта фаз и от гранулометрического состава почвы).

Объектом исследований являлся грунт из зоны навала «Атомного» озера, отобранный на расстоянии 50 и 100 м от береговой линии. Содержание техногенных радионуклидов в данных точках отличается на порядок. После отбора проб, было проведено его разделение по гранулометрическим фракциям, в каждой фракции определено начальное содержание техногенных радионуклидов. Эксперименты по выщелачиванию проводились в статических условиях. В качестве выщелачивающего раствора использовалась дистиллированная вода. Суть эксперимента заключалась в следующем: грунт приводился в контакт с выщелачивающим раствором, пробы периодически перемешивались (2 раза в сутки), полученная таким образом водная вытяжка выделялась фильтрацией. Для того чтобы выявить динамику выщелачивания радионуклидов отбор образцов водных вытяжек проводился через разные интервалы времени, начиная с 1 ч и заканчивая 105 сутками. В водных вытяжках определялось содержание техногенных радионуклидов, и на основании полученных данных оценивалась степень выщелачивания радионуклидов из грунта.

В результате проведенных исследований выявлена линейная зависимость перехода ${}^3\text{H}$ и ${}^{90}\text{Sr}$ от времени контакта фаз. Концентрации исследуемых радионуклидов в растворе увеличиваются с течением времени. Для плутония наблюдается иная картина: в течение первых 4 суток взаимодействия грунта с водой концентрация ${}^{239+240}\text{Pu}$ в водных вытяжках увеличивается до активности 0,05 Бк/л, затем начинает постепенно падать и на 96 сутки находится ниже предела обнаружения используемой методики. Предполагается, что такое поведение ${}^{239+240}\text{Pu}$ обусловлено протеканием двух конкурирующих процессов: 1) выщелачивание и 2) осаждение за счет коллоидообразования или сорбции на поверхности почвы. Содержание гамма-излучающих радионуклидов (${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{152,154}\text{Eu}$) в растворе находилось ниже предела обнаружения используемой методики. Таким образом, изучение процесса выщелачивания подтвердило предположение о возможном переходе радионуклидов из грунта зоны навала «Атомного» озера в воду.

КОНЦЕПЦИЯ ДОЗИМЕТРА НА БАЗЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ

Садыгов А.^{1,2}, Ахмедов Ф.^{1,2}, Ахмедов Г.¹, Садыгов З.^{1,3}, Гарибов А.^{1,2},
Мадатов Р.², Самедов О.², Сулейманов С.¹, Нагиев Д.^{1,2}, Акберов Р.¹

¹ Национальный Центр Ядерных Исследований, г. Баку, Азербайджан

² Институт Радиационных Проблем НАН, г. Баку, Азербайджан

³ Объединенный Институт Ядерных Исследований, г. Дубна, Россия

Современные детекторы ионизированных излучений в основном создаются на базе фотоэлектронных умножителей ФЭУ, которые имеют следующие недостатки:

- Высокое рабочее напряжение: 700-1200 В.
- Габариты: диаметр 2-4 см, длина 10 см.
- Низкая квантовая эффективность: 20%.
- Чувствительность к вибрациям и магнитным полям.

Недостатки ФЭУ являются причинами замены нынешних детекторов ионизирующих излучений на представленные нами микро пиксельные лавинные фотодиоды (МЛФД).

Наши разработки последнего десятилетия в области лавинных фотодиодов дает возможность в широкой области применения МЛФД [1], в том числе и в дозиметрии. На сегодняшний день распространены 3 конструкции фотодиодов:

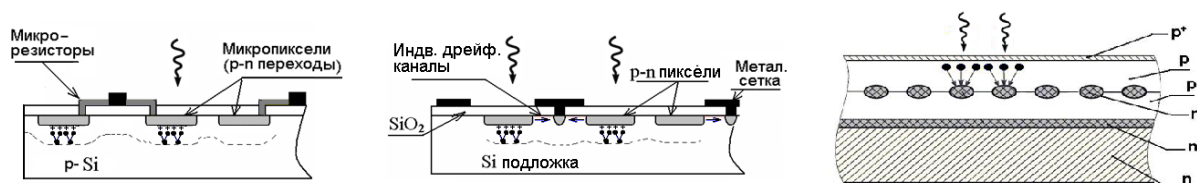


Рис. 1. Схематические изображения конструкций МЛФД

На рисунке 1 показан первый работающий образец Металл-Резистор-Полупроводник (MRS), а также МЛФД с индивидуальным дрейфовым каналом и МЛФД с глубинными микро каналами соответственно [2, 3]. Разработанные лавинные диоды превосходят свои аналоги ФЭУ по следующим параметрам:

- **Низкое рабочее напряжение:** позволяет увеличить время эксплуатации прибора в рабочем режиме и уменьшить дополнительные затраты электроэнергии на компоненты дозиметра.
- **Компактность:** увеличивает мобильное использования прибора и спектр его применения.
- **Высокое PDE (photo detection efficiency 30-35%):** геометрический фактор чувствительной поверхности является 100%, также большое количество регистрируемых фотонов за счет высокой плотности пикселей 15000-40000 pix/mm².
- **Высокое усиление прибора:** 10⁶.
- **Нечувствительность к вибрациям:** позволяет использовать прибор в полевых условиях.
- **Нечувствительность к магнитным полям:** позволяет его использовать рядом с такими установками как магниторезонансный томограф и больших адронных калориметрах.

Данные ключевые параметры диода позволяют создать дозиметр нового поколения [4, 5]. Были проведены ряд испытаний и экспериментов с МЛФД и выбранным скintиллятором LSO. Экспериментальная установка состоит из МЛФД и присоединенному к нему с помощью конуса Винстона скintиллятора LSO как показано на рисунке 2 А. На МЛФД подано питание в 94 В, к выходу присоединен усилитель сигнала. Преобразователь конвертирует сигнал в бинарный код, который впоследствии анализируется специально написанным программным обеспечением [6]. Данные преобразуются и отображаются в виде спектра (рисунок 2 В).

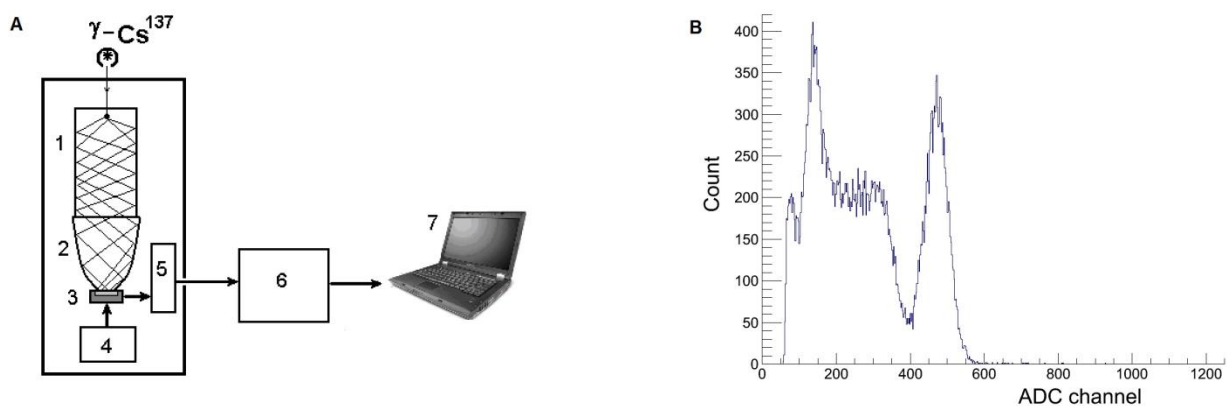


Рисунок 2. А – Экспериментальная установка гамма дозиметра-радиометра.
 1 - сцинтиллятор, 2 - конус Винстона, 3 - МЛФД, 4 - источник питания,
 5 - прямолинейный усилитель, 6 - аналого-цифровой преобразователь,
 7 – компьютер. В – Спектр Cs^{137}

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики.

Литература:

1. Alpha particle detector based on micro pixel avalanche photodiodes – *Functional Materials* 20 No3 (2013).
2. Patent No.: RU 2528107.
3. Technology of manufacturing micropixel avalanche photodiodes and a compact matrix on their basis – *ISSN 1547-4771, Physics of Particles and Nuclei Letters* 2013.
4. New alpha particle counter based on micro pixel avalanche photodiodes – *Journal of Radiation Researches*, vol. 1, No1, 2014.
5. Development of compact radiation detectors based on mapd photodiodes with lutetium fine silicate and stilbene scintillators – *Journal of Instrumentation Volume 10 February* 2015.
6. Alpha particle detector based on micropixel avalanche photodiodes – *ISSN 1547-4771, Physics of Particles and Nuclei Letters* 2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТРИТИЯ (^3H) В ГРУНТАХ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (СИП)

Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Результатом деятельности СИП стало радиоактивное загрязнение объектов окружающей среды. Одним из самых распространенных техногенных радионуклидов на СИП является ^3H . Концентрации ^3H как в воде, так и в грунте могут достигать нескольких сотен тысяч Бк/кг. Несмотря на это, формы нахождения данного радионуклида в грунте практически не изучены. Водород в грунте может содержаться в виде свободной воды, в органически связанной и прочносвязанной форме. Так как формы нахождения ^3H в грунте – основной параметр, характеризующий его миграцию, целью данной работы является определение форм нахождения ^3H в грунтах различных участков территории СИП, отличающихся друг от друга рельефными, почвенно-климатическими, экологическими условиями.

Для проведения исследований выбраны образцы грунта, отобранные на различных радиационно-опасных объектах СИП: воронка «Атомного» озера, образовавшееся в результате экскавационного взрыва, р. Шаган, характеризующаяся подтоком загрязненных грунтовых вод и внешнее водохранилище «Атомного» озера. Методика исследований заключалась в поэтапном извлечении каждой из форм ^3H : поверхностно-адсорбированной воды, межслоевой воды, кристаллизационной воды, органически связанного ^3H и прочносвязанного ^3H . Определение форм нахождения ^3H , содержащихся в виде свободной воды, проводилось методом дистилляции при различных температурах. Связанные формы ^3H определялись методом автоклавного разложения с вариациями физико-химических условий. В результате экспериментальных работ в полученных образцах проведено определение содержания ^3H методом жидкосцинтилляционной β -спектрометрии.

В результате установлено, что формы нахождения ^3H в грунтах радиационно-опасных объектов СИП имеют существенное различие в зависимости от источника поступления. В грунтах, отобранных в районе р. Шаган, в большей части преобладает форма ^3H в виде поверхностно-адсорбированной воды (93-99%). В северо-восточной части «Атомного» озера в преобладающем большинстве находится органически связанный ^3H и ^3H в кристаллизационной воде (суммарно 81-85%), когда в противоположном направлении, в юго-западной части, преобладают поверхностно-адсорбированная (38-41%) вода и прочносвязанный ^3H (34-45%). В грунтах, отобранных по периметру водохранилища, из форм нахождения ^3H в основном находится органически связанный ^3H (55-94%).

При рассмотрении влияния источников поступления ^3H на формы нахождения можно заметить, что формы, содержащиеся в виде свободной воды, зафиксированы в местах существования подтока загрязненных грунтовых вод, а связанные формы ^3H – в местах проведения взрывов.

ОЦЕНКА ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Торопов А.С., Лукашенко С.Н.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Прогнозирование развития радиационной обстановки вблизи Семипалатинского испытательного полигона (СИП) всегда будет источником внимания мировой общественности. Важной задачей является изучение подвижности трансурановых радионуклидов в водных объектах, в особенности их перемещение с поверхностными и подземными водами, что может повлечь за собой распространение загрязнения за территорию СИП. При этом форма нахождения радионуклида определяет его степень его токсичности в отношении живых организмов.

В частности, для $^{239+240}\text{Pu}$, к настоящему времени, имеются лишь немногочисленные и разрозненные сведения по их содержанию и распределению, формам их нахождения в объектах окружающей среды. Так максимальная концентрация $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностных водах горного массива Дегелен находится на уровне 10 Бк/кг [1]. Также известно, что плутоний имеет сложное химическое поведение в природных водах, склонен к гидролизу, коагуляции, комплексообразованию с органическими и минеральными лигандами, коллоидообразованию, изменению степени окисления, и соответственно, изменению формы нахождения в результате незначительных колебаний состава воды, что и определяет актуальность данного исследования.

Целью данной работы было проведение экспериментальных исследований по определению форм нахождения изотопов плутония-(239+240) в поверхностных водах СИП.

Объектами исследования были водотоки припортальных участков штолен 176, 177, 503, 504, 511, ручей Карабулак (площадка Дегелен) и воды с поверхности Атомного озера (площадка Балапан) территории СИП.

Методом каскадной фильтрации были выделены следующие формы нахождения плутония в природных водах: связанные со «взвешенным веществом» – фракциями крупнее 5 мкм, «коллоидными веществами» – от 5 до 0,2 мкм, «растворимые формы» – мельче 0,2 мкм. Данная градация не является общепринятой, границы тех или иных форм существования и миграции элементов являются условными и степень детальности их выделения устанавливается исходя из имеющихся инструментальных возможностей и целей исследования.

Установлено, что активность плутония в природных водах колебалась в широких пределах – от $n \cdot 10^{-2}$ до $n \cdot 10^0$ Бк/л. Максимальное содержание изотопов плутония в природных водах СИП установлено на уровне 8,1 Бк/л (сумма всех форм нахождения), в том числе растворимых форм – 5,9 Бк/л, что более чем на порядок превышает уровень вмешательства, установленный СЭТОРБ-2012 [2]. В остальных водоисточниках превышений уровня вмешательства зафиксировано не было.

Распределение форм нахождения плутония носит неоднозначный характер. Отмечено, что данный радионуклид присутствует в водах во всех изучаемых формах. В зависимости от водоисточника, доля взвешенных форм колеблется от 20 до 60%, форм существования плутония, ассоциированных с коллоидными веществами – от 14 до 67%, растворенных форм – от 13 до 59%. Зависимости распределения форм нахождения от общего содержания плутония не установлено.

Существенная доля коллоидных форм изотопов плутония в изученных водных объектах представляет собой особый интерес с точки зрения прогноза распространения загрязнения механизмом «коллоидного» переноса, сильно зависящего от индивидуальных параметров водных объектов.

Исследование выполнено в рамках целевой программы 0122/ПЦФ-14 МОН РК (дог. №561 от 07.04.2015 г.).

Литература:

1. Aidarkhanov, A.O. Mechanisms for surface contamination of soils and bottom sediments in the Shagan River zone within former Semipalatinsk Nuclear Test Site / A.O. Aidarkhanov, S.N. Lukashenko, O.N. Lyakhova, et.al // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. - Vol. 124. - P. 163-170.
2. Санитарные правила “Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности”, утв. Постановлением Правительства РК № 202 от 03.02.2012 г.

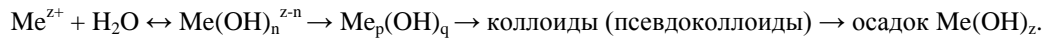
ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ АНИОНОВ НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОЧИСТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

Торопова В.В., Вороник Н.И., Давыдов Д.Ю., Радкевич А.В.

*ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»
Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: valen.toropova@mail.ru*

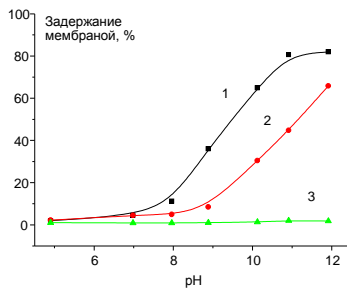
В результате эксплуатации атомных электростанций, деятельности предприятий по производству радиоактивных препаратов и других радиационно-опасных объектов образуется значительное количество жидких радиоактивных сред (ЖРС), содержащих, в том числе и различные комплексообразующие и поверхностно-активные вещества. Эффективность процессов и технологий переработки ЖРС, основанных на разделении фаз (ионный обмен, сорбция, миграция, центрифугирование, ультрафильтрация, осмос и т.д.) зависит от гидролитического поведения радионуклидов в водных растворах в зависимости от состава раствора. Современное состояние исследований и разработок в этом направлении показывает, что комбинация различных процессов в одной технологической цепочке переработки ЖРС может обеспечить как получение высокой эффективности очистки, так и значительное уменьшения объема отходов.

Состояние радионуклидов Co(II), Mn(II), Cd(II), Fe(III), Cr(III), Th(IV) и др. в растворах, содержащих анионы различной природы, было исследовано с использованием целого ряда физико-химических методов. Полученные данные показывают, что анионы, образующие слабые комплексы с катионами металлов не оказывают заметного воздействия на гидролитическую полимеризацию этих катионов в растворе:

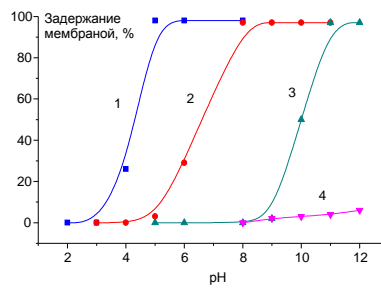


С ростом pH происходит образование различных гидроксоформ металл-ионов в растворе, а увеличение ионной силы раствора за счет увеличения концентрации солей этих анионов приводит к увеличению концентрации полиядерных гидроксокомплексов в растворе.

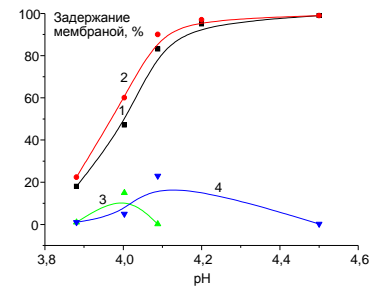
Присутствие в растворе сильных комплексообразующих анионов (цитрат, оксалат, ЭДТА и т.п.) оказывает значительное влияние на процессы гидролиза, сорбции и соосаждения металл-ионов. Полученные данные показывают, что при введении комплексообразующих анионов в раствор они связывают радионуклиды в устойчивые комплексы, которые не сорбируются ни коллоидными частицами, ни сорбентами различной природы и не задерживаются мембраной, проницаемой для ионов. С увеличением концентрации аниона область pH образования гидроксокомплексов и псевдоколлоидов смещается в область более высоких pH.



а) Co(II): 1 – без комплексона; [оксалат-анион], М: $2 \cdot 10^{-4}$; [ЭДТА], М: $3 \cdot 10^{-4}$



б) Fe(III): 1 – без комплексона; [оксалат-анион], М: $2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}$; $3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$; 4 – $2,5 \cdot 10^{-1}$



в) Th(IV): 1, 2 – без комплексона; [Th(IV)], М: $5 \cdot 10^{-4}$ (1, 3); $1 \cdot 10^{-3}$ (2, 4) [ЭДТА], М: $5 \cdot 10^{-4}$ (3); $1 \cdot 10^{-3}$ (4)

Рис. Влияние комплексообразующих анионов на задержание радионуклидов полупроницаемой мембраной

Экспериментально показано, что присутствие комплексообразующих анионов в растворе сдвигает начало соосаждения некоторых радионуклидов (^{60}Co , ^{54}Mn , ^{109}Cd) с Fe(III) в область более высоких значений pH и концентраций Fe(III). Это можно объяснить замещением OH⁻-иона в координационной сфере катионов металлов на анион комплексообразователя.

Показано также, что образование устойчивых комплексов в растворах позволяет целенаправленно использовать изменение гидролитических равновесий для селективного разделения радионуклидов как методами ионного обмена и сорбции, так и мембранными. Оказалось, что сорбционная способность Fe(OH)²⁺ и Cr(OH)²⁺ выше, чем Fe³⁺ и Cr³⁺-катионов.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФО-АНАТОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

Янкаускас А.Б.¹, Ларионова Н.В.¹, Лукашенко С.Н.¹, Насыров Ф.С.²

¹ Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

² Государственный университет им. Шакарима, г. Семей, Казахстан

Традиционно к Семипалатинскому испытательному полигону относятся только как к источнику радиационной опасности, склоняясь к объяснениям всех обнаруживаемых феноменов влиянием радиации. Недостаточно изучено и осознано возможное влияние других факторов, в частности “тяжёлых” металлов, о существовании которых говорят не так давно полученные экспериментальные данные и факт наличия месторождений различных полезных ископаемых на территории полигона. Растительные организмы являются важной составляющей любого биогеоценоза. Участвуя в круговороте веществ в природе, они способны депонировать радиоактивные и токсические вещества, стремясь приспособиться к неблагоприятным условиям среды, включая хроническое излучение и повышенное содержание некоторых токсических элементов в почве, воде и воздухе, что может сказаться на покровных, ассимилирующих и проводящих тканях растения.

Исследования проводились на территории СИП с целью выявления последствий воздействия радионуклидов и элементов на морфо-анатомические параметры вейника наземного (*Calamagrostis epigëjos*). Исследуемые параметры листа: толщина верхней и нижней эпидермы, толщина мезофилла, площадь проводящих пучков; исследуемые параметры стебля: диаметр, толщина эпидермы, склеренхимы, площадь проводящих пучков, расположенных в паренхиме.

Были определены удельные активности радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr в растениях. Аномально высокие значения удельной активности установлены для радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . Именно эти радионуклиды составили наибольшую мощность дозы облучения 8-30 мкГр/ч, что обусловило дозу облучения за время жизни растения в диапазоне от 20 до 140 мГр. Полученные значения доз оказались недостаточны для проявления эффектов на морфо-анатомическом уровне листьев и стеблей в исследуемых образцах.

В ходе исследований определены содержания элементов в растениях: Al, Li, Be, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Cd, La, Ce, Nd, Sm, Gd, U, Pb. Наиболее выражены изменения толщины мезофилла листа при увеличении концентраций в растениях элементов Pb, Sr, Ni Rb. Увеличение толщины мезофилла листа от 100 мкм до 220 мкм отмечается при повышении содержания Pb, Sr, Ni, уменьшение – при увеличении Rb. Изменение площади проводящего пучка листа наблюдается при повышенных концентрациях Al и Fe. Изменение толщины эпидермы стебля отмечаются при повышении содержания Cd, Cu, Be, Cr, Ni и Pb. Увеличение толщины эпидермы стебля от 8 до 16,4 мкм наблюдается при увеличении содержания Be от 1,9 до 7,4 мкг/г. При увеличении содержания остальных элементов наблюдается уменьшение данного параметра.

Таким образом, в зоне воздействия радионуклидов и элементов установлены изменения параметров отдельных тканей растения на анатомическом уровне. Согласно установленным корреляционным значениям, влияние токсических элементов на растения прослеживается чаще, чем радионуклидов. Наиболее подвержены воздействию токсических элементов такие показатели растений как мезофилл листа и эпидерма стебля. В большинстве случаев при повышении содержания в растениях токсических элементов наблюдается уменьшение исследуемых анатомических параметров. Изменений на морфологическом уровне не обнаружено.

ВАРИАТИВНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Кожаханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Проведение масштабных работ по передаче части земель бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в хозяйственный оборот, обуславливает необходимость проведения исследований, по изучению особенностей накопления искусственных радионуклидов, в различных объектах окружающей среды (почва, вода, растения и животные). В этой связи актуальными являются исследования особенностей перехода и накопления радионуклидов в растениеводческую продукцию, которая может быть получена на территории СИП.

Основной целью работы стало изучение особенностей накопления искусственных радионуклидов сельскохозяйственными культурами в зависимости от фактора, влияющего на поведение радионуклида в системе «почва-растение» при их выращивании на территории СИП.

Местом проведения натурных исследований с с/х культурами стала территория Семипалатинского испытательного полигона (СИП), где проводились наземные ядерные испытания, с высоким радионуклидным загрязнением. Содержание радионуклидов в почве (0-5 см) составило: ^{241}Am – $n \cdot 10^4$ Бк/кг, ^{137}Cs – $n \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{90}Sr – $n \cdot 10^3$ Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – $n \cdot 10^5$ Бк/кг.

По результатам проведенной работы было установлено, что накопление исследованных радионуклидов при одинаковых почвенно-климатических условиях в отдельные годы (2010 г. и 2011 г.) изменяется незначительно, так как разность данных Кн для ^{137}Cs составила 0,9 (среднее геометрическое для всех растений), а по ^{241}Am – 1,8.

Выявлено, что внесение различных видов удобрений и объема внесения удобрений в почву приводит к изменению степени накопления ^{137}Cs растениями. Так, например, при внесении с/х нормы азотных и фосфорных удобрений в надземной части томата, арбуза и подсолнечника увеличения или уменьшения коэффициента накопления ^{137}Cs по сравнению с контрольной точкой (без внесения удобрений) не наблюдается, а вот при калийных удобрениях Кн ^{137}Cs может превышать Кн ^{137}Cs контроля до 2-х раз. Следует отметить, тот факт, что при внесении 50% от с/х нормы внесения удобрения были получены Кн ^{137}Cs превышающие Кн ^{137}Cs контроля (без внесения удобрений) в среднем 2-7 раз у арбуза и томата в надземной части и до 2,8 раз у подсолнечника в корнях. Для ^{241}Am установить определенные связи процесса накопления с видом и дозой внесения удобрений не представилось возможным, в силу того, что в большинстве случаев по ^{241}Am были получены ориентировочные данные содержания радионуклида в растительных пробах (ниже предела чувствительности измерительной аппаратуры).

Установлено, что для пшеницы Кн ^{241}Am и Кн ^{137}Cs на разных стадиях развития может изменяться как в большую, так и в меньшую сторону. Так, Кн ^{137}Cs для пшеницы в фазе кущение, колошение и молочная спелость составили 0,15-0,023 в корнях и 0,0031- 0,017 в надземной части, а Кн ^{241}Am в корнях 0,074-0,12 и 0,009-0,042 в надземной части. Максимальное накопление ^{137}Cs связано с фазой кущение, а ^{241}Am с фазой колошение (для надземной части) и фазой молочная спелость (для корней).

Полученные данные для 5 видов показали, что Кн может отличаться и варьировать в больших пределах не только между растениями разных видов, но и в пределах одного вида, что может указывать на различное накопление радионуклидов отдельными особями одного вида, т.е. на биологические особенности индивида. Так для Кн ^{137}Cs и ^{90}Sr разница в накоплении между растениями одного вида может достигать в среднем 2-4 раза в надземной части и не более 1 порядка в корнях, а вот диапазон значений Кн для растений одного вида по ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ гораздо больше и разница значений может достигать 2 порядка.

Т.о. установлено, что Кн ^{137}Cs и ^{90}Sr более стабильные величины, которые изменяются в небольших пределах для растений в целом, а вот Кн ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ варьирует в значительных пределах, что указывает на более сложный характер процесса накопления трансурановых радионуклидов растениями.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВОЛН В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЗРЫВЕ

Хайдаров Р.Н.

Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт, Узбекистан

Рассматривается задача о распространении волн в полупространстве при подземном взрыве, когда напряжения, действующие на поверхность, равны нулю.

При решении поставленной задачи используется метод неполного разделения переменных в сочетании с методом характеристик.

В [1] приведены результаты анализа многочисленных экспериментов, которые дают возможность определить границу упругой зоны и закон изменения давления на эту границу с течением времени.

Эти данные позволяют, используя метод сферических волн, найти все параметры волн в неограниченной упругой среде, распространяющихся от поверхности полости радиуса R_0 , разделяя при этом напряжения $\sigma_{zz} = (z, t); \tau_{z,t} = \psi(z, t)$ на поверхности $z=0$ и накладывая на решение о распространении сферических волн решение о распространении волн в полупространстве, вызываемых приложенными к его поверхности напряжениями (отраженная волна) $\sigma_{zz} = (z, t); \tau_{z,t} = \psi(z, t)$, при $z=0$ получаем решение, позволяющее определить все интересные параметры при подземном взрыве вблизи свободной поверхности.

В работе / I / авторы дают анализ интересных параметров вблизи свободной поверхности, используя для оценки отраженного решения метод плоских волн.

Здесь параметры отраженных волн получают, основываясь на численном решении динамических уравнений упругости.

Литература:

1. Мерфи Ди. Р. Расчет вступления волн сжатия от подземных ядерных взрывов. Подводные и подземные взрывы. Издательство «Мир», 1974 г.

Секция 4
ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ В МЕДИЦИНЕ
И ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Section 4
NUCLEAR AND RADIATION
METHODS IN MEDICINE
AND INDUSTRY

ПЯТЬ ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕНЕРАТОРА ^{99m}Tc ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тажединов И.Т., Аманкулов Ж.М., Жунусов К.Т.

Казахский НИИ онкологии и радиологии, г. Алматы, Казахстан

Переносной генератор ^{99m}Tc , производства Института Ядерной Физики (ИЯФ), успешно прошел экспериментальные (2007 г.) и все фазы (1-2 – 2008 г., 3 – 2009 г.) клинических испытаний в Казахском НИИ онкологии и радиологии (КазНИИОиР) г. Алматы. В последней фазе клинического испытания участвовал Центр ядерной медицины (ЦЯМ) Республиканского диагностического центра (РДЦ) г. Астана. В настоящее время генератор ^{99m}Tc выпуска ИЯФ, под коммерческим названием «Гель-генератор ^{99m}Tc переносной», с 2010 года получают КазНИИОиР и ЦЯМ РДЦ, а с 2013 г. ЦЯМ Регионального онкологического диспансера г. Семей. Для того, чтобы сполна использовать производственную мощность отечественного генератора и охватить всех нуждающихся в радионуклидных исследованиях в ближайшие годы, лаборатории радионуклидной диагностики (ЛРНД) должны функционировать во всех городах Республики, а в крупных городах – несколько лабораторий.

За 5 лет с 2010 по 2014 гг. всего обследовано 4593 пациентов с использованием 23 генераторов. В первый день эксплуатации выход активности в зависимости от мощности генератора составляет от 14 до 26 Гбк. В эксплуатации «Гель-генератора ^{99m}Tc переносного» каких либо сбоев не замечено. Из года в год увеличивалось число обследованных пациентов – с 497 возросло до 1501 обследованных. Число обследованных на один генератор также повысилось – со 165 до 250. С целью повышения эффективности использования генератора в течение срока эксплуатации генератора, работа велась и в выходные – субботу и воскресенье, когда выход радиоактивности еще высок. По видам исследования преобладает сцинтиграфия скелета – 4132 пациентов, что составляет 90% из всех обследованных. Остальные 10% составили сцинтиграфия щитовидной железы 351, динамическая сцинтиграфия почек 84, статическая сцинтиграфия печени и селезенки у 26 больных.

С 2001 года в ИЯФ была основана технология стационарного генератора с централизованной поставкой готового «Натрия пертехнетат- ^{99m}Tc » в медицинские учреждения г. Алматы. Для сравнения приведем радионуклидные исследования за 2007-2009 года с использованием «Натрия пертехнетат- ^{99m}Tc », из стационарного генератора проведено: сцинтиграфия скелета – 243, щитовидной железы – 197, почек – 43, печени – 6 пациентам. Стационарный генератор находился в ИЯФ, $T_{1/2}$ готового ^{99m}Tc всего 6 часов, что позволяло развезти его только по ЛРНД г. Алматы. Переносной генератор повышает эффективность охвата нуждающихся в радионуклидном исследовании, и в то же время требует организации, направленной на эффективное использование в период эксплуатации генератора. Самым главным преимуществом переносного генератора перед стационарным, является возможность поставки его в другие города Республики. Если учесть, что из всех процедур радионуклидных исследований 70-75% проводятся с ^{99m}Tc и мечеными им радиофармацевтическими препаратами (РФП), трудно переоценить важность освоения технологии переносного генератора и поставку производства его на промышленную основу.

В мировой практике разработка технологии и эксплуатация генератора ^{99m}Tc доведена до совершенства. В ЛРНД КазНИИОиР имеется опыт испытания и эксплуатации генераторов ^{113m}In и ^{99m}Tc производства СССР. Пять лет эксплуатации генератора ^{99m}Tc – «Гель-генератор ^{99m}Tc переносной» показал его высокие эксплуатационные качества. Сопроводительные документы, кроме финансовых, содержат сертификат качества, руководство на казахском и русском языках, практически можно легко воспроизводить все манипуляции, связанные с эксплуатацией генератора. Монтаж и демонтаж не вызывают особых затруднений. В наборе имеется достаточное количество флаконов с 10 мл стерильным физиологическим раствором и вакуумированными флаконами на 20 мл. По конструкции и мощности генератор «Гель-генератор ^{99m}Tc переносной» не уступает зарубежным аналогам.

В силу специфики все радионуклиды с «рождения» начинают распадаться со скоростью соответственно периоду их полураспада. Генератор ^{99m}Tc – не исключение. Чтобы минимизировать неизбежные потери, необходимо снизить срок доставки генератора из Алматы в другие города Республики. Только тогда генератор отечественного производства будет конкурентоспособным с зарубежными аналогами. А последние уже готовы внедриться в ядерную медицину Республики. В поддержку отечественного производителя необходимо решить на правительственном уровне вопрос перевозки отечественного генератора по внутренним авиалиниям.

«Гель-генератор ^{99m}Tc переносной» достаточно укомплектован, прост в эксплуатации, с высоким выходом «Натрия пертехнетат- ^{99m}Tc , раствор для инъекций» и по всем другим параметрам не уступает зарубежным аналогам. Чтобы сполна использовать производственные мощности отечественного генератора и охватить всех нуждающихся в радионуклидных исследованиях, ЛРНД должны функционировать во всех городах Республики, а в крупных городах – даже несколько лабораторий.

СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ РИСА И ЯЧМЕНЯ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Бакирулы К.¹, Тохетова Л.А.¹, Ершин З.Р.², Касымжанов М.Т.²

¹ ТОО «Казахский научно-исследовательский институт рисоводства им. И.Жахаева»,
г. Кызылорда, Республика Казахстан

² АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, Республика Казахстан

Решающее значение в преодолении сортовой унификации и сохранения генетического разнообразия имеет исходный материал, обновление которого осуществляется с широким использованием потенциала мировой коллекции, внутри- и межвидовой гибридизации, индивидуально-семейного отбора, а также индуцированного мутагенеза, который рассматривается во всем мире как источник создания принципиально новых исходных форм, что позволяет расширить возможности синтетической селекции. Целью исследований является изучение эффективности ионизирующих излучений на допущенных к использованию и перспективных сортах риса и ячменя, решению методических вопросов мутагенного воздействия их на растения риса и ячменя, а также получение перспективных мутантов этих культур, как исходного материала для селекции сортов, адаптированных к стрессовым, почвенно-климатическим условиям Казахстанского Приаралья. Для получения исходного материала для селекции риса и ячменя в виде мутантных линий с селекционно-ценными признаками, посредством обработки семян ионизирующим излучением был использован ускоритель электронов АО «Парк ядерных технологий» (г. Курчатов, РК). Радиационной обработке были подвергнуты семена четырех сортов риса и двух сортов ячменя по 500 зерен в каждом варианте. При этом энергия электронов составила 5 МэВ, средний ток пучка – 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,2 мА, скорость лучевой секции конвейера – 9 м/мин, диапазон поглощенных доз – 50±10%; 100±10%; 150±10%; 200±10% и 250±10% Гр. Контроль – необработанные семена данных сортов риса и ячменя.

Начальный этап исследований включал изучение влияния различных доз ионизирующих излучений на рост и развитие растений риса и ячменя в ранних стадиях онтогенеза (энергия прорастания, лабораторная всхожесть, высота, длина, масса ростков и корешков 10 и 15-дневных проростков) с целью определения тестового показателя наиболее эффективного мутагенного воздействия радиационной обработки.

Радиационная обработка семян сорта риса Маржан на промышленном ускорителе электронов ИЛУ-10 показала, что высокие дозы ионизирующих излучений оказали сильное воздействие на ростовые процессы растений риса. При этом действие обработки на энергию прорастания и всхожесть семян было незначительным и их показатели во всех дозах оказались на одном уровне (98,7-100%). Однако действие на длину 10 и 15-дневных проростков высоких доз обработки оказались резко отрицательными. Так, по длине 10-дневных проростков по мере увеличения поглощенных доз идет снижение длины от 3,6 см до 0,0 см, а по длине 15-дневных проростков от 5,9 см до 0,0 см, при 6,3 см и 12,4 см на контрольных вариантах. По длине 15-дневных корешков идет снижение от 6,4 см до 0,0 см, при 11,5 см на контроле. Аналогичная картина наблюдается по массе 15-дневных проростков и корешков. Следует отметить, что относительно нормальные всходы получены только в дозах облучения 0,04 и 0,08 мА, в дозе 0,12 мА ростовые процессы были сильно приторможены, а в дозах 0,16 и 0,20-всходы полностью погибли.

Интересно отметить, что у ячменя при минимальной дозе излучения 0,04 мА наблюдалось заметное снижение всхожести до 85,4 %, тогда как на других вариантах с повышенной дозой этот показатель был на уровне контроля в пределах от 91,6-94,6 %. По признакам «длина 10-ти и 15-ти дневных проростков и их сырой массе не обнаружено существенных различий между вариантами, что подтверждается значением критерия $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$. Хотя выявлена некоторая закономерность в прибавке роста 15-ти дневных проростков в сравнении с 10-ти дневными от 2,0 до 3,5 см по мере увеличения поглощенных доз (Гр). Дисперсионный анализ данных показал, что НСР для 95 %-го доверительного уровня (0,24 см и 0,002 г) по длине и массе корешков ячменя с пропорциональным снижением их значений по мере увеличения доз облучений указывает на существенные различия между вариантами опыта, которые могут служить одним из информативных (тестовых) показателей при оценке эффективных доз ионизирующего излучения.

Таким образом, анализ ростовых процессов в начальных фазах онтогенеза показал дифференцированное влияние ионизирующего излучения в разрезе культур. Так, увеличение дозы ионизирующего излучения до 0,2 мА не оказывала сильного угнетающего воздействия на семена и растения ячменя, тогда как у риса дозы облучения от 0,16 мА и выше оказались летальными концентрациями. В связи с этим, наиболее оптимальными дозами для получения нормальных всходов растений риса, где можно ожидать мутагенное воздействие являются дозы облучения 0,04 и 0,08 мА, а для ячменя в диапазоне от 0,04 до 0,2 мА.

Следующим этапом данного исследования является изучение мутагенного воздействия различных доз ионизирующих излучений на растения M_1 риса и ячменя, выращенных в полевых условиях. Местом проведения исследований является научно-производственный участок Казахского НИИ рисоводства им.И.Жахаева. Полевые опыты заложены согласно общепринятым методикам по изучению селекционного материала, фенонаблюдения и биометрический анализ будут проводиться по методикам ВИР, для определения частоты и спектра мутаций в M_1 экспериментальные данные будут обработаны с помощью методов статистического анализа и отражены в докладах предстоящей конференции.

РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-10

Кокежанова А.Д., Борисенко А.Н., Ершин З.Р., Касымжанов М.Т.

АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, Республика Казахстан

Одним из направлений применения ионизирующего излучения для нужд сельского хозяйства является обработка сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции с целью дезинсекции. В настоящее время, к сожалению, для этих целей применяют в большом количестве инсектициды, что приводит к чрезмерной химизации окружающей среды и ставит под сомнение вопрос безопасности пищевых продуктов, произведенных из сырья, обработанных химикатами. В качестве альтернативы химическому методу обработки, на базе АО «Парк ядерных технологий» были проведены исследования по намеренному заражению сельскохозяйственной продукции амбарными вредителями и обработаны на ускорителе электронов ИЛУ-10 в диапазоне доз от 0,2 до 0,8 кГр. В докладе будут приведены результаты работ по эффективности действия ионизирующего излучения на насекомых-вредителей, а также данные по испытаниям обработанной продукции на соответствие требованиям действующих нормативных правовых актов и нормативных документов в области технического регулирования Республики Казахстан.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОБЛУЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Генералова В.В., Громов А.А., Жанжора А.П.

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, г. п. Менделеево, Россия
e-mail: generalova@vniiftri.ru*

Доклад представляет собой краткий обзор современного состояния обеспечения единства измерений при проведении процессов стерилизации медицинских изделий и облучения пищевых продуктов в Российской Федерации.

В докладе приводятся сведения об утвержденном в 2014 году Государственном первичном специальном эталоне единицы мощности поглощенной дозы интенсивного фотонного, электронного и бета- излучений для радиационных технологий, ГЭТ 209-2014. Приводятся внешний вид радиационных установок входящих в состав эталона и принципиальные схемы различных типов калориметров используемых в составе эталона.

В докладе приведены сведения о стандартных образцах поглощенной дозы 5-ти типов утвержденных в качестве Государственных и Межгосударственных и используемых для измерения в различных радиационных технологиях.

Приведены сведения о разрабатываемых межгосударственных (в рамках СНГ) нормативных документах по обеспечению единства измерений при проведении процессов стерилизации медицинских изделий и облучения пищевых продуктов.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ И РАДИОХИМИЧЕСКОЕ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ PT, PD, RE, IR, AU И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КВАРЦ АДУЛЯРНЫХ ЖИЛАХ МИЛОГРАДОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, ПРИМОРЬЕ

Зиновьев В.Г., Егоров А.И., Митропольский И.А., Шуляк Г.И., Сушков П.А., Тюкавина Т.М., Окунев И.С.

*«Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
Россия, 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща
e-mail: pitzinovjev@yandex.ru*

Разработаны методики инструментального и радиохимического нейтронно-активационного определения Pt, Au, Ir, Re, Pd и редкоземельных элементов в геологических образцах, отобранных в кварц адулярных жилах Милоградовского месторождения, Дальний Восток, Приморье. В работе была использована катионообменная хроматографическая система **A400MВОН** для отделения Au, Pt и других элементов платиновой группы от Ca, Sc, Fe и других неблагородных металлов. Установлено, что катионообменная хроматографическая система **A400** в СГ-форме – 0,2 М HCl при скорости элюирования 0,5-1 мл/мин является наиболее селективной в данном случае.

Установлена зависимость коэффициентов распределения для Au, Pt, Ca, Sc, Fe от концентрации соляной кислоты.

Комбинация инструментальной и радиохимической методик нейтронно-активационного анализа позволила определить в образцах содержание 31 элемента с пределами обнаружения на уровне $n \cdot 10^{-4}$ – $n \cdot 10^{-9}$ % масс.

WAYS OF REDUCING THE ONCOLOGICAL DISEASES CAUSED BY DEPRESSIONS

R.K. Kapassova¹, B.Y. Kaliullayev², Monzavi Karbasi Aria²

¹ AEO "Nazarbayev Intellectual Schools", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
e-mail: kapassova_r@ukk.nis.edu.kz

² Kazakh National Medical University named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan
e-mail: berik_9494@mail.ru

In the nanotechnologies laboratory of Nazarbayev Intellectual School of chemistry and biology of Ust-Kamenogorsk the plant antidepressant on the base of *Hypericum perforatum* was obtained and patented by the method of wave supergrinding. The sizes of particles of antidepressant that consists of *Hypericum perforatum* and *Avena sativa* used as adsorbent of biologically active substances of *Hypericum perforatum* grass were determined on the "Nanoeducator", scanning probe microscope. This product is recommended to be used for the improving of psychological state of the population of East Kazakhstan region because the oncological diseases continue to lead in the structure of mortality of our region population that moreover was subjected by radiation.

Annually the chronic depression destroys the health of approximately 100 million of people all over the world. For example, in the USA annual economic expenses of Americans for depression including the costs for medical care and temporary disability are estimated at 44 billion of dollars. [1]. Modern psychiatry for the fighting against depressions uses synthetic antidepressants with expressed side effects. In this regard, for cancer prophylaxis and treatment of mild and moderate depression medicinal plants and preparations on their base are increasingly used. At their use side effects occur less frequently [2]. *Hypericum perforatum* L. of *Hypericaceae* family that is used in pharmacopoeias of some countries refers to such kind of plants. In these countries preparations with different biological activities are obtained on the base of it. For example, antioxidant, antibiotic, antiviral, anti-stress and antidepressant activities are marked. Types of activities mentioned above, in particular, are connected with flavonoids, sum of substances of dianthrone raw (anthracenederivatives): hypericin, pseudohypericin, protohypericin, protopseudohypericin and also with hyperforin antibiotic extracted from *Hypericum perforatum* [3]. We carried out the spectral analysis of nanostructured grass of *Hypericum perforatum* on the base of "Фитохимия" International Research and Production Holding (Karaganda city) using "Avatar 360" spectrometer (figure 1).

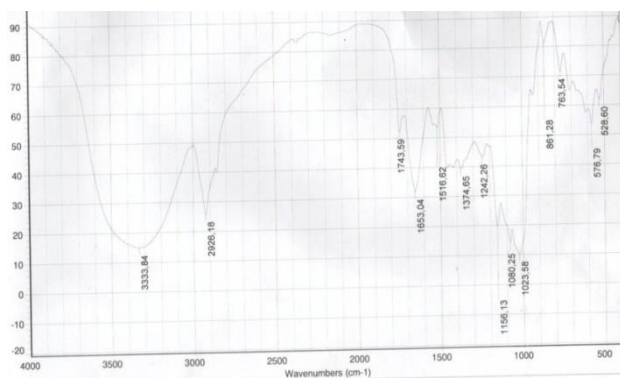


Figure 1. Spectral characteristic of *Hypericum perforatum*

Also the composition of *Hypericum perforatum* was determined (table 1).

Table 1. Composition of *Hypericum perforatum*

Component	Literature data	Data of analysis	Component	Literature data	Data of analysis
Alkaloids	?	residues	Sterols	?	residues
Anthracenederivatives	0,1-0,4%and more	0,37%	Flavonoids	2-5% and more	3,88%
Tannin substances	2,8-12,4%	4,4%	Essential oils	<0,05%	0,02%

Obtained phytoproduct is the antidepressant of mild action that relieves depressive states from mild depressive neuroses to depressive psychoses. At this it almost doesn't have any side effects (except photosensibilization that takes place in fair-skinned people). Apart from depression *Hypericum perforatum* is excellent medicine for different anxiety states, insomnia, depressed and despondent mood, oppressive and hopeless longing. It is also used at tumors of liver and

stomach, malignant skin lesions. A price factor is very important: *Hypericum perforatum* is significantly cheaper than synthetic preparations. [4].

References:

1. Катценштейн Л. Зверобой против депрессии. Пер. с англ. М., КРОН-ПРЕСС, 1998, 213 с.
2. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Т.1, Харьков, Торсинг, 1997.
3. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства *Raeoniaceae* - *Thymelaeaceae*. - Л.: Наука, 1985. - с.16-18.
4. Лавренов В.К., Лавренова Г. В. Полная энциклопедия лекарственных растений. Т.1, СПб., Изд. Дом "Нева", М., ОЛМА-ПРЕСС, 1999, 736 с.

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Кожихметов Н.Б., Бурханова М.Н.

*РГКП «Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга»
Комитета по защите прав потребителей Министерства национальной экономики РК, г. Алматы, Казахстан*

Радионуклидная диагностика является важнейшим направлением медицинской помощи населению. Радиоизотопные методы прогрессивно развиваются и практически не имеют конкурентных методов при исследованиях кровоснабжения миокарда, мозгового кровотока и ряда других органов и систем. В отличие от других методов диагностики, радиоизотопный метод позволяет непосредственным образом следить за биохимическими и физиологическими процессами в организме, как в норме, так и в патологии. Радионуклидная диагностика позволяет изучить распределение и накопление радионуклида в органах или участках тела, динамику накопления, перемещения нуклида в отдельных органах и выведения его из организма.

В настоящее время для диагностики используются радиофармпрепараты на основе технеция, йода, таллия. Внедрение в клиническую практику инертных радиоактивных газов ^{133}Xe и ^{85}Kr позволит получить наиболее адекватный и прямой способ оценки вентиляции легких. Перспективное направление — радионуклидная диагностика с использованием позитронно-эмиссионной томографии с ультра- и короткоживущими радионуклидами. Этот метод существенно расширяет возможности диагностики поражений внутренних органов и систем, улучшая условия их визуализации, резко снижая при этом лучевые нагрузки на пациента.

В то же время применение радионуклидов при диагностике сопряжено с проблемой обеспечения радиационной безопасности персонала, пациентов и населения. Лучевая нагрузка, которая неизбежна при радиодиагностических исследованиях, в той или иной степени обуславливает риск повреждения организма. Радионуклидные методы диагностики целесообразны только в том случае, если польза от их применения превысит вред, связанный с воздействием ионизирующей радиации и затратами на обеспечение этого метода исследования.

Для обеспечения радиационной безопасности населения и персонала необходимо:

- Создать собственную нормативно-правовую базу с учетом рекомендаций международных организаций (ВОЗ, МАГАТЭ, МКРЗ и др.), документы которой должны содержать требования к: планировке помещений для радионуклидной диагностики; организации и проведению работ; получению, хранению и использованию радиофармпрепаратов; сбору, хранению, удалению и учету радиоактивных отходов.
- Разработать: мероприятия по профилактике и ликвидации последствий радиационных аварий; принципы обеспечения радиационной безопасности пациентов, персонала и населения; систему контроля обеспечения радиационной безопасности; систему оценки, учета и контроля лучевых нагрузок пациентов.
- Обеспечить подготовку медицинского персонала по вопросам радиационной безопасности на базе Научно-практического центра санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга. Таким образом, вопросы обеспечения радиационной безопасности при проведении радиодиагностических исследований с помощью РФП должны быть внедрены в практику каждого врача-радиолога, действия которого в значительной степени определяют лучевую нагрузку, как самого специалиста, так и населения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИТОЗАНА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ДЛЯ ^{131}Cs И ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Маркелова Е.А., Хужаев С., Васидов А.

Институт ядерной физики, г. Ташкент, Узбекистан

В настоящее время в медицине широко используются природные полимеры на основе хитозана, благодаря их биосовместимости с тканями человека, низкой токсичности, способности усиливать регенеративные процессы при заживлении ран и биodeградируемости после определенного времени. Число работ, посвященных применению хитозановых полимеров в ядерной медицине, а именно в брахитерапии, очень мало. Поэтому в данной работе экспериментально исследованы возможности полного осаждения радионуклидов Цезия-131 на хитозановых сорбентах при различных модифицированных добавках и получения герметичных микросферических источников рентгеновского излучения.

В результате исследований была разработана технология получения радионуклида ^{131}Cs из высокоактивного бариевого раствора с требуемой активностью и радионуклидной чистоты. Было достигнуто $\geq 95\%$ осаждения ^{131}Cs на гранулах модифицированных ферроцианидами переходных металлов. Была разработана технология покрытия поверхности радиоактивных гранул непроницаемым тонким деградируемым слоем. При покрытии поверхности гранул органическим полимером исследовали воздействие микроволнового излучения при разных мощностях и рН в интервале 2-10.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕГЕНЕРАЦИИ НИКЕЛЯ-58

Князев А.М., Юсупова А.О., Медведева З.В., Афанасьева Н.Н.,
Сламкулов И.Е., Чакрова Е.Т.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Циклотронный изотоп ^{57}Co используется в ядерной медицине для получения радиофармпрепаратов (меченые белки, насыщенные жирные кислоты, металлоорганические и другие соединения), а также в качестве изотопного источника излучения в промышленности. Так, на основе циклотронного изотопа ^{57}Co возникла специальная область научных исследований – мессбауэровская спектроскопия. Известно, что наиболее предпочтительный вариант получения ^{57}Co основан на ядерной реакции с протонами на мишени никеля, обогащенного по изотопу ^{58}Ni более 99%.

При производстве ^{57}Co одним из видов жидких радиоактивных отходов является раствор хлорида никеля. С целью снижения объема радиоактивных отходов и для возвращения в производство дорогостоящего обогащенного никеля была поставлена задача его регенерации, которая заключалась в очистке ^{58}Ni от радиоизотопов ^{56}Ni , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{58}Co и ^{65}Zn методами выдержки и ионообменного разделения. Химическая очистка отработанного раствора проводилась методами выпаривания и перекристаллизации.

По разработанной методике регенерации никеля для его повторного использования было выделено 9.2 грамма никеля в виде семиводного сульфата никеля. Для определения концентрации примесей цинка, кобальта, железа и меди полученная соль была проанализирована методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Примеси цинка и кобальта не обнаружены, массовая концентрация железа и меди в никеле, обогащенном по изотопу ^{58}Ni составляет 23 мкг/г и 10 мкг/г соответственно, что подтверждает чистоту полученной соли.

Для электрохимического нанесения металлического никеля был приготовлен электролит из регенерированного никеля и проведено пробное нанесение металлического никеля толщиной слоя 2,5 мкм на медную фольгу. Качество нанесенного слоя показало возможность использования регенерированного никеля для производства циклотронных мишеней.

Разработанная методика регенерации никеля из отработанных растворов позволяет возвращать в производственный цикл до 80% обогащенного никеля, что значительно повышает эффективность производства балк-раствора ^{57}Co .

ПРОИЗВОДСТВО ГЕНЕРАТОРА ТЕХНЕЦИЯ-99м ОДНОИГОЛЬЧАТОГО ТИПА ПО БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Нестеров Е.А.^{1,2}, Рогов А.С.¹, Садкин В.Л.¹, Скуридин В.С.¹

¹ *Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*
e-mail: nea@tpu.ru

² *ООО «Сибнуклон», г. Томск, Россия*
e-mail: sibnuclon@mail.ru

Короткоживущий Тс-99m является дочерним продуктом распада Мо-99, который в промышленных масштабах нарабатывают из продуктов деления U-235 в ядерном реакторе, с выходом не более 6%. Учитывая дефицит Мо-99, вызванный неожиданной остановкой реакторов в Чок-Ривере и Петтене и планируемое прекращение производства Мо-99 на Чок-Ривере в 2016 году, необходимо внедрять в действующие урановые производства альтернативные способы получения молибдена-99 и технеция-99м. Реальная альтернативная возможность для снижения дефицита Мо-99 представляется за счет организации на исследовательских среднеточных реакторах, производств, основанных на использовании реакции радиационного захвата (n,γ). Такая технология была впервые реализована в Узбекистане на реакторе Института ядерной физики в начале 90-х годов, и в последующем в 2003 г. в России на реакторе ИРТ-Т Томского политехнического университета. В последнее время рассматривается вопрос о создании подобного производства в Японии, Австралии и других странах.

Для отделения технеция-99м от молибдена в условиях радиологических лабораторий медучреждений, в основном, применяют генераторы технеция-99м сорбционного типа. В настоящее время выпускается два типа генераторов – одноигольчатый с контейнером внутри, содержащий физраствор, и двухигольчатый, который поставляется с расфасованным во флаконы изотоническим раствором натрия хлорида. При производстве генераторов по активационной технологии в настоящее время используется двухигольчатая конструкция генератора, которая имеет определенные неудобства при ее эксплуатации. В связи с этим в Томском политехническом университете при поддержке индустриального партнера ООО «Сибнуклон» разрабатывается новая усовершенствованная конструкция генератора технеция-99м нового поколения одноигольчатого типа с системами продувки колонки и фасования элюата с заданной активностью. Для ее разработки необходимо учитывать такие факторы, как состав сорбируемой формы – раствора, содержащего молибден-99, природы, структура и технология подготовки сорбента, состав элюирующего раствора и техника элюирования.

Были проведены экспериментальные исследования адсорбции молибдена на некоторых оксидных системах и исследованы адсорбционные характеристики оксидов металлов с целью поиска высокоэффективного сорбента. Наибольшей адсорбционной способностью к молибдену обладает одна из модификаций активной окиси алюминия при его кислотной обработке до значения pH 2,5. Проведены экспериментальные исследования по определению оптимальной сорбируемой формы. Показано, что в водных растворах форма или степень «полимеризации» образующегося изополисоединения зависит от pH. Наибольшая сорбционная способность оксида алюминия достигается при формировании сорбируемой формы с pH=2,8, где в растворах образуются в основном гексамолибдаты с шестью атомами молибдена в молекуле. Установлено, что кроме концентрации ионов водорода на адсорбцию молибдена и выход технеция-99м оказывает и степень заполненности активных центров сорбента по длине колонки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № RFMEFI57514X0034).

SUBSTANCE INSTRUMENTAL ANALYSIS ACCORDING TO GAMMA RADIATION ALBEDO VALUE

D. Pak, Yu. Pak, M. Ponomareva, K. Sagindikov

Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

In the quantitative analysis of complex substances by the gamma-albedo method the key metrological parameter serves sensitivity characterizing the relative increment of the measured intensity of scattered gamma radiation in case of single change of the effective atomic number. In general case sensitivity of the method is a complex function of primary gamma radiation energy, the substance composition including Z and geometrical conditions of measurements.

On the substance samples with known Z values there are established the dependences of sensitivity S_z on the effective atomic number for different energies E_0 of primary gamma radiation. The dependences of sensitivities $S_z(Z)$ have an inversion character with the maxima depending on Z value of substances and energy E_0 of primary radiation. The higher is the energy E_0 of primary gamma radiation, the faster maximum sensitivity to Z is reached in the substance with the increased Z value. The absolute values of sensitivity to Z in the area of inversions decrease naturally with increasing the energy E_0 and the effective atomic number of the substance. It permits to find the correlation between the best values and energies corresponding to the maximum sensitivity to Z . A mean value Z of the analyzed substance is taken for the optimum value Z' according to which there is selected the optimum energy of primary gamma radiation. Gamma radiation with the selected energy there is irradiated a substance and there is determined the effective atomic number by intensity of gamma radiation dispersed by the substance.

Thus, for each substance with a certain value of the effective atomic number there is selected the best value of energy of primary gamma radiation at which the maximum sensitivity to Z is observed.

A feature of the technique is that in addition on the known samples of the substance there are established the dependences of sensitivity on the effective atomic number for different energies E_0 of primary gamma radiation on the basis of which there is found a regularity between the Z' best values and energies E_0' corresponding to the maximum sensitivity to Z . And the mean value Z of the analyzed substance is taken for the best value Z' on which there is selected the optimum energy E_0' of primary gamma radiation.

The technique is approved relative to the analysis of coals quality. In general the quality of coals varies over a wide range. The effective atomic number of coals can change in the range from 6 to 11. On coals of the known composition (Z changed from 6 to 11 with a step of 0.2 units) there were established the dependences of sensitivity $S_z(Z)$ on the effective atomic number of coals when using primary gamma radiation of different energies (5.9 keV; 8 keV; 16 keV; 22 keV; 60 keV). On the basis of the established dependences having the inversion from Z (extremal) character, there was found a correlation between the best values Z' and E_0' corresponding to the maximum sensitivity to Z . For the concentrated coals with $Z=6.2\dots 6.9$ the best value of energy of primary gamma radiation made 20 keV, and for ordinary coals with $Z=9.6\dots 10.8$ E_0' was selected equal to 55 keV. As a source of primary gamma radiation for the concentrated coals with the mean value of $Z=6.5$ there was selected a Cd-109 (22 keV), and for high-ash ordinary coals with average $Z \sim 10.5$ – a Am-241 source (60 keV).

The proposed methodology of the substance is characterized by hypersensitivity to Z in a large range of its changing.

ДЕЙСТВИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

Филиппова Е.О., Пичугин В.Ф., Градобоев А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический Университет, г. Томск, Россия

Трековые мембраны (ТМ) из полиэтилентерефталата благодаря пористой структуре и биологической совместимости обладают хорошим потенциалом для применения в офтальмологии при лечении эпителиально-эндотелиальной дистрофии роговицы глаза [1]. Перед хирургической операцией имплантаты обязательно подвергаются стерилизации ионизирующим излучением. В результате воздействия высокоэнергетического облучения возможно изменение физико-механических свойств полимерных имплантатов. В этой связи целью работы является исследование влияния γ -облучения на поверхностные свойства трековых мембран из полиэтилентерефталата.

Для исследований использовались трековые мембраны из полиэтилентерефталата толщиной 7 мкм, полученные путем облучения полимерной пленки пучком ионов $^{40}\text{Ar}^{+8}$ с максимальной энергией 41 МэВ [2, 3]. Щелочное травление осуществлялось в водном растворе NaOH с 1.5 N концентрацией при температуре 77 ± 5 °С.

Плотность и размеры пор, полученных в трековых мембранах, определяли при помощи электронного микроскопа «Hitachi TM-1000». Топография поверхности исследовалась на комплексе «Centaur HR».

Стерилизация проводилась на установке «Исследователь» с использованием гамма-излучения изотопа ^{60}Co . Стерилизационные дозы – 1 кГр и 10 кГр.

Измерения краевого угла смачивания и свободной поверхностной энергии проводились при комнатной температуре 25 ± 2 °С с помощью прибора «KRÜSS EasyDrop DSA 20». Для исследования использовали деионизованную воду. Измерения ИК-спектров исходных мембран и мембран после γ -облучения, производились с помощью ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700.

Результаты измерения краевых углов смачивания, свободной энергии поверхности, а также результаты определения шероховатости поверхности представлены в таблице.

Таблица. Результаты определения шероховатости поверхности, величина краевого угла смачиваемости и поверхностной энергии

Образец ТМ	$R_a, \mu\text{m}$	$R_{ms}, \mu\text{m}$	Краевой угол смачивания, θ°	Свободная поверхностная энергия, мДж/м ²		
				Дисперсионная	Поляризационная	Полная
Исходный	0,231	0,497	76,9	5,97	23,98	29,95
Стерилизация, 1 кГр	0,265	0,450	68,7	2,71	31,02	33,73
Стерилизация, 10 кГр	0,268	0,453	72,3	0,90	36,64	37,24

Результаты исследований показывают, что морфология поверхности трековых мембран из ПЭТФ слабо меняется после стерилизации. Тем не менее, стерилизация γ -лучами способствует образованию на поверхности мембраны остроконечных пиков малой высоты (до 0,2 мкм). Краевой угла смачивания уменьшается после γ -облучения незначительно, на 5-10%.

Исходя из полученных данных, можно считать, что стерилизация ионизирующим излучением радионуклида ^{60}Co трековых мембран из ПЭТФ не приводит к значительным изменениям поверхностных свойств пленок и является приемлемым методом антисептики при хирургических манипуляциях.

Литература:

1. Запускалов И.В., Босых Е.О., Сохорева В.В., Шилова О.Г. Исследование возможности применения полимерных трековых мембран в барьерной кератопластике//Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. – Т.56. – № 11-3. – С. 303-305.
2. Оганесян Ю.Ц., Дмитриев С.Н., Дидык А.Ю., Щеголев В.А., Апель П.Ю., Бескровный С.И. Способ изготовления трековых мембран. – Патент России № 2077938, приоритет от 02.12.94.
3. Kravets L.I., Dmitriev S.N., Satulu V., Mitu B., Dinescu G. Fabrication and electrochemical properties of polymer bilayered membranes//Surface and Coatings Technology – 2011. – Vol. 205. – Suppl. 2. – P. 455-461.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НАСЕКОМЫХ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

Сагитов А.О.¹, Сарсенбаева Г.Б.¹, Мухамадиев Н.С.¹, Салпиев Р.К.¹,
Ершин З.Р.², Кокежанова А.Д.²

¹ ТОО «Казахский НИИ защиты и карантина растений», г. Алматы, Казахстан
e-mail: aziza_nizr@mail.ru

² АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, Казахстан

Исследования устойчивости насекомых к ионизирующим излучениям выполнены на установке ИЛУ-10 (АО «Парк ядерных технологий», г. Курчатов, ВКО), в которых источниками радиации служили ускорители электронов. Нами проведено намеренное заражение муки и крупы амбарными вредителями по общепринятой методике. Исследуемые продукты заселены согласно вариантам опыта жуками по степени зараженности (I, II, III) в лаборатории института и переданы в АО «Парк ядерных технологий».

Специалистами АО «Парк ядерных технологий» проведена обработка различных круп на установке ИЛУ-10 в различных повторностях. После обработки анализ проб муки и крупы был проведен просеиванием их на ситах.

В лаборатории института проведены учеты гибели насекомых на 3, 7, 14 и 20 сутки и определена эффективность обработки на ИЛУ-10 исследуемых продуктов.

При скорости лучевой секции конвейера 1 м/мин, диапазоне поглощенных доз $460 \pm 10\%$ на муке в/с гибель мучного хрущака на 3-й день в зависимости от степени заражения составила от 11,4 до 12,5%, а на 20 день погибло 60,8-64,5% соответственно. В контроле гибель малого мучного хрущака составляла до 10%.

При скорости лучевой секции конвейера 0,85 м/мин, диапазоне поглощенных доз 600^* на рисовой крупе гибель долгоносика на 14-й день при третьей степени заражения составила 60,5%, на 20 день до 65,6%, в контроле гибель насекомых составляла 5%.

При скорости лучевой секции конвейера 0,85 м/мин, диапазоне поглощенных доз 600^* на перловой крупе эффективность радиационной обработки составила на 7 день от 45,7 до 56,2% долгоносика, а на 20 сутки – 70,0-73,1%, а в контроле – 10%.

При скорости лучевой секции конвейера 2,55 м/мин, диапазоне поглощенных доз 250^* гибель долгоносика на гречневой крупе в течение 14 дней составила от 55,7 до 60,8%, на 20 сутки – до 65,5%. В контроле гибель насекомых составила 5%.

Заметный эффект установлен в варианте с перловой крупой, где эффективность радиационной обработки по отношению к долгоносикам составила до 73,1%.

Также нами заложены опыты по действию радиационной обработки на биологические показатели оставшихся живыми вредителей (долгоносика и хрущаки) запасов после обработки. Во всех вариантах количество оставшихся в живых насекомых через 14 суток после облучения составила 30,5-54,3%, в контроле 90-100%.

Нами отмечено, что ионизирующие излучения при следующих параметрах – скорость лучевой секции конвейера 0,85, 1 и 2,55 м/мин вызывают значительное сокращение продолжительности жизни обработанных жуков. Влияние радиационной обработки на продолжительность жизни жуков при данных параметрах выразилось в снижении на 18-20 дней по сравнению с контролем. Плодовитость через 7-20 суток во всех вариантах не отмечалась, т.е. составила 100%, а в контроле она составила от 7,6 до 12,3%. Через 30 суток все насекомые вымерли.

Таким образом, как видно из полученных данных, при радиационной обработке при данных дозах сокращаются продолжительность жизненного цикла жука и плодовитость.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КОМПОЗИТОВ ПЭВП/ α -Fe₂O₃ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВ-ОХЛАЖДЕНИЕ

Магеррамов А.М., Кулиев М.М., Алиев Н.Ш., Исмаилова Р.С.,
Байрамов М.Н., Имамалиева А.А.

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана
Az1043, г. Баку, Азербайджан, ул. Б. Вагабзаде 9
e-mail: musafir_g@rambler.ru*

В настоящей работе исследовано поведение температурной зависимости объемной электропроводности σ на постоянном токе композитного материала – полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) / полупроводник α -Fe₂O₃ в области температур $T=20-135$ °С в условиях нагрев-охлаждение до и после γ -облучения дозой до 500 кГр.

В качестве диэлектрика (матрицы) был выбран порошкообразный полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) марки 20806-024, со средней молекулярной массой 95000, степенью кристалличности – 52%, температурой плавления 130 °С и плотностью – 958 кг/м³. Выбор ПЭВП как матрица был продиктован в основном хорошими диэлектрическими свойствами и технологичностью материала. Наполнителем служил порошок α -Fe₂O₃ (плотность – 5300 кг/м³, $\rho_v=1 \cdot 10^7$ Ом·м, $\epsilon=10$, $\text{tg}\delta=0,0007$, размер частиц не более 30 мкм).

При изготовлении пленочных образцов ненаполненного ПЭВП и композитов ПЭВП/ α -Fe₂O₃ применялась нижеследующая технологическая схема:

- получение путем просеивания через сита порошков α -Fe₂O₃ с размерами частиц не более 30 мкм;
- смешивание в фарфоровой ступке порошкообразного α -Fe₂O₃ с порошком ПЭВП;
- прессование гомогенной смеси порошков компонентов в гидравлическом прессе с нагреваемыми плитами при давлении 15 МПа с выдержкой при температуре 150 °С в течение 5 мин. и получение образцов композитов в виде дисков диаметром 20 мм и толщиной 140÷180 мкм;
- с целью обеспечения надежного электрического контакта между образцом и электродами из нержавеющей стали впрессовывания на обе рабочие поверхности образцов электродов из тонкой алюминиевой фольги толщиной 7 мкм с последующим охлаждением в смеси вода-лед (режим закалки).

Исследование данных образцов проводилось по двухэлектродной схеме в диапазоне температур 20-135 °С с применением специальной экранированной и заземленной обогреваемой измерительной ячейки типа «сэндвич», используемую для нагрева и охлаждения образцов, имеющий систему измерительного и потенциального электродов диаметрами 10 и 20 мм соответственно. Образцы помещались в измерительную ячейку с прижимными электродами из нержавеющей стали. Температура образца контролировалась с помощью термодатчика мед-константан. Электропроводность образцов измеряли с помощью термометра Е6-13А. Значение электропроводности σ рассчитывали из соотношения:

$$\sigma = \frac{1}{R} \cdot \frac{h}{S}$$

где R (Ом) – сопротивление образца, измеренное тераомметром, h – толщина образца, S (м²) – площадь образца. Скорость изменения температуры для всех образцов в режиме нагрева и охлаждения поддерживалась постоянной и составляла 3 °С/мин. Перед измерениями все образцы подвергались «электрочистке» в течении 60 минут в постоянном электрическом поле интенсивностью $E=150$ кВ/м. За это время устанавливается постоянное значение сквозного тока, и, следовательно устранялась причина погрешности, связанная с контактными явлениями на границе образец- электрод. Пленочные образцы композитов подвергали γ -излучению при комнатной температуре на установке с источником излучения ⁶⁰Со. Мощность поглощенной дозы $3,3 \cdot 10^3$ Гр/ч.

На рис 1, а-в представлены кривые температурной зависимости в условиях нагрев-охлаждение в координатах $\lg\sigma = f(T)$ для композитов ПЭВП+10% α -Fe₂O₃ до (а) и после (б-в) γ -облучения дозой 100 и 500 кГр соответственно: кривая 1 – прямой (увеличение температуры), 2 – обратный ход (уменьшение температуры).

Эксперименты показали, что разница между прямыми и обратными значениями σ , т.е. «размах» электропроводности при комнатной температуре композитной среды ПЭВП+ α -Fe₂O₃ не велика или фактически совпадают с кривой обратного хода для той же композиции. Поэтому на рис.1 изображен максимально полученный экспериментально размах для ПЭВП+10% α -Fe₂O₃. Из представленных зависимостей видно, что начало охлаждения образцов вызывает монотонный спад проводимости, который усиливается с понижением температуры. Для облученных композитов проводимость обратного хода $\lg\sigma(T)$ (рис.1, б-в) до 100 °С выше, чем прямого хода, после чего кривые прямого и обратного хода пересекаются и различие между значениями σ усиливается :

при $T < 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ значения σ для одних и тех же температур меньше при охлаждении, чем при нагревании образца. В случае необлученного ($D=0$) композита ПЭВП+10% α - Fe_2O_3 точка пересечения прямого и обратного ходов сдвинут в сторону низких температур на $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, что связано с наличием в этих образцах области резкого снижения проводимости при температуре $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из сравнения рис. 1, б и в видно, что экспозиционная доза поглощения по-разному влияет на кривую прямого хода. В случае $D=500\text{ кГр}$ на кривой прямого хода появляется второй максимум при $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ход обратной ветви практически не меняется. Предполагаем, что появление второго максимума при $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ на прямой ветви после γ -облучения дозой $D=500\text{ кГр}$ может быть следствием изменения положения квазиуровня Ферми (происходит перераспределение ловушек по глубине и увеличивается концентрация глубоких ловушек, освобождение зарядов из которых происходит при более высоких температурах) и наблюдаемый пик связан уже с другой группой ловушечных состояний на границе кристаллит – аморфная фаза.

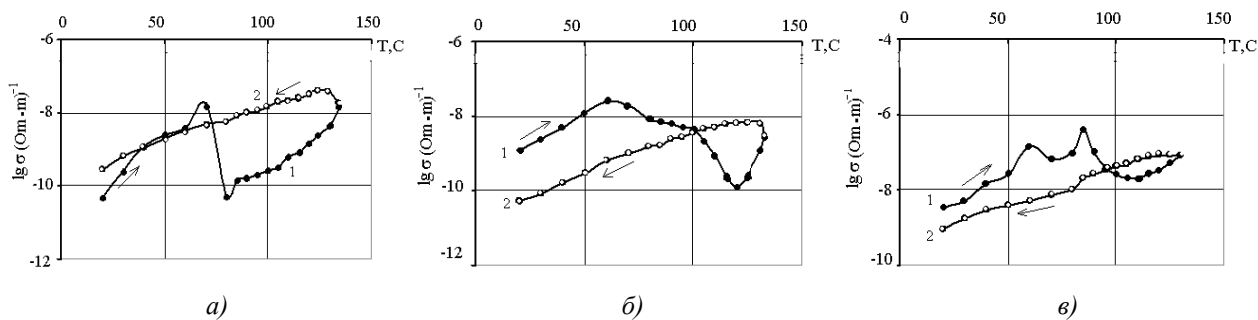


Рис. 1. Влияние дозы γ -облучения на температурную зависимость электропроводности $\lg \sigma(T)$ ПЭВП+10% α - Fe_2O_3 : (а) – $D=0$; (б) – $D=100\text{ кГр}$; (в) – $D=500\text{ кГр}$. 1 – нагревание; 2 – охлаждение

По нашему мнению поведение функции $\sigma(T)$ при нагреве – охлаждении может быть объяснено двояко: либо перестройкой структуры фрактальных цепей вблизи точки плавления, либо эффектами «асимметрии» температурной эволюции электрически активных дефектов при нагревании и охлаждении. Отсутствие ярко выраженных гистерезисных процессов для композитной среды ПЭВП+ α - Fe_2O_3 дает основание считать, что основным механизмом в нашем случае является эффект «асимметрии» температурной эволюции электрически активных дефектов. Значение проводимости образцов в результате нагрев-охлаждение принимает новое значение (композитный материал переходит в новое состояние с уменьшенной проводимостью, сохраняющееся в течение некоторого времени (по меньшей мере, в течение десяти дней). Такое поведение композитов ПЭВП+10% α - Fe_2O_3 , по-видимому, связано с термостимулированным процессом перераспределения заряда на границе микрочастица – полимерная матрица и возникновением метастабильных состояний среды. По результатам измерений оценены температурные изменения величины проводимости. Уменьшение проводимости с изменением температуры составила приблизительно 24 и 3,7 раза в ходе одного цикла нагрев-охлаждение после γ -облучения дозами 100 и 500 кГр соответственно.

Установлено, что γ -облучение существенно влияет на поведение кривых при нагревание и практически не влияет ход на кривой обратного хода (охлаждение), а также для композитов ПЭВП+10% α - Fe_2O_3 , при $T < 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ значения σ для одних и тех же температур меньше при охлаждении, чем при нагревании.

Литература:

1. Tanaka T. Dielectric nanocomposites with insulating properties. IEEE Trans.Diel.Electr.Insul.2005, v.12, No5, p.914-918.
2. Ueno K., Uda I. and Tada S. Radiation – Crosslinked polyethylene for wire and cable applications. Radiat. Phys. Chem.1991, v.37, No1, p.89-91.
3. Гефле О.С., Лебедев С.М., Ткаченко С.Н. Поведение полимерных композиционных материалов с наполнителем из сегнетоэлектрической керамики в электрическом поле. Изв. Томского Политехнического Университета. 2005, т.38, №4, с.64-68.
4. Lin M.M., Kim H.H., Muhammed M., Kim D.K. Iron oxide – based nanomagnets in nano medicine: fabrication and applications. Nano Rev.2010, 1: 4883.
5. Njugun J., Peilichowski K. Polymer nanocomposites for aerospace applications: fabrication Adv. Eng. Mater. 2004, No6, p.193-210.
6. Borsenberger P.M., Weiss D.S. Organic photoreceptors for xerography (Marsel Dekker, New York, 1993).
7. Krishnamoorti R. Advanced Polymer-Nanocomposites: Novel Properties and Applications Chem. Mater., 2007, v.19, p.2736-2751.
8. Алиев Н.Ш., Магеррамов А.М., Кулиев М.М., Исмаилова Р.С. Электрофизические свойства композитной системы полиэтилен высокой плотности / α - Fe_2O_3 . Перспективные материалы, 2014, №10, с.22-27.
9. Ванников А.В., Матвеев В.К., Сичкарь В.П., Тютнев А.П. Радиационные эффекты в полимерах. Электрические свойства. Наука, Москва, 1982, 269с.

10. Тютнев А.П., Ванников Ф.В., Мингалиев Г.С., Саенко В.С. Электрические явления при облучении полимеров. Москва, Энергоатомиздат, 1985, 176 с.
11. Prokopyev O.V., Rozno A.G. and Gromov V.V. Structural defects in formation on volume charge in irradiated polyethylene. Radiat. Phys. Chem. 1989, v.33, No3, pp.191-196.
12. Громов В.В. Физико-химические процессы при электризации диэлектриков. ЖФХ, 2005, т.79, №1, с.121-125.
13. Магеррамов А.М. Структура и радиационно-модифицирование электретных, пьезоэлектрических свойств полимерных композитов. Баку, Элм, 2001, 327с.
14. Kuliev M.M., Ismayilova R.S. The gamma-radiation effect on the spectrum of thermally stimulated current in polyethylene of high density. Surface Engineering and Appl. Electrochem. 2010, v.46, No5, pp.447-451
15. Пинчук Л.С., Корецкая Л.С., Кварцов А.Г., Шапавалов В.А., Александрова Т.И., Гольдаде В.А. Исследование фотостарение полиэтилена методом термостимулированных токов. Высокомолекулярное соединение, Б, 2003, т.45, №2, с.335-340.
16. Соцков В.А., Борисов В.А. Эволюция аттрактора макросистемы в зависимости от концентрации приводящей фазы и температуры. ЖТФ, 2007, т.77, в.11, с.103-108.
17. Тютнев А.П., Саенко В.С., Смирнов Е.В., Пожидаев У.В. Радиационная электропроводность полимеров при длительном облучении. Химия высоких энергий, 2006, т.40, №5, с.364-375.
18. Chen G., Fouracre R.A., Banford H.M., Tedford D.J. The effects of gamma-radiation on thermally stimulated discharge current spectra in low-density polyethylene. Radiat. Phys. Chem. 1991, v.37, No3, pp.523-530.

РАДИАЦИОННОСТОЙКИЙ ЭЛАСТОМЕР ИЗ ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА

Маммадов Ш.М.¹, Рзаева С.В.², Алиева С.Б.¹, Мамедов Д.Ш.¹,
Махмудова А.У.¹, Ахундзаде Г.Н.¹, Ахмедов Э.Н.², Гулуев А.М.²

¹ *Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку*

² *Азербайджанская Нефтяная Академия, г. Баку*

Важной задачей обеспечения радиационной защиты является модификации эластомерных композиционных материалов, так как эластомеры при сравнительно высоких дозах облучения (1500 кГр) начинают терять упруго прочностные свойства.

Одним из видов эластомеров, используемых для модификации, являются бутадиен-нитрильные каучуки (БНК). Основным назначением БНК является увеличение плотности сетки и числа сшитых молекул. При этом с увеличением акрилонитрила и действием γ -излучения в сополимере его структурирование возрастает.

Была изучена модификация этилен-пропиленового каучука при комбинации с бутадиен-нитрильным каучуком и влияние многоядерных ароматических соединений дисульфохлоридбензола (ДСХБ) на свойства и радиационную стойкость эластомера.

Эластомерные смеси вулканизовали на γ -источнике Co^{60} при мощности 6.9 Гр/с в воздушной среде при 20 °С. Облучение проводилось в интервале 0-1000 кГр.

При определении влияния БНК и содержания ДСХБ, оксида цинка и наполнителей на радиационную стойкость было выявлено, что при облучении образцов в вакууме достаточно высокие концентрации БНК (50 мас.ч.) и ДСХБ (3.0 мас.ч.) оказывают более эффективное защитное действие.

Радиационно-химический выход процесса образования числа поперечных связей ($G_{n,c}$) в вулканизатах зависит от содержания БНК и ДСХБ.

Результаты исследования показывают, что БНК (СКН-40) и ДСХБ обеспечивают эффективную защиту эластомера и этилен-пропиленовых каучуков от радиационного старения в недеформированном состоянии.

Установлено, что выдержка вулканизатов при 100-1500 кГр не приводит к существенному ухудшению их свойств по физико-механическим характеристикам. При дозах выше 1500 кГр эластомер утрачивает эластичность, относительное удлинение снижается на 15%. Повышение дозы до 2000 кГр приводит к деструкции пространственной сетки вулканизатов.

Многоядерный ароматический сенсibilизатор (ДСХБ) и модификации смесей с участием бутадиен-нитрильного каучука обеспечивают эффективную защиту этиленпропиленовых (СКЭП) каучуков и наполненных эластомеров от радиационного структурирования и деструкции.

WATER RADIOLYSIS ON THE SURFACE OF Al_2O_3 NANO-CATALYST

H.M. Mahmudov, S.M. Aliyev, S.A. Hasanova

*Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences
AZ1143 Baku, Azerbaijan 9, Bakhtiyar Vahabzadeh Str.
e-mail: hokman.mahmudov@gmail.com*

Nowadays there is a growing interest to scientific investigations being carried out in the field of a radiation-chemical transformation of the water on the surface of nanocatalysts.

The purpose of this research is to study the regularities of hydrogen formation at radiolysis of Al_2O_3 nanoparticles with different sizes in water solutions. It was determined that, the molecular hydrogen yield changes depending on catalyst sizes, thus the yield of molecular hydrogen formed on the surface of small-sized catalyst is 1.4-1.6 times higher than the large-sized catalyst. Equal distribution of nano catalysts in water medium and adsorption of more water molecules to catalyst surface, cause the radiolysis process to occur more efficiently.

The main essence of radiation catalytic processes is transferring the unbalanced charges formed by absorbed ionizing radiation energy on the surface of the catalyst to the adsorbent adsorbed on the surface of the catalyst or the system.

Figure 1 describes the dependence of molecular hydrogen yield depending on the catalyst surface of the given nano-particle. The dependence can be divided into two parts; the output from the 20 nm-sized nanoparticles is more than that from 40 nm-sized nanoparticles for 1.4-1.6.

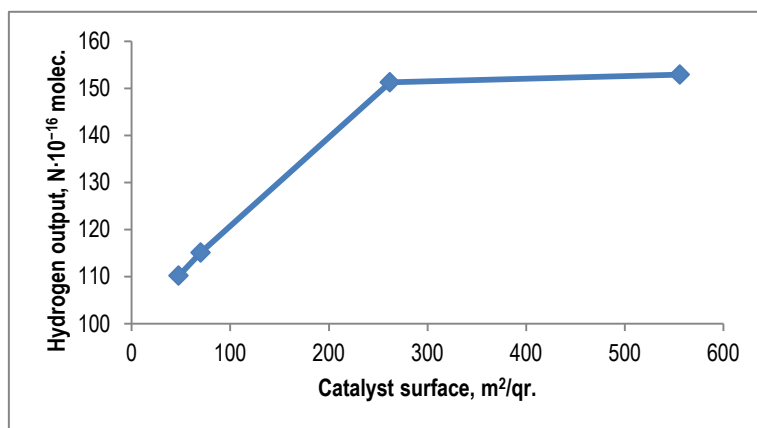


Figure 1. Molecular hydrogen output formed as a result of nano- $Al_2O_3 + H_2O$ system radiolysis

$$(M_{\text{cat}}/M_{\text{water}}=1:50, m_{\text{cat}} = 0.05 \text{ grams}, \frac{\text{catalyst size} - d, \text{ nm}}{\text{catalyst surface} - S, \text{ m}^2 / \text{qr}} = \frac{5}{556}, \frac{20}{262.09}, \frac{40}{70}, \frac{50}{47.73},$$

$$T = 24 \text{ }^\circ\text{C}, P = 1.04 \text{ kGy/h}, \tau = 7 \text{ hours})$$

As shown (figure 1) the hydrogen output was higher on the surface of the small-sized nanocatalysts (5 nm – 556 m²/qr. and 20 nm – 262.09 m²/qr.), it once again prove that the smaller size of catalyst has higher specific area become which naturally results in better absorption of ionizing radiation on the surface of the catalyst and the efficient transfer of the energy carriers formed the surface to the system.

РАДИАЦИОННАЯ ВУЛКАНИЗАЦИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ В ПРИСУТСТВИИ СЕНСИБИЛИЗАТОРА ДИСУЛЬФОХЛОРИД БЕНЗОЛА И С ДОБАВКОЙ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЦИНКА

Ханкишиева Р.Ф., Алиева С.Б., Мамедов Д.Ш., Махмудова А.У.,
Ахундзаде Г.Н., Мамедов Ш.М.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку

Эластомеры на основе бутадиен-нитрильных каучуков широко применяются в нефтяной и машиностроительной промышленности в качестве уплотнителей в различных агрегатах. Для обеспечения заданных физико-механических и эксплуатационных характеристики эластомерных материалов используются различные вулканизующие системы, в частности, серосодержащие ускорители.

Процесс радиационной вулканизации БНК в последнее время проходит опытно-лабораторную проверку. Поэтому вопрос выбора активирующего и сенсibiliзирующего агента, обеспечивающего высокие физико-механические и динамические свойства и агрессивностойчивость, является весьма актуальным.

Представляло интерес, изучить возможность улучшения технических свойств радиационных вулканизатов путем введение в рецептуру полимера, наночастиц оксида цинка и сенсibiliзатора дисульфохлорид бензол, а также для усиления и окрашивания образцов вводили технический углерод.

Эластомерную смесь готовили на вальцах при температуре 30-40 °С. После получения формы эластомера, радиационную вулканизацию осуществляли на источнике Co^{60} . Радиационно-термические вулканизаты и эластомерные детали получали путем предварительного прогрева в прессе при 120 °С в течение 3-5 мин. и последующего облучения в воздушной среде при 30 °С в интервале доз от 50 до 300 кГр при мощности дозы 4,9 Гр/с. Физико-механические, динамические свойства и накопление остаточной деформации наполненных эластомеров определяли на образцах, полученных при повышенных температурах, при облучении комбинированным терморadiационным способом. Молекулярную структуру эластомера определяли при сшивании указанными наночастицами и сенсibiliзаторами на Фурье спектроскопии. Показано что наиболее активной из исследуемых полимерных систем является сера+ZnO+ДСХБ.

С увеличением дозы облучения также, возрастает максимальное содержание концентрации поперечных связей (n_c'). Это свидетельствует о том, что исследуемые наночастицы порошков оксида металла и сенсibiliзатор дисульфохлорид бензол принимают участие в процессе сшивания. При введении тонкодисперсных технического углерода, происходит усиление радиационных вулканизатов, существенно увеличивается прочность на разрыв, а также улучшается динамическое сопротивление тепловому старению (150 °С, 500 ч.).

Оценка работоспособности уплотнительных деталей проводилась по результатам измерения накопления остаточной деформации при сжатии и стойкости деталей к жидким агрессивным средам. Установлено, что равновесный модуль у образцов, облученных дозой 3000 кГр, на протяжении всего цикла старения меняется на 20-25%. Эластомерные материалы, полученные терморadiационной технологией, можно использовать при повышенных температурных и сложных динамических режимах.

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ
АВТОРОВ**



AUTHORS INDEX

A

Abasov F.P., 55
 Abdullayev A.P., 38
 Alieva N.A., 38
 Alimov D.K., 99
 Aliyev S.M., 193
 Altynova N.K., 159
 Amonov M.Z., 53
 Aria, Monzavi Karbasi, 183

B

Bahtibaev A.N., 99
 Baklanov V.V., 25
 Baktybayev M., 99
 Batyrbekov E.G., 26, 34
 Bekmanov B.O., 159
 Bersimbai R.I., 159
 Bertulani C., 98
 Bottomley P.D.W., 31
 Burtebayev N., 99

C

Cespirova I., 151

D

Degl'Innocenti S., 97
 Djansugurova L.B., 159
 Duisebayev A., 100, 101
 Duisebayev B.A., 100, 101

E

Endo H., 35

F

Fujita T., 25

G

Gaidaichuk V.A., 35
 Garibli A., 32
 Garibov A., 32
 Garner F.A., 36
 Gryc L., 151

H

Hasanova S.A., 193
 Hayashi T., 25
 Huseynov E., 32

I

Igamov S.B., 102
 Ismailov K.M., 100, 101
 Izosimov I.N., 33

J

Janseitov D.M., 99

K

Kaliullayev B.Y., 183
 Kamide H., 26
 Kamiyama K., 26, 34, 35, 36
 Kapassova R.K., 183
 Katoh A., 34
 Kawada K., 38
 Kawano S., 25
 Kerimkulov Zh.K., 99
 Khussainova E.M., 159
 Kliczewski S., 109
 Koc J., 152
 Kodama T., 26
 Kolodeshnikov A.A., 25, 26, 35,
 36
 Konishi K., 35
 Kotake S., 35
 Koyama K., 35
 Kubo S., 26, 34, 35
 Kuca P., 151, 152

L

La Cognata M., 97, 98
 Lamia L., 97, 98
 Lebedev I.A., 100
 Lind, Ole Christian, 121

M

Mahmudov H.M., 193
 Maksimkin O.P., 36
 Manara D., 31
 Matsuba K., 34, 35, 36
 Mukhamedzhanov A., 97, 98
 Mukhamejanov Y.S., 99
 Muratova F.T., 159
 Mustafaev Yu.M., 55

N

Nadirbekov M.C., 103
 Nassurilla M., 99
 Nuritdinov I., 53

O

Orujeva A.A., 38

P

Pak D., 187
 Pak Yu., 187
 Pakhnits A.V., 34, 35
 Payot F., 34
 Peterson R.J., 98

Piasecki E., 109
 Pizzone R.G., 97, 98
 Plisak R.P., 163, 164, 165, 166
 Plisak S.V., 163, 164, 165, 166
 Polevik V.V., 166
 Ponkratenko O.A., 103
 Ponomareva M., 187
 Prada Moroni P.G., 97
 Puglia S.M.R., 97

R

Rapisarda G.G., 97
 Rofman O.V., 36
 Romano S., 97
 Rondinella V.V., 31
 Ruban S.V., 36
 Rudchik A.T., 103
 Rusek K., 109

S

Sadykov B.M., 100, 101
 Sagindikov K., 187
 Sairanbayev D., 99
 Sakai T., 36, 38
 Salbu, Brit, 27, 121
 Salmanov F.T., 38
 Samedov O.A., 38
 Sardarli R.M., 38
 Sato I., 26, 35
 Sergi M.L., 97
 Serre F., 34
 Shyrma Yu.O., 103
 Siudak R., 109
 Skakov M.K., 26
 Spart'a R., 98
 Spitaleri C., 97, 98
 Stepanenko Yu.M., 103
 Suteau C., 34
 Suzuki T., 38

T

Tagami H., 38
 Takeda Y., 66
 Temiraliev A.T., 100
 Temirov F., 103
 Tobita Y., 34, 35, 36, 38
 Tognelli E., 97
 Toyohara M., 25
 Toyooka J., 34, 35, 36
 Trotignon L., 34
 Trzcińska A., 109
 Tsay K.V., 36
 Tsujikura Y., 26
 Tumino A., 97
 Tursunmakhatov K., 102

U

Uleshchenko V.V., 103

V

Vassiliev Y.S., 26, 35
Vityuk V.A., 34, 35
Vurim A.D., 26, 34, 35

W

Wachs, Daniel M., 39
Wada, Tomoaki, 24
Wiss Th., 31
Wolińska-Cichocka M., 109

Y

Yarmukhamedov R., 102
Yusiov M.Y., 38

Z

Zazulin D.M., 99
Zholdybayev T.K., 100, 101
Ziyadullayev M.M., 53
Zuev V.A., 25, 26, 35, 36

A

Агаев Т.Н., 39, 50
Адилбеков С.А., 57
Азизов Э.А., 46
Айдарханов А.О., 122, 124, 128,
135, 143, 144, 145
Айдарханова А.К., 123, 132,
167, 170
Акберов Р., 168
Аксенова Т.И., 93
Актаев М.Р., 124, 128
Алекперов О.З., 115
Алексамян Э.М., 40
Алиев Н.Ш., 190
Алиева С.Б., 192, 194
Аманкулов Ж.М., 179
Амар А., 109
Апсаликов К.Н., 133
Аргынова А.А., 105
Аргынова А.Х., 113, 114
Артемов С.В., 109
Арутюнян В.В., 40
Аскараров С.А., 123
Аскербекеров С.К., 59, 68
Аташов Б.Т., 90
Афанасьева Н.Н., 185
Ахмеджанов Ф.Р., 41
Ахмедов Г., 168
Ахмедов Ф.И., 110, 168
Ахмедов Э.Н., 192
Ахметов М.А., 123
Ахундзаде Г.Н., 192, 194

Б

Байгазинов Ж.А., 124, 155, 158
Байгазы С.А., 124, 158
Байрамов М.Н., 190
Байрамова И.В., 39
Бакирова Г.А., 131
Бакирулы К., 180
Бакланов В.В., 42, 51, 78
Бакланова Ю.В., 126
Балыгин А.А., 43
Барсуков Н.И., 63
Бастыкова Н.Х., 60
Батырбеков Э.Г., 23, 28, 54, 63
Бахтин Л.В., 141
Беркинбаев Г.Д., 123
Болтабаев А.Ф., 41
Большаков В.В., 43
Бондарь Ю.И., 139
Боос Э.Г., 104
Борисенко А.Н., 181
Бредихин И.С., 127
Бурнос В.В., 55
Буртебаев Н.Т., 53, 109
Буртебаева Д.Т., 109
Бурханова М.Н., 184
Быченко А.Н., 147

В

Ванжа С.А., 153
Васидов А., 185
Верещак М.Ф., 86, 87, 88
Виелеба В.К., 51, 54
Витюк В.А., 44, 57
Вороник Н.И., 172
Вурим А.Д., 44

Г

Габдуллин М.Т., 78
Габелков С.В., 60
Гайтинов А.Ш., 105, 106, 113
Ганеев Г.З., 62
Гарибли А.А., 110
Гарибов А.А., 50, 168
Генералова В.В., 181
Глущенко В.Н., 141, 150, 157
Глущенко Г.М., 150
Глущенко Н.В., 81, 106
Гордиенко Ю.Н., 59, 63, 68, 78,
89
Горлачев И.Д., 70, 81, 106
Градобоев А.В., 116, 161, 162,
188
Громов А.А., 181
Гулиева Р.Т., 50
Гулуев А.М., 192
Гусева Н.В., 147

Д

Давыдов Д.Ю., 172

Денисова В.В., 149
Дерявко И.И., 51, 64
Джахангиров М.М., 110
Диков А.С., 65, 70, 72, 89
Досболаев М.К., 84
Драгунов Ю.Г., 49
Дуйсебаев А., 108, 109
Дуйсебаев Б.А., 108
Дулов Е.Н., 92

Е

Егоров А.И., 182
Ежова С.В., 147
Ережеп Н.О., 53
Ермолаев В.Н., 93
Ермолаев Ю.В., 93
Ершин З.Р., 180, 181, 189
Ерыгина Л.А., 45
Есимбеков А.Ж., 128

Ж

Жакупова Ш.Б., 133
Жанжора А.П., 181
Жолдыбаев Т.К., 108, 109
Жоллыбеков Б.Р., 66
Жукова О.М., 149
Жунусов К.Т., 179

З

Забродский В.Н., 139
Заритовский С.М., 56
Заурбекова Ж.А., 63, 68, 78, 89,
111
Захаров А.А., 149
Захаров М.А., 80
Здоровец М.В., 106
Зима Г.В., 67, 153
Зиновьев В.Г., 182

И

Иванов И.А., 81, 106
Иванова А.Р., 154, 157
Иданова Д.С., 45
Избасаров М., 104
Имамалиева А.А., 190
Иркимбеков Р.А., 57
Искаков Б.А., 53
Искендерова З.И., 47
Исмагамбетова Т.Н., 78
Исмайилова Р.С., 190

К

Кабдыракова А., 141
Кабдыракова А.М., 129, 131
Кадырова Н.Ж., 137
Калиева А.К., 147
Каликулов О.А., 53
Калинин В.Н., 139

Каратаев С.С., 124, 155, 158
 Караходжаев А.А., 109
 Каримова А.В., 125
 Карпиков А.Н., 69
 Касымжанов М.Т., 180, 181
 Каширский В.В., 125, 126
 Каюков П.Г., 123
 Квочкина Т.Н., 114
 Кенжина И.Е., 53, 59, 68
 Керимкулов Ж.К., 109
 Киевицкая А.И., 55, 112
 Кислицин С.Б., 62, 65, 69, 70,
 72, 89
 Кишкин С.А., 56
 Ключников А.А., 60
 Князев А.М., 185
 Ковалишин А.А., 43
 Ковальчук В.И., 107, 112
 Коданова С.К., 60
 Кожаканов Т.Е., 174
 Кожакметов Н.Б., 184
 Козин С.Г., 81
 Козловский А.И., 70
 Козырева М.С., 69
 Койгельдинова М.Т., 130
 Кокежанова А.Д., 181, 189
 Колпаков А.Н., 56
 Комаров Ф.Ф., 110
 Корнеев С.В., 112
 Котов В.М., 45, 54
 Кочелев Н.И., 114
 Крапивко В.П., 156
 Краюшкин А.В., 43
 Кузнецова Л.К., 46
 Кукушкин И.М., 51, 59, 75
 Кулиев М.М., 190
 Кулиева У.А., 47
 Кульсартов Т.В., 59, 63, 68, 75,
 78, 89, 111
 Кундузбаева А.Е., 129, 131
 Курахмедов А.Е., 81, 106
 Курбанбеков Ш.Р., 71
 Курбанов М.А., 47
 Курталиев Э.Н., 41
 Кутний Д.В., 153

Л

Ларионов А.С., 65, 72, 89
 Ларионова Н.В., 122, 132, 141,
 154, 157, 173, 174
 Лебедев И.А., 106
 Левашов М.А., 150
 Лемехов В.В., 49
 Липихина А.В., 133
 Локтионов А.А., 105, 113, 114
 Лукашенко С.Н., 122, 123, 124,
 125, 126, 128, 129, 130, 131,
 132, 135, 136, 137, 141, 142,
 143, 144, 145, 146, 154, 155,
 157, 158, 160, 167, 170, 171,
 173, 174
 Ляхова О.Н., 132, 135, 141, 143

М

Магашева Р.Ю., 141
 Магеррамов А.М., 76, 190
 Мадатов Р.С., 83, 110, 168
 Майоров С.А., 60
 Максимкин О.П., 73, 74, 80, 94
 Мамедов Д.Ш., 192, 194
 Мамедов С.Г., 47
 Мамедов Ш.М., 194
 Маммадов Ш.М., 192
 Мамырбаева А.С., 124, 155, 158
 Манакова И.А., 86, 87, 88
 Мансимов З.А., 50
 Маркелова Е.А., 185
 Матиенко Л.Д., 150
 Махмудова А.У., 192, 194
 Медведева З.В., 185
 Мендибаев К.О., 53
 Меньдубаев А.Т., 129
 Мережко Д.А., 73, 74, 94
 Мережко М.С., 73, 74
 Мехтиева Р.Н., 76
 Миниязов А.Ж., 59, 75
 Митропольский И.А., 182
 Моисеев А.В., 49
 Мосумлу Н.Т., 115
 Моховиков М.А., 110
 Мошков А.С., 136
 Мулдагалиев Т.Ж., 133
 Мунасбаева К.К., 93
 Мурзагалиева А.А., 57
 Мустафаев Ю.М., 110
 Мухамадиев Н.С., 189
 Мухамедияров Н.Ж., 130
 Мухамедов Н.Е., 51, 57

Н

Нагиев Д., 168
 Наджафов А.И., 83, 115
 Надирова Х.Б., 115
 Нассурлла М., 109
 Насыров Ф.С., 173
 Нестеров Е.А., 186
 Нефедов Р.А., 160
 Новиков А.А., 136, 146
 Новикова Е.А., 142
 Нуриев М.А., 76
 Нуритдинов И., 90
 Нуруев И.М., 76

О

Озерной А.Н., 86, 87, 88
 Окунев И.С., 182
 Орлова К.Н., 161, 162
 Оскомов В.В., 53
 Отарбай Ж.Е., 78

П

Паницкий А.В., 124, 137, 141,
 155, 158
 Пархомчук П.Е., 60
 Пахниц А.В., 57
 Пилюгина А.Л., 148
 Пичугин В.Ф., 188
 Платов А.В., 106
 Погребняк А.Д., 66
 Позняк В.Л., 150
 Полешко А.Н., 150
 Понкратов Ю.В., 59, 63, 68, 78,
 89
 Прозорова И.В., 79

Р

Радкевич А.В., 172
 Раимканова А.М., 167
 Рамазанов Т.С., 60, 84
 Рахадиллов Б.К., 52
 Рзаева С.В., 192
 Рогов А.С., 186
 Романенко В.В., 142
 Ртищев В.А., 138
 Рубан С.В., 80
 Рухин А.Б., 134
 Рыскулов А.Е., 81

С

Сагитов А.О., 189
 Садкин В.Л., 186
 Садуев Н.О., 53
 Садчиков В.И., 139
 Садыгов А., 168
 Садыгов З., 168
 Садыков Б.М., 108
 Сакута С.Б., 109
 Салихбаев У.С., 109
 Салманов Ф.Т., 115
 Салпиев Р.К., 189
 Салтанова И.В., 140
 Самбаев Е.К., 81
 Самедов О.А., 115, 168
 Самедов С.Ф., 115
 Самойлов В.В., 104
 Сарсенбаева Г.Б., 189
 Сатпаев Д.О., 65
 Седов А.Н., 53
 Сеитов А.С., 93
 Середавина Т.А., 134
 Сержанова З.Б., 170
 Сильнягина Н.С., 73
 Скаков М.К., 28, 51, 52, 54, 71,
 78, 89
 Скоркин В.М., 156
 Скуридин В.С., 186
 Сламкулов И.Е., 185
 Смирнов В.С., 49
 Стахов О.В., 134
 Стрильчук Ю.Г., 141

Субботин С.Б., 141, 142
 Сулейманов С., 168
 Сураев А.С., 45, 54
 Сушков П.А., 182
 Сушкова Н.С., 134

Т

Тагиев Т.Б., 83
 Тажединов И.Т., 179
 Тажен А.Б., 84
 Тажибаева И.Л., 28, 78, 79, 89
 Таниев Д.М., 117
 Ташекова А.Ж., 130
 Ташметов М.Ю., 66
 Темиралиев А.Т., 106
 Темиралиев Т., 104
 Тимонова Л.В., 135, 143
 Тлеубергенов Ж.К., 86, 87, 88
 Томина Н.М., 149
 Тоневицкая О.В., 141
 Топорова А.В., 141
 Торопов А.С., 171
 Торопова В.В., 172
 Тохетова Л.А., 180
 Трошев А.В., 56
 Трубников А.С., 46
 Тулубаев Е.Ю., 63, 78, 89
 Турсунов Р.А., 104
 Турубарова Л.Г., 94
 Турченко Д.В., 135, 141, 144,
 145

Тусеев Т.Т., 93
 Тюкавина Т.М., 182

У

Умаров М.А., 122, 136, 146, 160
 Уралов М.К., 72, 89
 Утениязова А.Б., 90

Ф

Файзуллаева Ж.Ж., 68
 Фатализаде Х.З., 115
 Федосимова А.И., 104, 106
 Федосов А.М., 91
 Филиппова Е.О., 188
 Фоков Ю.Г., 55, 112

Х

Хайдаров Р.Н., 175
 Халабуда Ю.Э., 92
 Ханкишиева Р.Ф., 194
 Харкин П.В., 147, 150, 157
 Хасенов М.У., 63
 Хвостенко П.П., 46
 Хромушин И.В., 93
 Хужаев С., 185

Ч

Чакрова Е.Т., 185

Чемерской Г.Ф., 60
 Чередниченко О.Г., 148
 Черемисин П.И., 56
 Чихрай Е.В., 59, 68

Ш

Шатров А.Н., 125
 Шестаков В.П., 59, 68
 Ширяева Н.М., 149
 Шуляк Г.И., 182
 Шурыгин В.А., 92

Э

Эдомская М.А., 147
 Эшниязов О.И., 41

Ю

Юсупова А.О., 185

Я

Яковенко Ю.Ю., 136, 141
 Якущенко В., 66
 Янкаускас А.Б., 173
 Яровчук А.В., 94
 Яцко С.Н., 149

Ответственные за выпуск:

Пятова З.И.

Технический редактор:

Перепелкин И.Г.

