2021
ВЫПУСК 2
ISSN 1729-7516

ВЕСТНИК НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(86), ИЮНЬ 2021

Издается с января 2000 г.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(86) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2021 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

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

ISSUE 2(86), JUNE 2021

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Скаков М.К., Жилкашинова А.М., Кабдрахманова С.К., Сейтқанова М.Е., Шаймардан Е., Акатан К. 4

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА ОТДЕЛЬНЫХ МАРОК (ВИДОВ) ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КАПСУЛ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕЙТРОНОАКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПО КОРОТКОЖИВУЩИМ ИЗОТОПАМ
Ленник С.Г., Соколенко Е.К., Бедельбекова К.А. 11

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ
Дорожкин И.П., Бакланова Ю.В., Мустафина Е.В. 19

МОНИТОРИНГ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Р. ШАГАН
Актаев М.Р., Айдарханов А.О., Айдарханова А.К., Пронин С.С., Искенов А.О. 25

РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ (ОБЗОР)
Семейко К.В., Малиновский А.И., Гребеньков А.Ж., Саенко С.Ю., Лобач К.В., Кустовская А.Д., Ляпощенко А.А., Склабинский В.И. 30

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА: БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРПУСА ДОКУМЕНТОВ, ОТОБРАННОГО ИЗ РОССИЙСКОГО ИНДЕКСА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Рыкова В.В. 42

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА И РЕГИСТРАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
Непеина К.С., Ан В.А. 47

STRUCTURE AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF PVDF+PbS/CdS NANOCOMPOSITES 53
A.A. Novruzova 53

ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНКЕ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ
Топорова А.В., Бакланова Ю.В., Стрильчук Ю.Г., Шатров А.Н. 57

СПИСОК АВТОРОВ 70

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-4-10
УДК 620.93

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

[2] Скаков М.К., [1] Жилкашинова А.М., [1] Кабдрахманова С.К., [1] Сейтқанова М.Е., [3] Шаймардан Е., [1] Акатан К.

[1] НАО «Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова», Усть-Каменогорск, Казахстан
[2] РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан
[3] НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: seitkanova05@mail.ru

В статье описаны результаты экспериментальных исследований по разработке новых активных электрокатализаторов для применения их в электродах мембранно-электродного блока твердооксидного водородно-воздушного топливного элемента. Поскольку состав синтезируемых катализаторов оказывает значительное влияние на его электрокинетическую активность (электропроводность), в работе проведен синтез наноразмерных биметаллических катализаторов различного качественного и количественного состава. Выбор металла для синтеза катализатора был обусловлен его электронным строением. Электрокаталитическая активность разработанных катализаторов оценивалась путем исследования активности катализаторов по отношению к разложению пероксида водорода. Разработанные биметаллические ПВПД-Pt/ZnO/C катализаторы проявляют активность по отношению к разложению пероксида водорода при 40–50 °С.

Ключевые слова: *мембранно-электродный блок, твердооксидный водородно-воздушный топливный элемент, электрокатализатор, электрокаталитическая активность, биметаллические катализаторы.*

Введение

Как известно [1–3], эффективность работы любого топливного элемента (ТЭ) во многом определяется активностью его электродов, поэтому разработка высокоэффективных электродов является основной задачей в получении топливного элемента с высоким КПД. Ускорить реакции в ТЭ можно только с помощью электродов, обладающих высокими каталитическими свойствами. Электроды должны обладать высокой электронной проводимостью, способностью адсорбировать и в той или иной степени активировать газ, химической инертностью по отношению к горючему и окислителю, а также электролиту [4]. Материалом для таких электродов могут служить специально обработанные - никель, кобальт, металлы группы платины, угли с сильно развитой поверхностью, на которые наносят катализаторы – мелкодисперсные порошки платины, родия и т.п. [5].

Часто применяемыми катализаторами для катода и анода низкотемпературных топливных элементов (метанольные топливные элементы, фосфорнокислотные топливные элементы, топливные элементы с протонообменной мембраной) являются композиционные материалы, состоящие из наночастиц платины или ее сплавов, нанесенных на поверхность электропроводного носителя [6].

В качестве носителя при синтезе наноразмерных катализаторов применяют различные углеродные материалы, которые должны обладать следующими свойствами: высокая проводимость; развитая удельная поверхность; коррозионная стойкость; термическая устойчивость; контролируемая пористая структура; эксплуатационные характеристики и возможность использования в составе композиционных материалов; относительно низкая стоимость. Этим критериям удовлетворяют различные по составу и свойствам углеродные материалы [7].

Введение в состав платинового катализатора некоторых d-металлов (Co, Fe, Ni, Cr, Ru, Re, V и др.) не только приводит к экономии драгоценного металла, но и может улучшать характеристики катализатора. Легирующий компонент, как правило, образует более или менее упорядоченный твердый раствор на основе платины, что в силу разных причин может повышать морфологическую стабильность и удельную каталитическую активность катализаторов. Свойства такого катализатора зависят от природы легирующего компонента, состава сплава и степени упорядоченности твердого раствора [5–7].

Применение в качестве электродов систем с наночастицами металлов платиновой группы, иммобилизованными на поверхности полимерных пленок [8–10], позволяет получать высокие токи выделения водорода и кислорода из водных растворов при относительно малом содержании металла-катализатора.

Для получения наночастиц платины, растворимых в органических растворителях, применяют специфические лиганды с длинными углеводородными цепями. Показано, что ионные жидкости также являются удобной средой для синтеза, стабилизации и каталитического использования наночастиц платины [10,11]. Водорастворимые полимеры с гетероатомами или с функциональными группами часто используются в качестве стабилизирующих лигандов. Весьма популярны в качестве лигандов дендримеры различного состава. Получены наночастицы платины с использованием поли(амидоамин) дендримера (PAMAM) в качестве лиганда для создания материалов с заданными свойствами [12]. Использовали комбинации поли(этиленоксида) (ПЭО) и поли(метилметакрилата) (ПММА) и ПЭО-ПММА-H_3PO_4 в качестве электролита PEMFC. Диффузионный слой электродов состоял из сажи Vulcan XC72R, эмульсии фторопласта и 1% водного раствора ПЭО; в каталитическом слое применен порошок 20% Pt/C, 20% тефлона и 0,5% ПЭО. В водородо-кислородном PEMFC при 80 °C получена плотность тока 1,4 А/см^2 при напряжении 0,5 В [11–14].

Вместе с тем, электрокатализатор ТЭ должен сочетать высокую активность и достаточную морфологическую стабильность в процессе работы. Обе эти характеристики зависят от структуры и состава катализатора. Учитывая, что условия эксплуатации катода и анода различаются так же, как и условия эксплуатации катализаторов в разных типах низкотемпературных топливных элементов, при их разработке возникает необходимость получения катализаторов с заданным средним размером наночастиц металла, достаточно узкой дисперсией их размерного распределения, с большей или меньшей степенью упорядоченности твердых растворов. Это необходимо для подбора катализатора, оптимально сочетающего характеристики стабильности и активности применительно к конкретным условиям эксплуатации топливного элемента. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является разработка и исследование эффективных каталитических систем для электродов ТЭ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электрокатализаторы Pt/Me, Pt/Me-Me были получены нами восстановлением прекурсоров металлов (платинохлороводородной кислоты $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ и хлоридов железа, кобальта, никеля и меди, а также нитрата серебра $FeCl_3 \cdot 5H_2O$; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$; $NiCl_2 \cdot 6H_2O$; $CuCl_2$; $AgNO_3$) тетрагидроборатом натрия ($NaBH_4$) гидратированным цитратом натрия ($C_6H_9Na_3O_9$). Все реактивы были аналитической чистоты без дополнительной очистки. Для предотвращения агрегации коллоидных частиц металлов был использован протектирующий агент поли(N-винилпирролидон) (ПВПД) Sigma-Aldrich с молекулярной массой 40000 (ПВПД$_{40}$). Дополнительная стабилизация моно- и биметаллических наночастиц металлов осуществлена с помощью оксида цинка (ZnO). С целью придания каталитической системе дополнительной активности, посаженный на оксид цинка катализатор смешивали с измельченным активированным углем марки БУА-А.

Полученные каталитические системы исследовали для каталитического дегидрирования этилового спирта и разложения пероксида водорода.

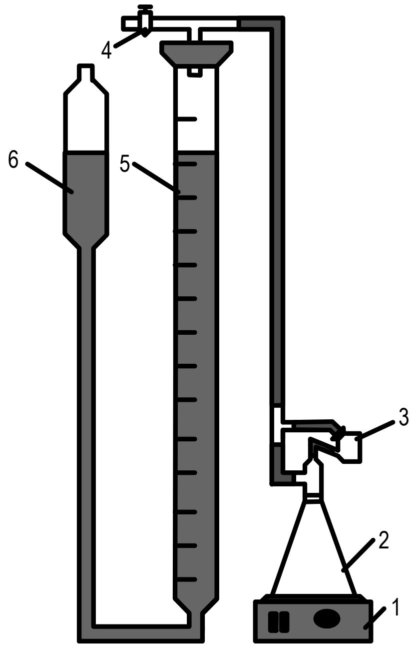
Электрокаталитические системы подготовлены следующим образом: готовят 0,001М растворы платины, железа, кобальта, никеля, меди и серебра, а также 10М раствор поли-N-винилпирролидона с молекулярной массой 40000. Раствор ПВПД$_{40}$ выдерживают в течение суток. Приготовление коллоидного раствора на основе протектированных ПВПД ионами металлов осуществляются простым перемешиванием для формирования координационной связи лиганд-металл в течение 2 часов в объемных соотношениях $V_{ПВПД40}$: $V_{ме-ме}$ ($V_{ме-ме}$) = 1:1. Для восстановления координированных ионов платины и металлов до нульвалентного состояния полученную смесь титруют 0,002М раствором боргидрида натрия (цитратом натрия) до появления окраски. По всему объему равномерно образуются нанодисперсные частицы платина-металл, формирование которых фиксируется визуально, процесс проводили при температуре 20 °C.

Для дополнительной стабилизации наночастиц, синтезированных с помощью жидкофазного химического восстановления, каталитические системы были нанесены на оксид цинка. Для этого 5 мл коллоидного раствора полимер-Me (полимер-Me-Me) смешивают с 0,1 г оксида цинка при интенсивном перемешивании в течение 5 часов для достижения равномерного распределения металлов на носителе – ZnO. Полученную суспензию отделяли посредством фильтрования на воронке Бюхнера, многократно промывали водой, затем сушили 2–3 ч при температуре 100 °C. Нанесение каталитических систем на высокодисперсный углеродный носитель позволяет максимально увеличить каталитически активную поверхность благородных металлов, в т.ч. платины и палладия при снижении её расхода, решить проблему уменьшения толщин активных слоев катода и анода, что является актуальным в случае низкотемпературных ТЭ. Полученную после иммобилизации наночастиц металлов на оксид цинка каталитическую систему смешивают с углеродной суспензией различной массы (0,05–5 г) активированного угля марки БУА-А. Для этого из 0,05 г угля и 10 мл дистилированной воды готовят суспензию угля и добавляют при интенсивном перемешивании в течение 2 часов 0,1 г катализатора состава ПВПД-Pt-Me/ZnO. Полученную смесь центрифугируют и сушат в течение 2 ч при температуре 100 °C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные каталитические системы состава ПВПД-Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C; ПВПД-Co/ZnO/C; ПВПД-Ni/ZnO/C; ПВПД-Cu/ZnO/C; ПВПД-Ag/ZnO/C и биметаллические системы ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C; ПВПД-Pt-Co/ZnO/C; ПВПД-Pt-Ni/ZnO/C; ПВПД-Pt-Cu/ZnO/C исследовали для каталитического дегидрирования этилового спирта и разложения пероксида водорода волюмометрическим методом.

Измеряли скорость разложения пероксида водорода и этилового спирта заданной концентрации в присутствии электрокатализаторов при различных температурах. Для этой цели применяли волюмометрический способ, который позволяет проследить за объемом выделяющегося кислорода и водорода соответственно по ходу протекания процесса, т. е. во времени: V_{O_2/H_2}. Установка схематически представлена на рисунке 1.



1 – магнитная мешалка, 2 – реактор, 3 – резервуар для катализатора, 4 – кран, 5 – волюмометр, 6 – уравнительная склянка

Рисунок 1. Схема установки

Для изучения влияния природы носителя, в т.ч. неорганический носитель – оксид цинка, стандартный – уголь и оксид цинка-уголь, а также определения оптимальной температуры катализа пероксида водорода и этилового спирта определение каталитической активности варьировали в широких пределах. На рисунках 2–4 приведены кривые кинетики разложения пероксида водорода монометаллическими каталитическими системами с неорганическим носителем состава ПВПД-Pt/ZnO; ПВПД-Fe/ZnO; ПВПД-Co/ZnO; ПВПД-Ni/ZnO; ПВПД-Cu/ZnO при температуре 40–50 °C.

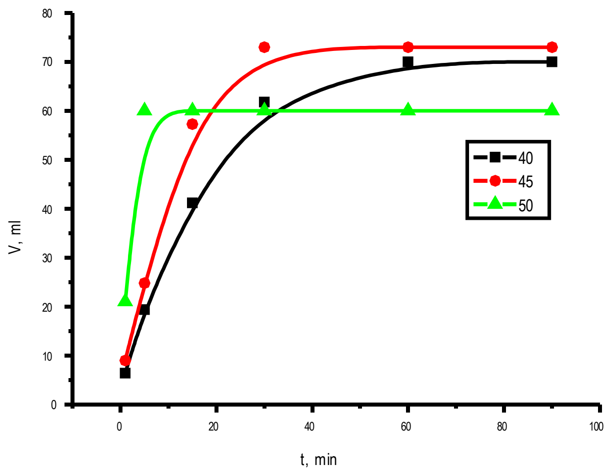
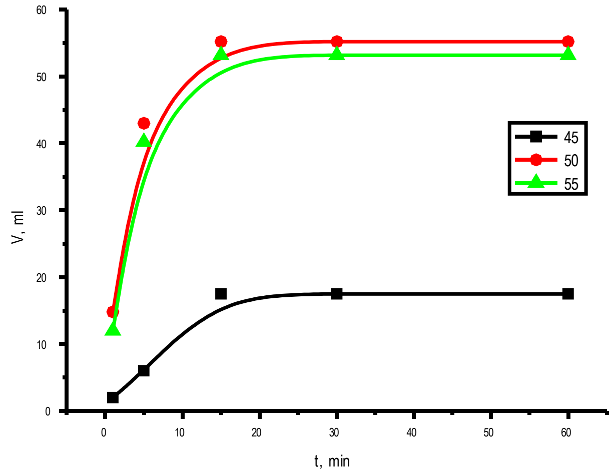
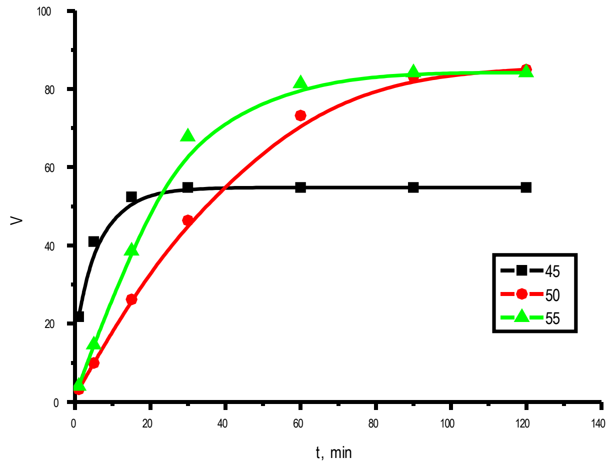


Рисунок 2. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором ПВПД-Pt/ZnO (m_{kt} = 0,03 г, $V(H_2O_2$ 30%) = 1 мл, температура 40–50 °C)

Условия катализа:
C_{Me} = 0,001 моль/л; C_{NaBH4} = 0,002 моль/л.
C_{PVP40} : C_{Me} = 10000 : 1; V_{PVP40} : V_{Me} = 1 : 1;
$V_{PVP40/Zno/Me}$ = 5 мл. m_{ZnO} = 0,1 г.



а)

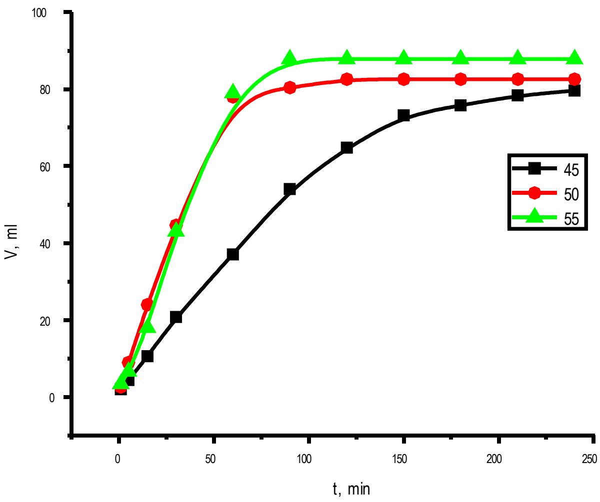


б)

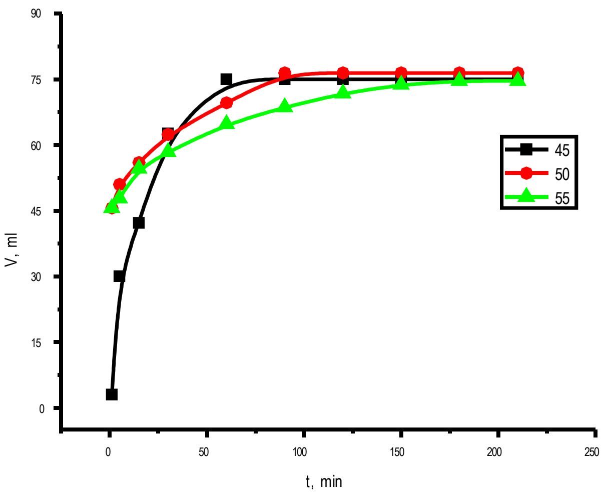
Рисунок 3. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором: а) ПВПД-Fe/ZnO, б) ПВПД-Co/ZnO (m_{kt} = 0,03 г, $V(H_2O_2$ 30%) = 1 мл, температура 40–50 °C)

Сравнительный анализ каталитической активности наночастиц металлов на оксидном носителе при разных температурах приведен на рисунке 4. Сильное влияние температуры на активность катализатора наблюдается для каталитических систем ПВПД-Fe/ZnO и ПВПД-Co/ZnO. Повышение температуры способствует незначительному росту активности для всех катализаторов (рисунок 4).

Наибольшую активность для разложения пероксида водорода проявил катализатор из наночастиц меди. При этом выход катализа при всех температурах в среднем равный (рисунок 5) и составляет около 85%. Наименьшая каталитическая активность наблюдается у катализаторов с наночастицами кобальта.



а)



б)

Рисунок 4. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором: а) ПВПД-Ni/ZnO, б) ПВПД-Cu/ZnO (m_{kt} = 0,03 г, V(H_2O_2 30%) = 1 мл, температура 40–50 °C

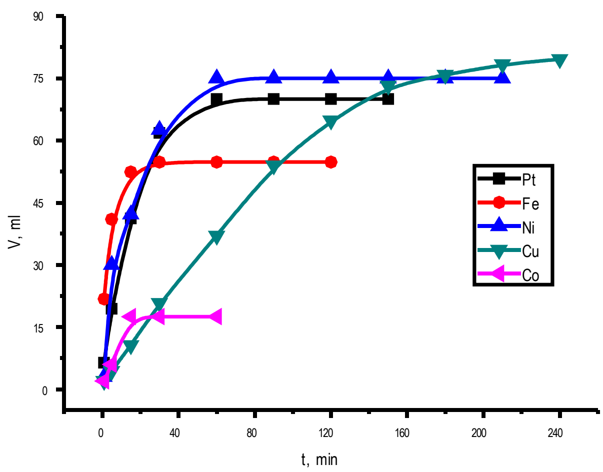
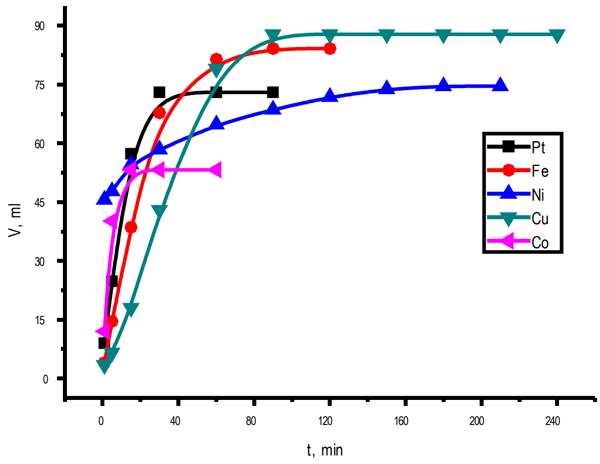
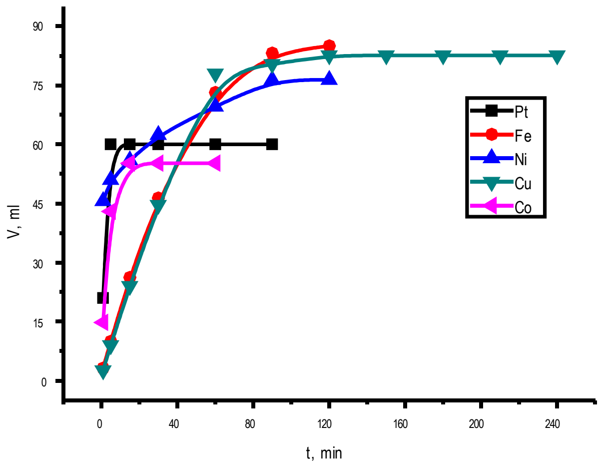


Рисунок 5. Сравнительная кинетика разложения пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-Me/ZnO (m_{kt} = 0,03 г, V(H_2O_2 30%) = 1 мл, температура 45 °C)

Оптимальной температурой разложения пероксида водорода каталитическими системами ПВПД-Me/ZnO является 55 °C (рисунок 6).



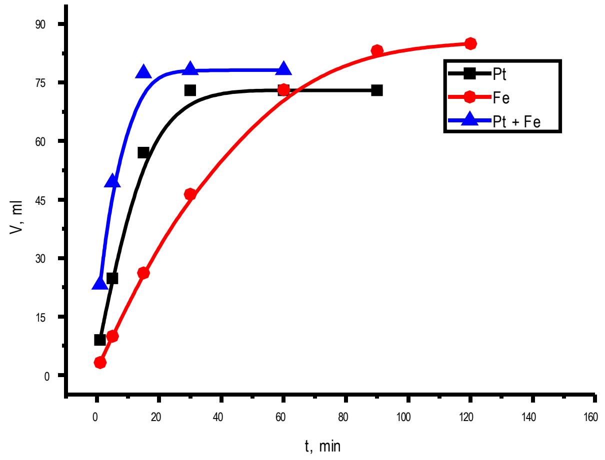
а) температура 50 °C



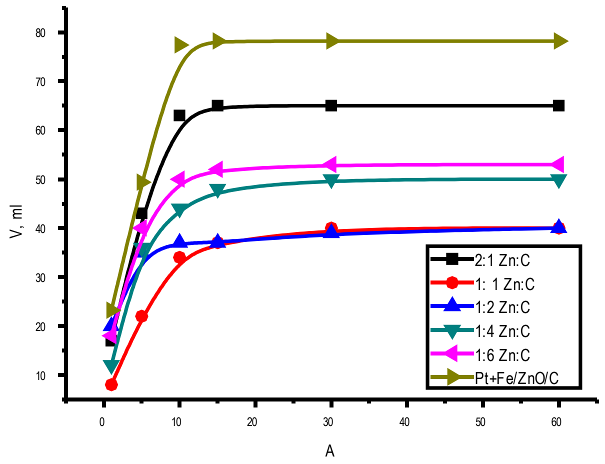
б) температура 55 °C

Рисунок 6. Сравнительная кинетика разложения пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-Me/ZnO (m_{kt} = 0,03 г, V(H_2O_2 30%) = 1 мл

Для сравнения каталитической активности моно- и биметаллических наночастиц металлов построили график зависимости объема выделенного кислорода от времени при разложении пероксида водорода каталитической системой ПВПД-Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C и ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C на смешанном носителе (рисунок 6). Согласно полученным данным при использовании биметаллических наночастиц металлов ускоряется время разложения пероксида водорода в 2 и 5 раза, выход кислорода составляет 80%. Выход кислорода при использовании железного катализатора составляет 85%, но скорость реакции идет медленно по сравнению с биметаллическими катализаторами.



а)



б)

Рисунок 7. Сравнительная кинетика разложения: а) пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C; ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C (m_{kt} = 0,03 г, V(H_2O_2 30%) = 1 мл), б) этилового спирта катализатором ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C в разных соотношениях активированного угля по отношению к ZnO (m_{kt} = 0,03 г, V(C_2H_5OH 90%) = 1 мл)

Кинетика разложения этилового спирта на примере катализатора ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C в разных соотношениях активированного угля по отношению к ZnO приведена на рисунке 7, б. Полученные кривые показали, что биметаллические наночастицы металлов проявили наибольшую активность при разложении спирта.

Заключение

Таким образом, в работе показан способ получения моно- и биметаллических наночастиц металлов на неорганическом и угольном носителях в присутствии стабилизирующего полимера (ПВПД). Данный способ может найти применение в процессах каталитического дегидрирования органических соединений и разложения пероксида водорода. Полученные наносистемы проявили каталитическую активность в реакциях разложения пероксида водорода и этилового спирта. Установлено, что наибольшую активность проявляют биметаллические наночастицы платины, по сравнению с монометаллическими наносистемами. Повышение температуры способствует незначительному росту активности для всех катализаторов.

Установлено, что использование биметаллических наночастиц платины ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C позволяет ускорить время разложения пероксида водорода в 2 и 5 раза, выход кислорода составляет около 80%.

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

Литература

1. EUR 20719 EN – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2013.
2. Арзуманян Н., Микаэлян А., Данелян А. Топливные элементы - вчера, сегодня, завтра. // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 10. – С. 65–68.
3. Афанасьев К. Топливные элементы - батарейки будущего. // Радиолюбитель. – 2012. – № 2. – С. 26–29.
4. Edited by S.C. Singhal, K. Kendall. High-temperature solid oxide fuel cell: fundamentals, design and applications. Imprint // Elsevier advanced technology. – 2015. – 405 p.
5. M. ELSayed Youssef, Khairia E.AL-NAdi, Moataz H.Khalil. Lumped Model for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) // Int. J. Electrochem. Sci. – 5 (2010). – P. 267–277.
6. Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. – М.: Издательство «Мир», 1964. – 235 с.
7. Гаврин С.С. Разработка нанокомпозитных электродов для источников тока в электронике – Афтореф. на соискание ученой степени к.т.н. – Москва – 2010 г.
8. Шорникова О.Н., Максимова Н.В., Авдеев В.В. Связующие для полимерных композиционных материалов. – М., 2010. – 52 с.
9. Ставицкая С.С., Гоба В.Е. Однороднопористые наноразмерные углеродные материалы аэрогельного типа с молекулярно-ситовыми свойствами // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2009. – Т. 7, № 3. – С. 683–699.
10. Thompsett D. Catalysts for the Proton Exchange Membrane Fuel Cell, in: Handbook of Fuel Cells. Fundamentals, Technology and Applications. Editors: Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A. Sohn, Wiley & Sons Ltd. – New York, USA. – 2014. – Vol. 3. – P. 6-1–6-23.
11. Hubert A. Gasteiger, Shyam S. Kocha, Bhaskar Sompalli, Frederick T. Wagner. Activity benchmarks and requirements for Pt, Pt-alloy, and non-Pt oxygen reduction catalysts for PEMFCs // Applied Catalysis B: Environmental. – Vol. 56 (2005). – P. 9–35.
12. Xiong L., Manthiram A. Effect of Atomic Ordering on the Catalytic Activity of Carbon Supported PtM (M=Fe, Co, Ni and Cu) Alloys for Oxygen Reduction in PEMFCs // Journal of The Electrochemical Society. – Vol. 152 (2014). – P. 697–703.

13. Xiong L., Kannan A. M., Manthiram A. Pt-M (M=Fe, Co, Ni and Cu) electrocatalysts synthesized by an aqueous route for proton exchange membrane fuel cells // Electrochemistry Communications. – Vol. 4 (2016). P. 898–903.
14. Salgado J.R.C., Antolini E., Gonzalez E.R. Preparation of Pt-Co/C electrocatalysts by reduction with borohydride in acid and alkaline media: the effect on the performance of the catalyst // Journal of Power Sources. Vol. 138 (2004). P. 56–60.

REFERENCES

1. EUR 20719 EN – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vısıon of our future Luxembourg: Office for Offıcıal Publıcatıons of the European Communıtıes 2013.
2. Arzumanyan N., Mikaelyan A., Danelyan A. Toplivnye elementy - vchera, segodnya, zavtra. // Alternativnaya energetika i ekologiya. – 2010. – No. 10. – P. 65–68.
3. Afanasev K. Toplivnye elementy – batareiki buduschego. // Radiolyubitel. – 2012. – No. 2. – P. 26–29.
4. Edıted by S.C. Sınghal, K. Kendall. Hıgh-temperature solıd oxıde fuel cell: fundamentals, desıgn and applıcatıons. Imprınt // Elsevıer advanced technology. - 2015. – 405 p.
5. M. ELSayed Youssef, Khaırıa E.AL-NAdı, Moataz H.Khalıl. Lumped Model for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) // Int. J. Electrochem. Scı. – 5 (2010). – P. 267–277.
6. Yusti E., Vinzel A. Toplivnye elementy. – Moscow: Izdatelstvo “Mir”, 1964. – 235 p.
7. Gavrin S.S. Razrabotka nanokompozitnyh elektrodov dlya istochnikov toka v elektronike – Aftoref. na soiskanie uchenoi stepeni k.t.n. – Moscow – 2010.
8. Şornikova O.N., Maksimova N.V., Avdeev V.V. Svyazuyuschie dlya polimernyh kompozisionnyh materialov. – M., 2010. – 52 p.
9. Staviskaya S.S., Goba V.E. Odorodnoporistye nanorazmernye uglerodnye materialy aerogelnogo tipa s molekulyarno-sitovymi svoistvami // Nanosistemy, nanomaterialy, nanotehnologii. – 2009. – Vol. 7, No. 3. – P. 683–699.
10. Thompsett D. Catalysts for the Proton Exchange Membrane Fuel Cell, ın: Handbook of Fuel Cells. Fundamentals, Technology and Applıcatıons. Edıtors: Vıelstıch W., Lamm A., Gasteıger H.A. Sohn, Wıley & Sons Ltd. – New York, USA. – 2014. – Vol. 3. – P. 6-1–6-23.
11. Hubert A. Gasteıger, Shyam S. Kocha, Bhaskar Sompallı, Frederıck T. Wagner. Actıvıty benchmarks and requırements for Pt, Pt-alloy, and non-Pt oxygen reductıon catalysts for PEMFCs // Applıed Catalysıs B: Envıronmental. – Vol. 56 (2005). – P. 9–35.
12. Xıong L., Manthıram A. Effect of Atomıc Orderıng on the Catalytıc Actıvıty of Carbon Supported PtM (M=Fe, Co, Nı and Cu) Alloys for Oxygen Reductıon ın PEMFCs // Journal of The Electrochemıcal Socıety. – Vol. 152 (2014). – P. 697–703.
13. Xıong L., Kannan A. M., Manthıram A. Pt-M (M=Fe, Co, Nı and Cu) electrocatalysts synthesızed by an aqueous route for proton exchange membrane fuel cells // Electrochemıstry Communıcatıons. – Vol. 4 (2016). P. 898–903.
14. Salgado J.R.C., Antolını E., Gonzalez E.R. Preparatıon of Pt-Co/C electrocatalysts by reductıon wıth borohydrıde ın acıd and alkalıne medıa: the effect on the performance of the catalyst // Journal of Power Sources. Vol. 138 (2004). P. 56–60.

ҚАТТЫ ОКСИДТІ СУТЕГІ-АУА ОТЫН ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОДТАРЫ ҮШІН ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

[2] М.К. Скаков, [1] А.М. Жилкашинова, [1] С.К. Кабдрахманова,[1] М.Е. Сейтканова, [3] Е. Шаймардан, [1] К. Акатан

[1] С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан
[2] Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығы РМК, Курчатов, Қазақстан
[3] Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Мақалада қатты оксидті сутегі-ауа отын элементінің мембраналық электродты блогының электродтарында қолдану үшін жаңа белсенді электрокатализаторларды жасау бойынша тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері сипатталған. Синтезделген катализаторлардың құрамы оның электрокинетикалық белсенділігіне (электр өткізгіштігіне) айтарлықтай әсер ететіндіктен, жұмыста әртүрлі сапалық және сандық құрамдағы наноөлшемді биметалды катализаторлардың синтезі жүргізілді. Катализаторды синтездеу үшін металды таңдау оның электронды құрылымына байланысты болды. Әзірленген катализаторлардың электрокаталитикалық белсенділігі катализаторлардың сутегі асқын тотығының ыдырауына қатысты белсенділігін зерттеу арқылы бағаланды. Әзірленген биметалл ПВПД-Pt/ZnO/C катализаторлары сутегі пероксидінің 40–50 °С кезінде ыдырауына қатысты белсенділік танытады.

Түйін сөздер: *мембраналық-электродты блок, қатты оксидті сутегі-ауа отын элементі, электрокатализатор, электрокаталитикалық белсенділік, биметалл катализаторлары.*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ELECTROCATALYTIC SYSTEMS FOR ELECTRODES OF SOLID-OXIDE HYDROGEN-AIR FUEL CELLS

[2] M.K. Skakov, [1] A.M. Zhilkashinova, [1] S.K. Kabdrakhmanova, [1] M.E. Seitkanova, [3] E. Shaimardan, [1] K. Akatan

[1] NAO "East Kazakhstan University named after S. Amanzholov", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
[2] RSE "National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan", Kurchatov, Kazakhstan
[3] NAO "Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev", Almaty, Kazakhstan

The article describes the results of experimental studies on the development of new active electrocatalysts for their use in the electrodes of the membrane-electrode block of a solid-oxide hydrogen-air fuel cell. Since the composition of the synthesized catalysts has a significant effect on its electrokinetic activity (electrical conductivity), the synthesis of nanoscale bimetallic catalysts of various qualitative and quantitative compositions is carried out. The choice of metal for the synthesis of the catalyst was determined by its electronic structure. The electrocatalytic activity of the developed catalysts was evaluated by studying the activity of the catalysts with respect to the decomposition of hydrogen peroxide. The developed bimetallic PVPD-Pt/ZnO/C catalysts exhibit activity with respect to the decomposition of hydrogen peroxide at 40–50 °C.
Keywords: *membrane-electrode block, solid-oxide hydrogen-air fuel cell, electrocatalyst, electrocatalytic activity, bimetallic catalysts.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-11-18
УДК: 543.621

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА ОТДЕЛЬНЫХ МАРОК (ВИДОВ) ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КАПСУЛ, НЕОБХОДИМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕЙТРОНОАКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПО КОРОТКОЖИВУЩИМ ИЗОТОПАМ

Ленник С.Г., Соколенко Е.К., Бедельбекова К.А.

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики, Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: lennik_s@inp.kz

Для пополнения специфического расходного материала изготовлены экспериментальные образцы транспортных капсул, предназначенных для проведения нейтроноактивационного анализа по короткоживущим изотопам. Изучено соответствие изготовленных капсул реальным условиям их транспортировки. Проведено исследование элементного состава материала капсул. Анализ спектров наведенной активности показал наличие примесей металлов в полиэтилене, которые необходимо учитывать при проведении нейтроноактивационного анализа.

Ключевые слова: *нейтроноактивационный анализ, пневмотранспортная система, короткоживущие изотопы, полиэтилен, реактор.*

Введение

Нейтроноактивационный анализ (НАА) давно и прочно зарекомендовал себя как надежное средство для решения множества научных и практических задач различных сфер производства. Развитие этого метода в Казахстане началось в 1961 году прошлого столетия после создания в Институте ядерной физики (ИЯФ) лаборатории активационного анализа, в настоящее время – лаборатория ядерно-физических методов анализа. Необходимость этого метода была определена Президентом АН КазССР академиком К.И. Сатпаевым. Он отметил, в частности, что применение НАА в геологии Казахстана имеет очень большое значение: «Активационный анализ должен способствовать наиболее рациональному использованию ископаемых с максимально полным извлечением всех имеющихся в них полезных компонентов».

Наиболее продуктивный период развития НАА в ИЯФ наступил осенью 1967 г. в связи с вводом в эксплуатацию основной облучательной установки – атомного реактора ВВР-К. Использование этого метода позволило успешно решать ряд задач в археологии, криминалистике, медицине, биологии, сельском хозяйстве. Но основные достижения были получены в металлургии – анализ чистых и сверхчистых материалов; в геологии – разведка и подсчет запасов полезных ископаемых; в экологии и радиоэкологии – контроль объектов окружающей среды в промышленных районах и на местах проведения ядерных испытаний (Семипалатинский ядерный полигон, Азгир и др.). Для решения этих задач на атомном реакторе ВВР-К были созданы специальные пневмотранспортные устройства. Так, непосредственно в зале реактора была смонтирована автоматическая установка для определения урана методом запаздывающих нейтронов (МЗН – разновидность НАА), которая была задействована на вертикальном канале с потоком тепловых нейтронов $1{,}4\cdot10^{13}$ н·см$^{-2}$·с$^{-1}$. В период с 1981 г. по 1988 г. на этой установке было выполнено более 80 тыс. анализов различных геологических образцов. Внедрение этих результатов позволило впервые в СССР провести широкие региональные исследования по урану с недоступной ранее точностью. На основе полученных данных были составлены геохимические карты многих регионов страны. На горизонтальном канале с потоком тепловых нейтронов 1 10^{13} н·см$^{-2}$·с$^{-1}$ была смонтирована двухканальная пневмопочта (один из каналов был обеспечен кадмиевым экраном) для проведения НАА по короткоживущим изотопам (КЖИ). Метод НАА по КЖИ позволяет проводить определение целого ряда элементов: Na, K, Al, S, Cl, Ca, V, Mn, Mg, Cu, Co, Ba, Eu, Dy, Th, U, In, Sr, Sn, среди которых большая часть не имеет долгоживущих изотопов и определяется методом НАА исключительно по КЖИ. Использование этого метода обеспечивает существенное расширение списка определяемых элементов и улучшение чувствительности определения отдельных из них. Применение метода НАА (включая КЖИ) позволило решить ряд практических задач для промышленных и производственных предприятий, а также научных организаций Казахстана и бывшего СССР. Практическая значимость этих работ подтверждена 8 актами внедрения и актом об участии в открытии 5 месторождений ванадия в нефти [1–2].

После аварии в Чернобыле (1986 г.) появилась общая тенденция к консервации и сокращению действующих исследовательских реакторов, которая достигла своего апогея с развалом СССР: в ИЯФ реактор ВВР-К был заглушен, а установка МЗН и двухканальная пневмопочта для НАА по КЖИ демонтированы.

В настоящее время в связи с необходимостью индустриализации страны, актуальность развития НАА в Казахстане обоснована необходимостью решения множества всевозможных аналитических задач. В связи с этим в ИЯФ выполнен значительный объем работ по реконструкции и переводу реактора ВВР-К на низкообогащенное топливо (без существенного изменения потока и спектра нейтронов). Разработаны и утверждены органами Госстандарта РК методика многоэлементного анализа (34 элемента) почвы, руды, геологических пород и продуктов их технологической переработки, а также специализированная методика определения содержания редкоземельных металлов (Lu, Tb, Tm, Eu, Ho, Yb, Sc, Sm, Gd, La, Nd, Ce, Y) в этих же объектах [3–6]. Для проведения работ по НАА различных объектов на базе обновленного реактора приобретено и успешно используется современное спектрометрическое оборудование («Canberra», «Ortec»), а для проведения инструментального НАА по КЖИ в сухом горизонтальном канале с плотностью потока нейтронов 10^{11} н·см$^{-2}$·с$^{-1}$ установлена новая пневмотранспортная система (ПТС). Созданная новая ПТС позволяет повысить экспрессность и производительность НАА. Эти характеристики являются особо важными при проведении массовых анализов, в частности, при изучении элементного состава геологических объектов. В процессе освоения этой установки выявилась простая, но труднорешаемая в реальных условиях проблема, связанная со спецификой используемого метода и условиями его реализации. Решению этой проблемы и посвящена настоящая статья.

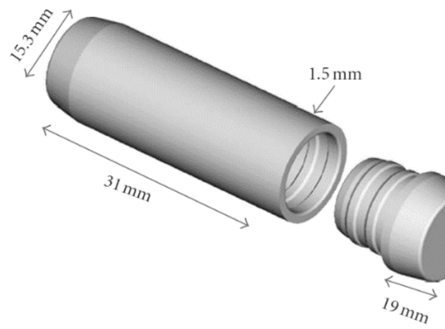
Автоматизированная пневмотранспортная система

Автоматизированная ПТС состоит из главного управляющего кабинета (ГУК), компрессора, двух ресиверов, гамма-спектрометра, управляющего компьютера со специальным программным обеспечением [7]. На рисунке 1 приведен внешний вид ГУК, внешние размеры которого составляют 138 см по ширине и 218 см по высоте, масса 70 кг.

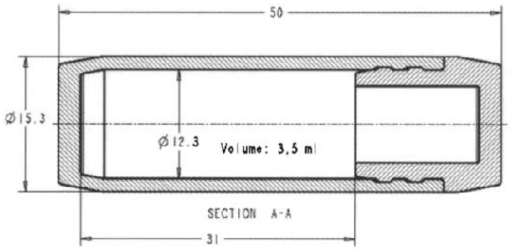
Сжатый воздух производится с помощью компрессора, который подключен к воздушной системе ПТС. Установленный в ГУК ресивер используется для транспортировки транспортной капсулы в горизонтальный канал, доходящий до сердцевины реакторной зоны, где в тубусе из специального сплава происходит облучение капсулы с материалом. В непосредственной близости от канала реактора расположен второй ресивер, который подключен к воздушной системе ПТС и обеспечивает производство сжатого воздуха для извлечения транспортной капсулы после окончания облучения из реактора в ГУК. Далее, в зависимости от задачи, транспортная капсула поступает либо в отстойник (свинцовый колодец) для остывания, либо непосредственно в приемную измерительную камеру, расположенную напротив окна горизонтального гамма-детектора «CANBERRA» GC2018 (разрешение 1,8 кэВ для гамма-линии ^{60}Co с энергией 1332,5 кэВ, относительная эффективность 20%) для регистрации наведенного гамма-излучения. Геометрия измерений (расстояние от измерительной камеры до окна детектора) может варьироваться. Процесс управления ПТС осуществляется с помощью специального программного обеспечения, позволяющего выбрать режимы облучения, указать массу образца, время выдержки в канале реакторной зоны КИР ВВР-К, время «остывания» перед началом регистрации и время регистрации спектра γ-излучения. Есть возможность записи γ-спектров наведенной активности серийно (через определенные промежутки времени), что позволяет наблюдать, как в исследуемом образце происходит распад наблюдаемых короткоживущих изотопов.

Рисунок 1. Внешний вид главного управляющего кабинета пневматической транспортной системы

До настоящего времени исследования методом НАА по КЖИ проводились эпизодически в небольшом количестве. Сейчас усилия специалистов направлены на полноценное включение ПТС в рабочий цикл проведения исследований методом НАА. На этом пути одним из немаловажных этапов является пополнение расходных материалов для ПТС. Небольшая партия оригинальных капсул для упаковки образцов и проведения облучения была предусмотрена вместе с комплектующими для ПТС. Этот запас практически полностью израсходован при проведении тестовых работ. Для обеспечения проведения дальнейших массовых исследований возникла задача обеспечить пополнение количества капсул, и в первую очередь транспортных облучательных капсул. Внешний вид и размеры транспортной капсулы, применимой для данной модели ПТС, приведены на рисунке 2. В документации на ПТС указано, что материалом для капсул служит полиэтилен высокой плотности. Согласно чертежу (рисунок 2), крышка транспортной капсулы закрывается за счет выступов пазов, что обеспечивает герметичность упаковки. Кроме того, эти же пазы не позволяет открыть крышку капсулы без повреждения и, таким образом, эти транспортные капсулы являются расходным материалом, предназначенным для разового применения.



а) внешний вид



б) чертеж

Рисунок 2. Транспортная капсула для ПТС

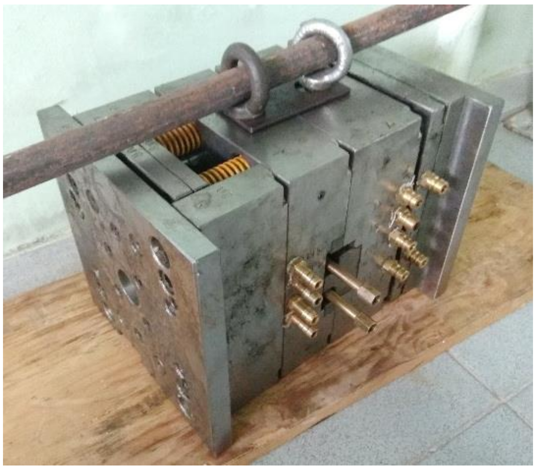
Для производства работ методом НАА на используемой ПТС транспортные капсулы должны удовлетворять следующим требованиям: размеры и геометрия капсул точно соответствуют чертежу, представленному на рисунке 2 [7]; полиэтилен, из которого изготовлены капсулы, должен обеспечивать достаточную плотность, твердость, гладкость поверхности, позволяющие передвижение капсулы по трубопроводу ПТС без застревания; недопустимо образование стружки при движении капсулы (за счет чего происходило бы торможение капсулы и засорение трубопровода ПТС); стойкость к повышенной температуре и деформации, возникающих при облучении нейтронами. Кроме того, обязательным условием при использовании транспортных капсул в качестве измерительных является химическая чистота материала капсул, поскольку наведенное излучение от облученной капсулы невозможно отличить от излучения исследуемого образца [8].

Для решения задачи пополнения расходного материала для ПТС были рассмотрены варианты либо покупки капсул, либо их производства. Оригинальные капсулы, согласно этикетке на упаковке, были изготовлены Нидерландским производителем пластиковых изделий PostHumus (PH) из полиэтилена высокой плотности HDPE (High Density Polyethylene), конкретная марка не указана. Данные капсулы являются дорогостоящими и в условиях системы государственных закупок этот вариант приобретения является практически недоступным. Другим вариантом явилось бы самостоятельное производство необходимого количества капсул. Для этого при содействии сотрудников лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (ЛНФ ОИЯИ) в рамках выполнения гранта полномочного представителя Республики Казахстан в ОИЯИ на предприятии ООО «Полипак» г. Дубна, Московская обл., РФ была изготовлена пресс-форма, предназначенная для одновременного литья одной транспортной капсулы с крышкой. В начале 2020 г. пресс-форма поступила в ИЯФ. Ближайший подходящий для нее пресс был найден на заводе пластиковых изделий ТОО «Alpha Plast» (расположенном в 15 км от ИЯФ, в поселке Байтерек, Енбекшиказахского района Алматинской области). Из марок полиэтилена, имеющихся в наличии на пластиковом заводе (полиэтилен высокой плотности HDPE J2210 и HDPE T50, низкого давления ПНД и высокого давления ПЭВД), а также материала, применявшегося при эксплуатации старой пневмопочты в ИЯФ (марка 15813-020 Хемолимпекс), были отлиты небольшие партии экспериментальных капсул. Также для исследований применялась экспериментальная партия капсул из материала ПВД 158, отлитых в ООО «Полипак». Вся имеющаяся в распоряжении информация о материале полиэтиленовых капсул представлена в таблице.

Таблица. Данные об исследуемых образах полиэтилена

№	Марка полиэтилена	Произво-дитель	Плотность, г/см^3	Объект для изучения	
				гранулы	изделие
1	HDPE (Original)	ЕС	нет информации		+
2	HDPE J2210	Узбекистан	0,958–0,962	+	+
3	HDPE T50	Туркменистан	0,951–0,955	+	+
4	ПНД	нет информации	нет информации		+
5	ПЭВД	Иран	нет информации		+
6	15813-020 Хемолимпекс	СССР	0,917±0,921	+	+
7	ПВД 158	РФ	0,919		+

На рисунке 3 представлены фотографии пресс-формы для изготовления одной транспортной капсулы и крышки. Масса пресс-формы порядка 100 кг. На рисунке 3, а показана пресс-формы в собранном виде, подготовленная для переноса – в верхней части есть специальные кольца для подъема. На рисунке 3, б показан фрагмент рабочего процесса отливки капсул, когда пресс-форма установлена на станке, подключены шланги подачи воздуха и охлаждения, фотография сделана в момент съема готового изделия – транспортной капсулы и крышки.



а) пресс-форма неподключенная

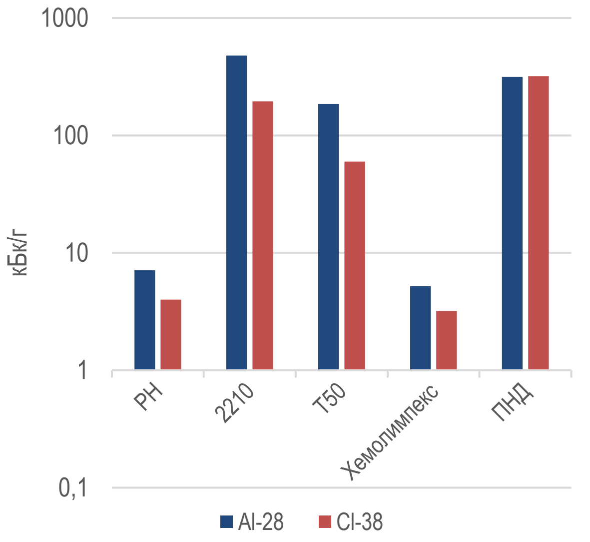
б) пресс-форма в работе

Рисунок 3. Пресс-формы для изготовления одной транспортной капсулы и крышки

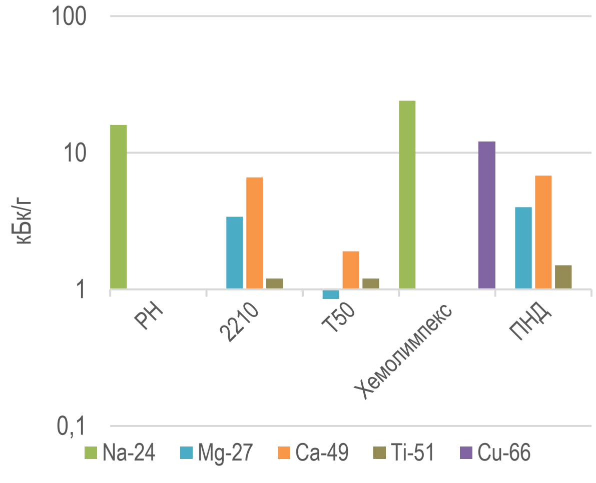
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено изучение имеющихся полиэтиленовых гранул и капсул (согласно таблице) методом НАА.

Для определения элементного состава капсул полиэтилена, а именно способности активироваться нейтронами при проведении НАА по КЖИ, было проведено облучение на ПТС и дальнейшее исследование спектров наведенной активности. Материал засыпался в стандартные капсулы. Масса определялась на аналитических весах с точностью 0,001 г. Облучение проводилось в течение 5 минут. Далее облученная капсула поступала в измерительную камеру на гамма-спектрометр и проводилась регистрация серии из шести спектров для $T_{охл}$ (время охлаждения, прошедшее после активации капсулы) 0, 60, 120, 180, 240 и 300 с. Время набора спектра $T_{изм}$ при этом составляло 60, 60, 60, 60, 60 и 300 с, соответственно. В таком же режиме облучалась и измерялась пустая стандартная капсула. Обсчет спектров выполнен с использованием пакета программного обеспечения Genie-2000 с учетом фона, а именно с вычитанием активности пустой стандартной капсулы, в которой получались гранулы. Значения активностей (10^3 Бк/г) примесных изотопов в полиэтиленовых гранулах, вычисленных на момент окончания активации, представлены на рисунке 4. На рисунке 4, а показаны величины активностей радионуклидов Al и Cl, присутствующих во всех исследуемых материалах. На рисунке 4, б – активностей радионуклидов Na, Mg, Ca, Ti и Cu, которые можно рассматривать как элементы-маркеры, характерные для технологии производства полиэтиленовых гранул.



а) активности радионуклидов Al и Cl



б) активности радионуклидов Na, Mg, Ca, Ti и Cu

Рисунок 4. Активности (кБк/г) примесных изотопов в полиэтиленовых гранулах

Выполнена проверка способности капсул преодолевать трубопровод ПТС без застревания при транспортировке их в реактор и обратно. Ход капсул по трубопроводу ПТС отслеживался с помощью системы оптических датчиков, установленных на контрольных узлах ПТС. Серия «выстрелов» показала хорошую пригодность для этих целей капсул из материала высокой плотности HDPE T50 и HDPE 2210. Капсулы из полиэтилена низкого давления ПНД неоднократно застревали в ПТС, причем транспортировка в реактор проходила без затруднений, а после облучения, на этапе транспортировки из реактора, эти капсулы приходилось извлекать путем продувки системы. Капсулы ПЭВД, 15813-020 Хемолимпекс и ПВД 158 оказались полностью непригодными для использования в качестве транспортных капсул в связи с образованием большого количества стружки и застреванием почти при каждом испытании.

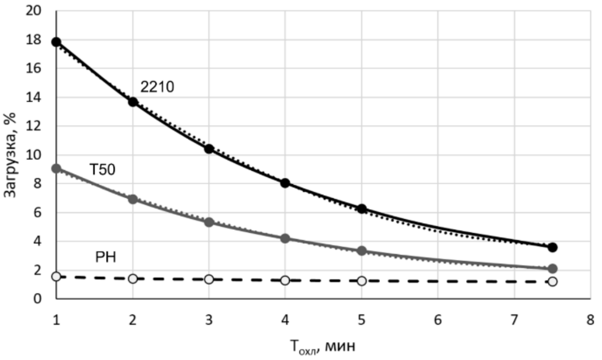


Рисунок 5. Загрузка гамма-спектрометрического оборудования от облученных пустых капсул Post Humus, T50 и 2210

Проведено сравнительное сличение спектров наведенной активности пустых капсул, отлитых из полиэтилена высокой плотности: PostHumus Original (PH), 2210 и T50 для времени облучения $T_{обл}$ = 60, 120, 180 и 300 секунд. Автоматическая регистрация спектров проводилась аналогично исследованию полиэтиленовых гранул: сериями из шести спектров для $T_{охл}$ = 0, 60, 120, 180, 240 и 300 с; $T_{изм}$ = 60, 60, 60, 60, 60 и 300 с, соответственно. На рисунке 5 представлены данные по загрузке гамма-спектрометра (мертвое время) в процентах для используемого режима регистрации спектров. Для спектров с $T_{охл}$ = 300 с и $T_{изм}$ = 300 с, соответствующие им значения мертвого времени указаны для середины временного интервала – измерение проводилось с 5-й по 10-ю минуту.

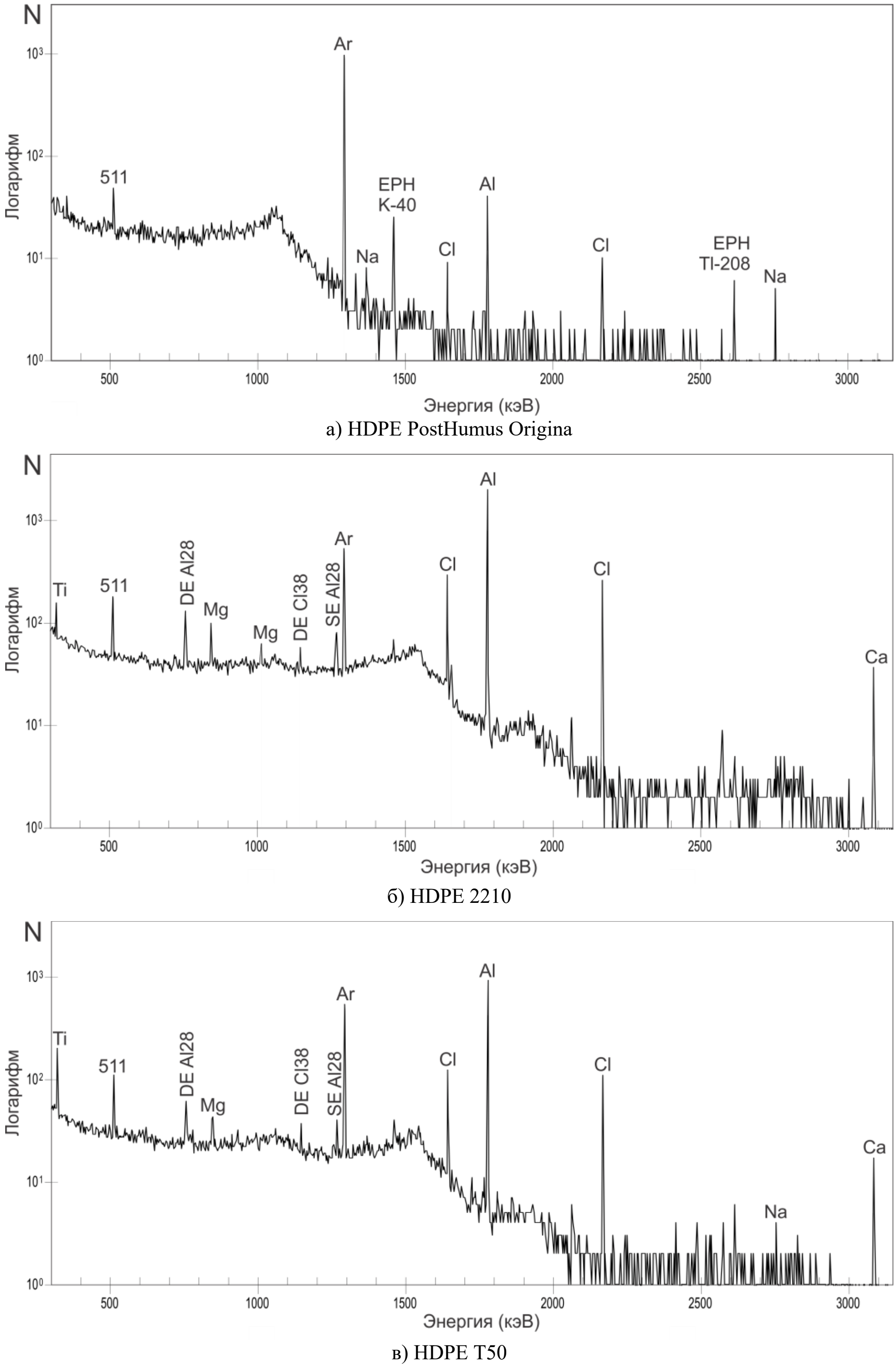
Для режима $T_{обл}$ = 300 с, $T_{охл}$ = 300 с, $T_{изм}$ = 300 с представлены наблюдаемые гамма-спектры пустых капсул, отлитых из полиэтилена высокой плотности HDPE PostHumus (рисунок 6, а), HDPE 2210 (рисунок 6, б) и HDPE T50 (рисунок 6, в). По вертикали в логарифмической шкале отложено количество зарегистрированных гамма импульсов (N), по горизонтали – энергия гамма излучения в кэВ. В спектрах наблюдаются аналитические сигналы радионуклидов Na-24 (E_γ = 1368,6 кэВ и 2754,0 кэВ) с периодом полураспада $T_{1/2}$ = 15 ч, Mg-27 (E_γ = 843,8 кэВ) $T_{1/2}$ = 9,5 мин., Al-28 (E_γ = 1273,3 кэВ) $T_{1/2}$ = 2,2 мин., Cl-38 (E_γ = 1642,7 кэВ и 1293,6 кэВ) $T_{1/2}$ = 37 мин., Ca-49 (E_γ = 3084,4 кэВ) $T_{1/2}$ = 8,7 мин., Ti-51 (E_γ = 320,1 кэВ) $T_{1/2}$ = 5,8 мин. В спектре присутствуют пики двойной и одиночной утечки (полное поглощение, за исключением двух или одного аннигиляционного фотона с энергией 511 кэВ): это энергии 757 кэВ, 1146 кэВ, 1268 кэВ, (так называемые, SE-single-escape и DE-dowble-escape) радионуклидов Al-28 и Cl-38. Также в спектре оригинальной капсулы из материала HDPE PostHumus наблюдается фоновое излучение естественных радионуклидов (ЕРН) K-40 (1461 кэВ), Tl-208 (2614 кэВ). В спектрах капсул из материала HDPE 2210 и HDPE T50 пики ЕРН не видны, т.к. «утоплены» под общим пьедесталом спектра.

С уменьшением времени облучения капсул, в спектрах наведенной активности наблюдается менее выраженная картина активации примесей состава полиэтиленового материала. Так, для материала HDPE T50 при $T_{обл}$ = 40 с в спектре наблюдаются только изотопы Al-28, Cl-38, Ar-41 и Ti-51. Активность наблюдаемых изотопов также уменьшается.

Обсуждение результатов

Известно, что полиэтилен получают полимеризацией газа этилена при высоком и низком давлении. Полиэтилен, получаемый при высоком давлении (150–300 МПа, 150–320 °С), называется полиэтиленом высокого давления ПЭВД (или низкой плотности LDPE), получают его полимеризацией этилена в автоклавном или трубчатом реакторе. При низком давлении (<4 МПа, 80 °С) на комплексных металлоорганических катализаторах в суспензии или газовой фазе получают полиэтилен низкого давления ПЭНД (или высокой плотности HDPE). Для производства чаще всего применяют раствор этилена в гексане, который нагревают до 160–250 °С. Процесс проводят при давлении 3,4–5,3 МПа в течение времени контакта смеси с катализатором 10–15 минут. Готовый ПЭНД отделяют при помощи испарения растворителя. Гранулы получившегося полиэтилена проходят пропарку паром при температуре выше Т плавления ПЭ. Это нужно для перевода в водный раствор низкомолекулярных фракций полиэтилена и удаления следов катализаторов.

То есть, по существу в химическом составе полиэтилена содержится только углерод и водород. Однако, при производстве ПЭНД используются специальные катализаторы, например, титанмагниевый, титан-алюминиевый катализатор, ванадиймагниевый катализатор, титанхлорный, оксид хрома, оксид молибдена и другие. В качестве носителя катализатора используют силикагели, алюмосиликаты, или диоксид кремния. Кроме того, для повышения таких характеристик, как электропроводность, стойкость к ультрафиолетовому излучению, в состав ПЭНД добавляют определенные присадки (стабилизаторы).



а) HDPE PostHumus Origina

б) HDPE 2210

в) HDPE T50

Рисунок 6. Спектры наведенной активности пустых капсул из полиэтилена высокой плотности

Из сравнения спектров облученных капсул видно, что в оригинальной капсуле производства PostHumus (рисунок 6, а) присутствует излучение радионуклидов Cl-38, Na-24, Ar-41, Al-28. Наличие Ar-41 вызвано излучением активированного в реакторе воздуха, который находится внутри капсулы. Гамма-излучение изотопа Al-28 объясняется двумя механизмами: внешнее загрязнение капсулы вследствие ее столкновения с алюминиевыми стыками при пролете по трубопроводу ПТС, а также от наличия Al в материале капсулы.

В спектрах облученных капсул из материала HDPE J2210 и HDPE T50 (рисунок 6, б и в) также присутствуют сигналы Cl-38, Na-24, Al-28, но количество зарегистрированных импульсов и рассчитанных активностей указывает на многократное превышение содержания Al и Cl в капсулах, изготовленных из J2210 и T50 по сравнению с капсулой производства PostHumus. Содержание Na-24 для T50 сравнимо с PostHumus. Выбирая между материалом J2210 и T50, предпочтение было отдано T50, поскольку в T50 содержания Mg, Al, Cl, Ca меньше в 2–3 раза. При этом, в T50 содержание Ti превышает в 1,5 раза и в небольшом количестве присутствуют относительно долгоживущие КЖИ Na и Mn (период полураспада 15 ч и 2,5 ч, соответственно).

Наличие вкладов примесей в полиэтилене объясняется, по нашему мнению, остатками катализаторов вследствие неполного их удаления в процессе приготовления ПЭНД. Различный состав примесей и разная степень очистки может быть характерной чертой технологического процесса отдельных производителей полиэтиленовых гранул.

Надо отметить, что $T_{обл}$ = 300 с крайне редко используется для активации образцов при проведении НАА по КЖИ (с периодом полураспада в несколько секунд или минут). Так, при проведении тестовых испытаний ПТС ВВР-К, было установлено, что оптимальное время облучения составляет от 20 до 60 с для образцов минерального состава массой 100 мг.

Заключение

Исследуемые экспериментальные образцы капсул по сравнению с оригинальными вносят больший вклад в загрузку спектрометрического оборудования вследствие наличия в материале HDPE J2210 и HDPE T50 следов катализаторов, применяемых в технологии изготовления этих материалов. При этом транспортные способности этих экспериментальных капсул не отличаются от оригинальных.

Для исследований методом НАА по КЖИ без переупаковки облученных образцов (когда измерение спектров образцов проводится в транспортной капсуле) обязательным является учет фонового излучения самих транспортных капсул. Для корректного учета фона, режимы облучения капсулы с образцом и пустой капсулы должны быть одинаковыми.

Данная работа выполнена в рамках бюджетного финансирования Министерства Энергетики Республики Казахстан «Развитие ядерно-физических методов и технологий для инновационной модернизации экономики Казахстана» ИРН: BR09158958.

Литература

1. Сокольский В.В., Солодухин В.П., Казачевский И.В. Ядерно-физические методы анализа для науки и промышленности Казахстана // Международная конференция «Ядерная и радиационная физика». – Алматы, 1997. – С. 208–216.
2. Сокольский В.В., Солодухин В.П., Казачевский И.В. Ядерно-физические методы анализа в решении актуальных проблем Казахстана // Сб. «Институту ядерной физики Национального ядерного центра Республики Казахстан 50 лет». – Алматы, 2007. – С. 69–85.
3. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Silachev I.Yu., Gorlachev I.D. Development the complex of nuclear-physical methods of analysis for geological and technological tasks in Kazakhstan // J Radioanal Nucl Chem (2016) 309:125–134.
4. Solodukhin V., Poznyak V. Studying the effect of radioactive wastes at the Ak-Tyuz depositon radionuclide and elemental composition of water objects of Kichi-Kemin river // Radiation Protection Dosimetry, 2015, Vol. 164, No. 4, P. 552–555.
5. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kabirova G.M., Ryazanova L.A., Lennik S.G., Liventsova A.S., Bychenko A.N., Zheltov D.A. Rradionuclides and toxic chemical elements in the transboundary «Kyrgyzstan- Kazakhstan» rivers // J Radioanal Nucl Chem. (2016) 309:115–124.
6. Silachev I.Yu. Instrumental neutron-activation analysis of geological samples for rare earths using internal standard method // VII Eurasian Conference on “Nuclear Science and Its Application”. Book of abstracts. Baku Azerbaijan. October 21–24, 2014. – P. 297–299.
7. S.S. Ismail. A New Automated Sample Transfer System for Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry, Volume 2010, Article ID 389374, 8 pages, https://doi.org/10.1155/2010/389374
8. Зуев С.В., Афонин А.А., Бурмистров Ю.М., Капустин И.А., Конобеевский Е.С., Мордовской М.В., Плетников Е.В., Пономарев В.Н., Солодухов Г.В. Изучение возможности использования различных аэрозольных фильтров для нейтронно-активационного анализа // Известия РАН. Серия физическая. – 2019. Т. 83, № 4, С. 495–499.

References

1. Sokol'skiy V.V., Solodukhin V.P., Kazachevskiy I.V. Yaderno-fizicheskie metody analiza dlya nauki i promyshlennosti Kazakhstana // Mezhdunarodnaya konferentsiya “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”. – Almaty, 1997. – P. 208–216.
2. Sokol'skiy V.V., Solodukhin V.P., Kazachevskiy I.V. Yaderno-fizicheskie metody analiza v reshenii aktual'nykh problem Kazakhstana // Sb. “Institutu yadernoy fiziki Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan 50 let”. – Almaty, 2007. – P. 69–85.
3. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Silachev I.Yu., Gorlachev I.D. Development the complex of nuclear-physical methods of analysis for geological and technological tasks in Kazakhstan // J Radioanal Nucl Chem (2016) 309:125–134.
4. Solodukhin V., Poznyak V. Studying the effect of radioactive wastes at the Ak-Tyuz depositon radionuclide and elemental composition of water objects of Kichi-Kemin river // Radiation Protection Dosimetry, 2015, Vol. 164, No. 4, P. 552–555.
5. Solodukhin V.P., Poznyak V.L., Kabirova G.M., Ryazanova L.A., Lennik S.G., Liventsova A.S., Bychenko A.N., Zheltov D.A. Rradionuclides and toxic chemical elements in the transboundary «Kyrgyzstan- Kazakhstan» rivers // J Radioanal Nucl Chem. (2016) 309:115–124.

6. Silachev I.Yu. Instrumental neutron-activation analysis of geological samples for rare earths using internal standard method // VII Eurasian Conference on "Nuclear Science and Its Application". Book of abstracts. Baku Azerbaijan. October 21–24, 2014. – P. 297–299.
7. S.S. Ismail. A New Automated Sample Transfer System for Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry, Volume 2010, Article ID 389374, 8 pages, https://doi.org/10.1155/2010/389374
8. Zuev S.V., Afonin A.A., Burmistrov Yu.M., Kapustin I.A., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Pletnikov E.V., Ponomarev V.N., Solodukhov G.V. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya razlichnykh aerozol'nykh fil'trov dlya neytronno-aktivatsionnogo analiza // Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. – 2019. Vol. 83, No. 4, P. 495–499.

ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ИЗОТОПТАРҒА НЕЙТРОНДЫҚ БЕЛСЕНДІРУ ТАЛДАУЫНА ҚАЖЕТ ТАСЫМАЛДАУ КАПСУЛАРЫН ЖАСАУ ҮШІН ПОЛИЕТИЛЕНІҢ БІЛГІЛІ БІР ТҮРЛЕРІНІҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ

С.Г. Ленник, Е.К. Соколенко, К.А. Бедельбекова

Энергетика министрлігі «Ядролық физика институты» РМК, Алматы, Қазақстан

Қысқа мерзімді изотоптарға нейтрондық белсендіру талдауына қажет арнайы шығын материалды толықтыру максатында эксперименттік үлгілері жасалды. Өндірілген капсулардың тасымалдаудың нақты жағдайларына сәйкестігі зерттелді. Капсула материалының элементтік құрамының зерттеуі жүргізілді. Бағытталған радиоактивтіліктің спектрлерін талдау нәтижелері полиэтиленде металл қоспаларының бар екендігін көрсетті, оларды нейтрондық белсендіру талдауын жүргізу кезінде еске алу керек.
Түйін сөздер: *нейтронды белсендіру талдау, пневматикалық тасымалдау жүйесі, қысқа мерзімді изотоптар, полиэтилен, реактор.*

STUDYING THE POSSIBILITY OF USING POLYETHYLENE OF SEPARATE GRADES (TYPES) FOR THE MANUFACTURE OF TRANSPORT CAPSULES NECESSARY FOR THE PERFORMANCE OF NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS ON SHORT LIVING ISOTOPES

S.G. Lennik, E.K. Sokolenko, K.A. Bedelbekova

RSE "Institute of Nuclear Physics" Ministry of Energy, Almaty, Kazakhstan

To replenish a specific consumable material, experimental samples of transport capsules were made, intended for neutron activation analysis for short-lived isotopes. The correspondence of the manufactured capsules to the real conditions of their transportation has been studied. The study of the elemental composition of the capsule material has been carried out. Analysis of the spectra of induced activity showed the presence of metal impurities in polyethylene, which must be taken into account when performing neutron activation analysis.
Keywords: *neutron activation analysis, pneumatic transport system, short-lived isotopes, polyethylene, reactor.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-19-24
УДК 004.6:574:520.84

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПОЛЕВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

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

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

E-mail для контактов: dorozhkin@nnc.kz

В статье рассматриваются вопросы проектирования и разработки базы данных для хранения и обработки гамма-спектрометрической информации. Представлена модель, позволяющая описывать концептуальные схемы хранения и обработки данных, полученных при проведении полевой гамма-спектрометрической съемки в принципе и, в частности, на территории Семипалатинского испытательного полигона. Описаны возможности базы данных полевой спектрометрии. Реализован интерфейс взаимодействия пользователя с системой управления базой данных.

Ключевые слова: *база данных, системы управления базами данных (СУБД), проектирование базы данных, пешеходная гамма-спектрометрическая съемка (ПГСС), гамма-спектр, Семипалатинский испытательный полигон (СИП).*

Введение

Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка (ПГСС) является одним из основных методов обследований радиоэкологической обстановки территорий, которые подверглись радиоактивному загрязнению в результате различных проведения ядерных испытаний, произошедших аварий и инцидентов. ПГСС подразделяется на гамма-съемку в фиксированных позициях (точках) и съемку в движении. Методология ПГСС заключается в наборе гамма-спектров во время движения оператора-спектрометриста по заданному профилю с необходимой плотностью сети обследования на обследуемой территории [1]. Помимо спектрометрических данных параллельно с системы GPS-навигации пешехода считывается геодезическая информация – координатная привязка гамма-спектра к обследованному участку. Таким образом, на каждый файл гамма-спектра имеются координаты по трем измерениям. При обследовании методом ПГСС больших территорий количество получаемых гамма-спектров достигает довольно внушительного объема данных.

Начиная с 2012 г. сотрудниками филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК осуществляются обследование территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с применением методов ПГСС [1]. За это время на сервере филиала накопилось около двадцати трех миллионов гамма-спектров. Накопленный массив данных имел такие проблемы как децентрализованное хранение и дублирование данных. Также процесс переноса гамма-спектров с внешних носителей занимал треть времени от всего процесса обработки спектров из-за огромного количества файлов. Данные гамма-спектра, время набора, географические координаты и остальная информация каждый раз кодируются и считываются из файла, тем самым в несколько раз замедляя обработку данных и последующий анализ результатов. Для грамотного управления информацией, полученной в результате проведения ПГСС, требуется проведение проверки данных на наличие повторений, очистка данных, сохранение данных в централизованном расположении и т.д.

Постоянный прирост массива спектрометрических данных привел к росту проблем со скоростью и качеством движения данных во время обработки, сложностью хранения, поиска и анализа, что поставило актуальность разработки специальной информационной системы на первое место. В настоящее время в мировой практике широко используются базы данных (БД), которые становятся неотъемлемой частью функционирования любых предприятий. Для проектирования и разработки БД требуется освоение принципами построения и грамотное применение соответствующих компьютерных программ и технологий: систем управления базами данных (СУБД), технологий автоматизации проектирования, средств администрирования БД и т.д. [2–5]. Разработанная информационная система поспособствует более быстрой и менее трудоемкой обработке, поиску, переносу и хранению данных, при проведении экспериментальных работ в рамках научных проектов на тему, связанную с ПГСС. Это позволит централизировать хранение данных ПГСС, что, в свою очередь, увеличит качество проведения таких рабочих процессов как передача, хранение, поиск и анализ спектрометрических данных.

В данной работе рассматриваются вопросы создания проекта задач по автоматизации конкретного объекта, а именно: автоматизации информационных процессов полевой спектрометрии отдела радиационных исследований и восстановления экосистем Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан (ОРИВЭ ИРБЭ НЯЦ РК) путем разработки информационной системы (ИС) учета движения и хранения спектрометрических данных ПГСС. Целью проведенного исследования являлась разработка базы данных полевой спектрометрии.

Описание проектируемой базы данных полевой спектрометрии

Разработка ИС производилась на основе классических методов проектирования БД и приложений. На основании анализа наиболее популярных СУБД для проектирования БД был произведен выбор двух платформ, наиболее подходящих для данной задачи. Предпочтение было отдано СУБД Microsoft Access 2020 (MS Access) для хранения спектрометрической информации, Embarcadero Rad Studio 10.4 (Delphi) для создания клиентского приложения, с которым взаимодействует пользователь и интерфейс ActiveX Data Objects (ADO) для связи приложения с данными. Для представления информационных материалов было решено использовать язык Delphi, являющийся языком высокого уровня и позволяющий достаточно быстро и эффективно создавать приложения. К преимуществам Embarcadero Delphi, по сравнению с аналогичными программными продуктами, относятся:

- быстрота разработки приложения;
- низкие требования к ресурсам компьютера;
- высокая производительность;
- удачная проработка иерархии объектов;
- возможность разработки новых компонентов и инструментов собственными средствами Delphi (существующие компоненты и инструменты доступны в исходных кодах);
- наращиваемость за счет встраивания новых компонентов и инструментов в среду Delphi.

Для запуска программы, написанной на языке Delphi, не требуется никаких дополнительных библиотек, интерпретаторов кода, необходимо просто скопировать один единственный сгенерированный исполняемый файл и запустить его там, где нужно. Для установки программы на другой компьютер не требуется создания каких-либо дистрибутивов, не нужен процесс инсталляции, достаточно переписать исполняемый файл программы.

Выбор MS Access основан на том, что данная СУБД специально спроектирована для создания многопользовательских приложений, где файлы БД являются разделяемыми ресурсами в сети. В MS Access реализована надёжная система защиты от несанкционированного доступа к файлам. Несмотря на то, что MS Access является мощной и сложной системой, его использование не сложно для непрофессиональных пользователей. Одним из основных плюсов разработки на MS Access является плотная связь с MS Office. Для нормальной работы созданного приложения достаточно установить пакет Office, при этом так же устанавливаются все нужные для работы MS Access библиотеки. В MS Access включены мастера, помогающие производить анализ структуры данных, импортировать электронные таблицы и текстовые данные, повышать быстродействие приложения, создавать и настраивать одно из более, чем двадцати типов приложений с использованием встроенных шаблонов. MS Access позволяет разработать профессиональную базу данных в более короткие сроки. Преимущества MS Access по сравнению с другими системами подобного класса:

- развитая справка и понятный интерфейс;
- данные хранятся в виде таблиц;
- легкость связывания данных, хранящихся в разных таблицах;
- возможность работы с другими БД;
- богатый набор визуальных средств разработки;
- улучшенная система восстановления поврежденных файлов;
- поддержка множества языков;
- возможность интеграции с Delphi;
- встроенный SQL, позволяющий максимально гибко работать с данными и значительно ускоряющий доступ к внешним данным;
- возможность связи с другими программами из пакета Microsoft Office;
- простой графический интерфейс, позволяющий не только создавать собственную БД, но и разрабатывать приложения различной сложности.

Объекты данных ActiveX (ADO) представляют собой мощные интегрированные средства для создания приложений для работы с БД. В основе технологии ADO лежит объектный подход к программированию. Объекты ADO, как и всякие другие объекты, имеют свои свойства и методы, служащие для обеспечения работы с БД. Эти объекты, в частности, доступны в среде Delphi и функционируют на уровне OLE DB. Приложения, работающие по технологии ADO, могут использовать данные, представляющие собой таблицы MS Access.

На основании имеющихся данных и возможностей выбранных СУБД была построена физическая модель (структура) БД (рисунок 1).

На основании выбранных продуктов был разработан пользовательский интерфейс БД, необходимый для взаимодействия пользователя с данными БД. Работа с подобным интерфейсом осуществляется с помощью привычного программного окна с кнопками управления (элементы навигации, справки и т.д.). Интерфейс, с помощью которого пользователь сможет управлять программным обеспечением, представляет собой программное окно, в котором содержатся различные элементы управления. Взаимодействие пользователя с программой осуществляется с помощью мыши и клавиатуры, при этом есть возможность использовать кнопки и разделы меню, расположенные внутри самого приложения. Таким образом, программное окно представляет собой нечто вроде проводника между пользователем и программным обеспечением.

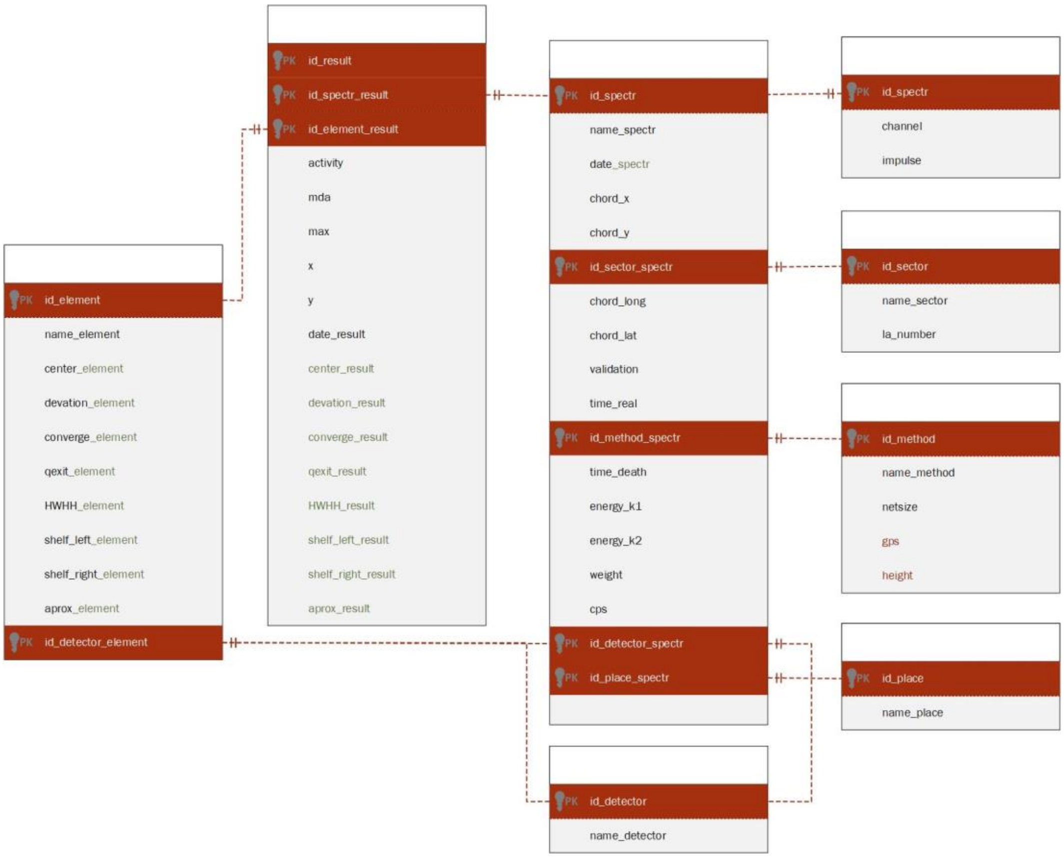


Рисунок 1. Структура базы данных

Задействованное программное обеспечение дает возможность обращаться к БД в процессе поиска, извлечения и просмотра имеющихся спектрометрических данных. Проектирование пользовательского интерфейса БД является довольно сложным процессом, при реализации которого необходимо учитывать пожелания потенциальных пользователей, возможности базы и т.д.

В процессе работы были определены конкретные структуры хранения данных и методы доступа к данным, обеспечивающих оптимальную производительность системы с БД, спроектированы и реализованы модули базы данных импорта и визуализации спектрометрических данных. Модули приложения – это форма ввода данных, форма конвертация и импорт, форма визуализация спектров и анализа, генерация отчетов.

Центральной сущностью базы данных полевой спектрометрии является таблица данных о гамма-спектре. В данной таблице хранятся основные данные считанного гамма-спектра: название спектра, дата проведения измерения, координаты спектрометрической съемки в двух системах координат, название сектора обследования, состояние верификации данных спектра, живое и мертвое время спектра, метод спектрометрической съемки, коэффициенты энергии для анализа данных с использованием калибровки по естественному радионуклиду К-40, общая сумма импульсов спектра, идентификатор гамма-детектора и место проведения съемки.

Структура базы данных спроектирована таким образом, что вся дополнительная спектрометрическая информация хранится в отдельных сущностях, что позволяет без каких-либо последствий для основной информации вносить дополнения и изменения в базу данных. Другими словами, существует возможность переходить от одной записи к другой в пределах основной таблицы, обновлять хранящуюся информацию и удалять старую, при этом фиксируя изменения БД, если пользователь что-то сделал не так, как было им задумано, то изменения всегда можно отменить.

Функционал и интерфейс информационной системы созданы таким образом, чтобы предоставить максимальный комфорт в работе и одновременно с этим ускорить и повысить качество обработки спектрометрических данных, получаемых при проведении ПГСС.

Возможности базы данных полевой спектрометрии

Перечень входящих данных представляет собой как поток информации, поступившей с детектора гамма-излучения, так и файлы гамма-спектров нескольких форматов. Например, это может быть формат данных CSV в табличном виде, бинарный файл в формате CNF – разработка фирмы Canberra (США) для использования в программном комплексе Genie-2000 или бинарный файл в формате CHN, разработанный для использования в программе Maestro от компании ORTEC (США).

Для каждого из способов представления информации разработан персональный подход. Конвертация данных приводит информацию спектра из разных источников к одному (единому) виду (рисунок 2).

Исходящие данные ИС представляют собой графики коррекции процесса анализа данных гамма-спектров (рисунок 3) и отчеты, которые направляются непосредственно в лабораторию геоинформационных технологий (рисунок 4). В процессе работы имеется возможность графического отображения информации результатов обработки непосредственно самих гамма-спектров.

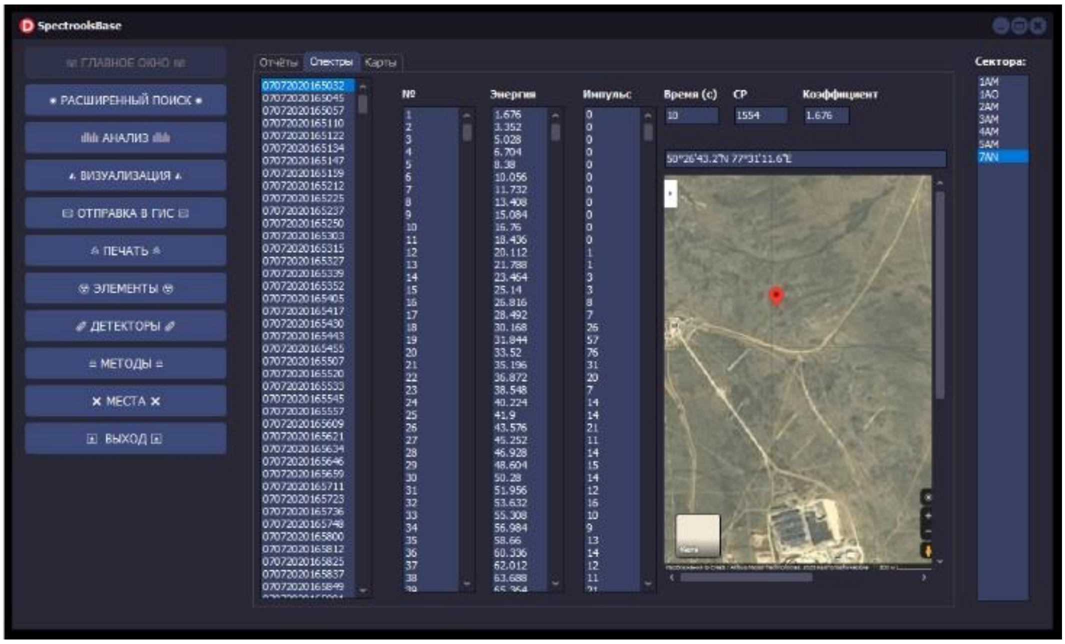


Рисунок 2. Модуль клиентского приложения «Спектры»

Рисунок 3. Модуль клиентского приложения «Визуализация»

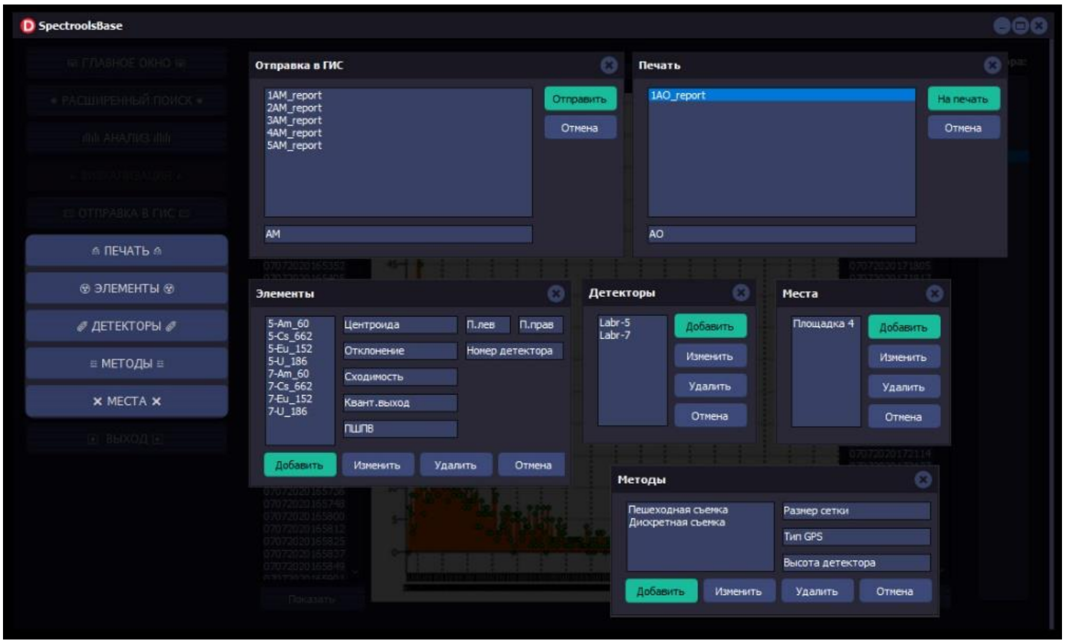


Рисунок 4. Дополнительные модули клиентского приложения

БД полевой спектрометрии имеет возможность хранить огромное число записей, которое ограничивается только размерами аппаратного оборудования, на котором непосредственно установлена БД. Разработанная ИС автоматизирует процесс сбора спектрометрической информации, обработки и вывода данных и производит учет и хранение исходных данных и полученных результатов анализа гамма-спектров в виде отчетов или карт.

Нужно отметить, что данная ИС имеет возможность многопользовательской авторизированной работы по локальной сети, что позволяет одновременно работать нескольких сотрудникам Института, ответственным за разные объекты исследования.

Заключение

В результате проведенных работ разработана БД полевой спектрометрии, использование которой способствует достаточно быстрой и менее трудоемкой обработке, поиску, переносу и хранению гамма-спектров, полученных в результате ПГСС. Наличие базы данных полевой спектрометрии в Институте неуклонно поспособствует централизованному накоплению и хранению данных полевой спектрометрии, что в свою очередь увеличит качество проведения рабочих процессов, таких как: передача, хранение, поиск и анализ спектрометрических данных.

Литература

1. Бакланова, Ю.В. Пешеходная гамма-спектрометрическая съемка как инструмент оценки радиоактивного загрязнения территорий/ Ю.В. Бакланова, П.Е. Кривицкий, М.А. Умаров, Е.В. Мустафина, В.В. Божко, В.Н. Монаенко // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – № 2 (82). – С. 154–159. – Библиогр.: с. 158.
2. Когаловский, М.Р. Энциклопедия теорий баз данных / М.Р. Когаловский – М.: Финансы и статистика, 2005. – 800 с. – ISBN 5-279-02276-4.
3. Дейт, К.Дж. Введение в системы баз данных / К.Дж. Дейт. – 8-е. изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1328 с.
4. Бураков, П.В. Введение в системы баз данных: учеб. пособие / П.В. Бураков, В.Ю. Петров. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 128 с.
5. Осипов, Д.Л. Базы данных и Delphi. Теория и практика / Д.Л. Осипов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011 – 752 с.

References

1. Baklanova, Yu.V. Peshekhodnaya gamma-spektrometricheskaya s"emka kak instrument otsenki radioaktivnogo zagryazneniya territoriy/ Yu.V. Baklanova, P.E. Krivitskiy, M.A. Umarov, E.V. Mustafina, V.V. Bozhko, V.N. Monaenko // Vestnik NYaTs RK. – 2020. – No. 2 (82) '. – P. 154–159. – Bibliogr.: p. 158.
2. Kogalovskiy, M.R. Entsiklopediya teoriy baz dannykh / M.R. Kogalovskiy – M.: Finansy i statistika, 2005. – 800 p. – ISBN 5-279-02276-4.
3. Deyt, K.Dzh. Vvedenie v sistemy baz dannykh / K.Dzh. Deyt. – 8-e. izd. – Moscow.: Vil'yams, 2005. – 1328 s.
4. Burakov, P.V. Vvedenie v sistemy baz dannykh: ucheb. posobie / P.V. Burakov, V.Yu. Petrov. – SPb.: SPbGU ITMO, 2010. – 128 p.
5. Osipov, D.L. Bazy dannykh i Delphi. Teoriya i praktika / D.L. Osipov. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2011 – 752 p.

ДАЛАЛЫҚ СПЕКТРОМЕТРИЯ ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ӘЗІРЛЕУ

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

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Мақалада гамма-спектрометриялық ақпаратты сақтау және өңдеу үшін мәліметтер базасын жобалау және дамыту мәселелері қарастырылады. Гамма-спектрометриялық далалық зерттеулер кезінде алынған деректерді сақтаудың және өңдеудің тұжырымдамалық схемаларын сипаттауға мүмкіндік беретін модель ұсынылған, атап айтқанда Семей полигонының аумағында. Далалық спектрометрия мәліметтер қорының мүмкіндіктері сипатталған. Мәліметтер қорын басқару жүйесімен қолданушылардың өзара әрекеттесу интерфейсі жасалды.
Түйін сөздер: *деректер базасы, деректер базасын басқару жүйелері, ДББЖ, деректер базасын жобалау, жаяу гамма-спектрометриялық түсірілім, ЖГСТ, гамма-спектр, Семей сынақ полигоны, ССП.*

DEVELOPMENT OF FIELD SPECTROMETRY DATABASE

I.P. Dorozhkin, Yu.V. Baklanova, Ye.V. Mustafina

Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper considers the issues in design and development of databases for storage and processing gamma-spectrometric information. A model is presented that allows one to describe the conceptual schemes for storing and processing data obtained during field gamma-spectrometric surveys in principle and, in particular, on the territory of the Semipalatinsk test site. The possibilities of the database of field spectrometry are described. The interface for interaction between the user and the database management system has been implemented.
Keywords: *database, database management systems, DBMS, development of the database, pedestrian gamma-spectrometric survey, PGSS, gamma-spectrometer, Semipalatinsk Test Site, STS.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-25-29
УДК 504.4.054:539.16

МОНИТОРИНГ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД Р. ШАГАН

Актаев М.Р., Айдарханов А.О., Айдарханова А.К., Пронин С.С., Искенов А.О.

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

E-mail для контактов: asan@nnc.kz

В статье представлены результаты мониторинга вод р. Шаган по изменению удельной активности трития за 2016–2020 гг. Река Шаган представляет собой самый протяженный поверхностный водоток на территории Семипалатинского испытательного полигона (далее СИП), протекающий вдоль восточной части площадки «Балапан», где вместе с притоком – р. Ащису, впадает в «Атомное озеро». Далее, на расстоянии 110 км вниз по течению, р. Шаган впадает в р. Иртыш. Ранее проведенными исследованиями выявлен и многократно подтвержден факт радиоактивного загрязнения поверхностных и подземных вод СИП техногенным радионуклидом ^{3}H [1, 2]. Выявлено, что основным источником загрязнения являются подземные воды [3], поступающие в поверхностные воды реки. В связи с этим, проводился сезонный мониторинг ^{3}H загрязнения вод на трех участках реки, начиная от выхода из навала «Атомного озера» и далее вниз по течению до впадения в р. Иртыш.

В результате проведенных наблюдений установлено, что удельная активность ^{3}H в поверхностных и подземных водах в зависимости от времени наблюдения изменяется в широком диапазоне значений. Так, на участке максимального загрязнения, содержание ^{3}H изменяется от минимальных – 8 Бк/кг в весенний период, до максимальных 370 000 Бк/кг в летне-осенний период. В местах выхода р. Шаган за границу полигона, концентрация ^{3}H изменяется от 90 Бк/кг до 12 400 Бк/кг. В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш содержание ^{3}H не превышает 110 Бк/кг.

Ключевые слова: *Семипалатинский испытательный полигон, р. Шаган, р. Иртыш, радионуклид тритий, мониторинг, поверхностные воды, удельная активность, уровень вмешательства.*

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние исследования показали, что основное радиоактивное загрязнение вод р. Шаган на всем протяжении, начиная от выхода реки из «Атомного озера» и до впадения в р. Иртыш, обусловлено повышенными значениями удельной активности трития [4]. Установлено, что воды р. Шаган характеризуются довольно сложной системой тритиевого загрязнения. Имеется несколько источников загрязнения тритием, которые отличаются механизмами поступления в воды р. Шаган. Источником поступления ^{3}H в районе выхода р. Шаган из «Атомного озера» является выщелачивание ^{3}H из загрязненных навалов грунта. Увеличение ^{3}H на интервале с 2 по 3 км обусловлен выходом подрусловых вод, вытекающих из старого русла реки [5]. На отрезке реки с 5 по 6 км вниз по течению, источником ^{3}H загрязнения является разгрузка загрязненных трещинных вод, выходящих по каналам тектонических нарушений со стороны «боевых» скважин площадки «Балапан». На интервале с 8 по 14 км отмечается поступление загрязненных грунтовых вод. Начиная с 14–15 км наблюдается постепенное снижение ^{3}H в результате разбавления [6].

В целом, местом максимального загрязнения является отрезок реки длиной около 150 м, который находится на расстоянии 5 км вниз по течению от «Атомного озера». Содержание ^{3}H на данном участке достигало 450 000 Бк/кг [7]. Начиная с 14 км вниз по течению, в месте выхода реки за границы территории полигона, отмечалось постепенное снижение концентрации трития до 15 000 Бк/кг. Более низкие концентрации трития фиксировались начиная с 50 км до впадения р. Шаган в р. Иртыш, на уровне 100–200 Бк/кг [8].

В настоящее время, в зоне влияния р. Шаган осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность: разведение и выпас скота, заготовка сена, сельскохозяйственные работы, развита промысловая деятельность (отлов рыбы, добыча водоплавающих птиц и др.), а вода из р. Шаган может использоваться местным населением в различных целях. Сложившаяся ситуация обусловила необходимость проведения радиационного мониторинга с целью получения актуальных данных о радиоэкологическом состоянии вод р. Шаган. Для этого, с 2016 г. проводится систематический мониторинг изменения содержания трития в поверхностных и подземных водах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Участки мониторинговых наблюдений и отбор проб

Для проведения мониторинговых наблюдений было определено три участка: «5 км», «14 км» и «110 км». Выбор участков обосновывался следующим образом:

1) Первый участок, условно обозначенный как «5 км», расположен на расстоянии 5 км от «Атомного озера». На данном участке мониторинг проводился с целью контроля максимального уровня трития, поступающего с подземными водами в поверхностные воды р. Шаган.

2) Второй участок, обозначенный как «14 км» выбран для контроля уровня трития, выходящего за пределы границы полигона с водами р. Шаган.

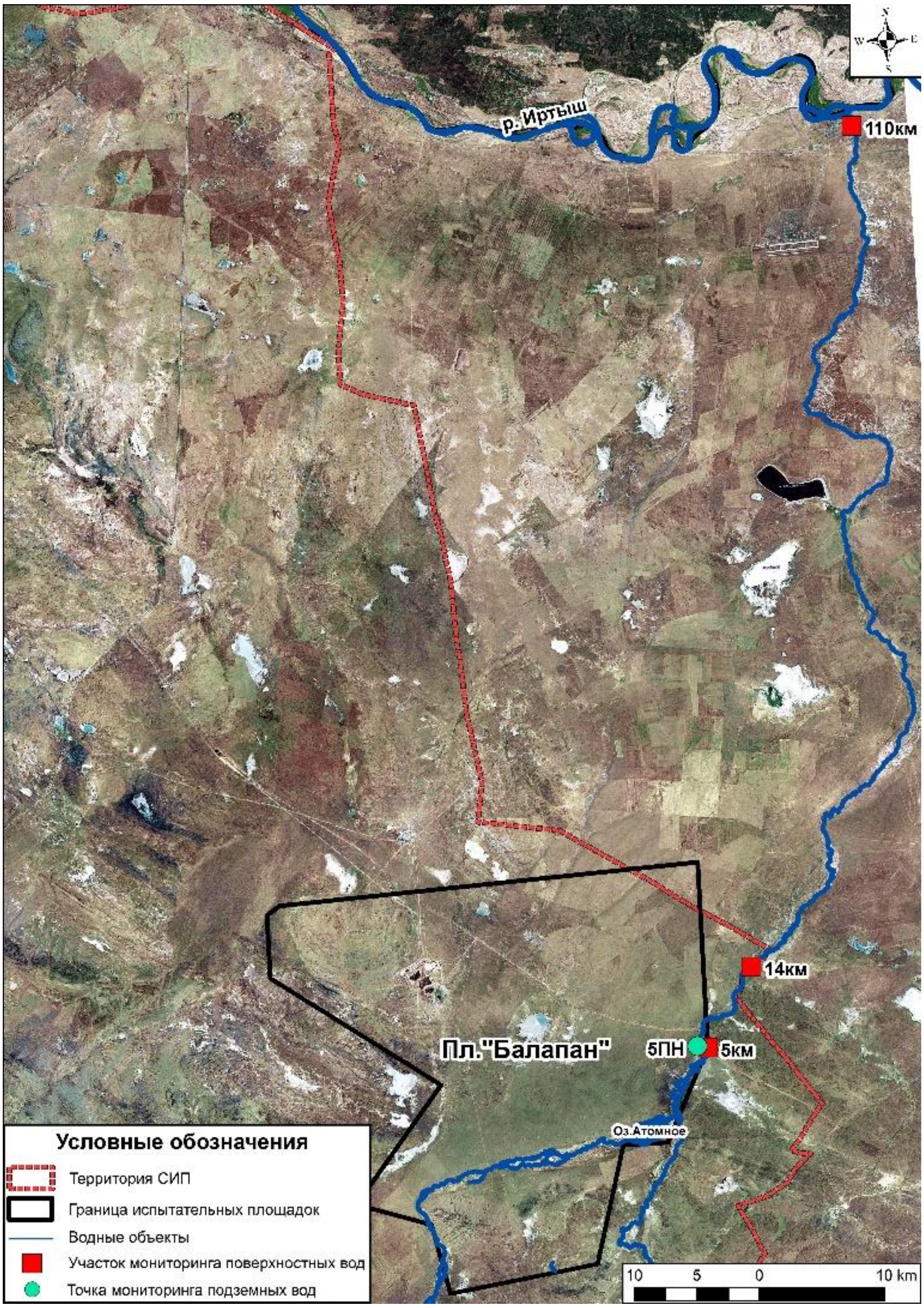


Рисунок 1. Расположение участков мониторинга вод р. Шаган

3) Третий участок «110 км» был выбран для контроля уровня трития, поступающего с водами р. Шаган в воды р. Иртыш.

Схематическое расположение участков мониторинга представлено на рисунке 1.

Мониторинг заключался в отборе поверхностных вод в весенние, летние и осенние периоды на участках «5 км», «14 км» и «110 км». Дополнительно, из скважины 5-ПН, расположенной на левом берегу р. Шаган, проводился отбор проб подземных вод один раз в год. По концентрации ^3H в пробе подземных вод из данной скважины оценен уровень загрязнения подземных вод, поступающих в поверхностные воды р. Шаган на участке максимального загрязнения – «5 км».

Определение содержания трития в отобранных пробах воды проводилось в лабораторных условиях методом жидкосцинтилляционной спектрометрии на β-спектрометре TRI-CARB 2900 TR [9].

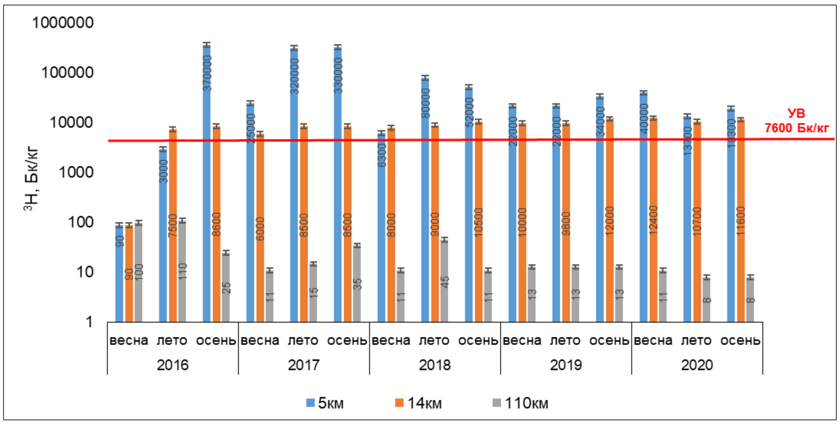


Рисунок 2. Изменение удельной активности ^{3}H в поверхностных водах

Результаты и их обсуждение

Изменение содержания трития в поверхностных водах

По результатам мониторинга в период с 2016 г. по 2020 г. удельная активность трития в поверхностных водах изменялась в широком диапазоне значений от 8 до 370 000 Бк/кг (рисунок 2).

На всех участках мониторинга отмечается изменение концентрации ^{3}H в зависимости от сезона и года наблюдения. Максимальные значения ^{3}H, как и ожидалось, фиксировались на «5 км». В течение года повышенные значения трития в большинстве случаев регистрировались в летнее и осеннее время. При сравнении по годам, наиболее высокие значения содержания трития наблюдались в 2016–2017 гг.

Превышение допустимого уровня вмешательства по ^{3}H, который составляет 7 600 Бк/кг, фиксировалось на участках «5 км» и «14 км». В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш («110 км») содержание ^{3}H изменялось от 8 до 110 Бк/кг. Максимальные значения наблюдались в 2016 г., минимальные в 2020 г.

Сравнительно низкие значения ^{3}H в 2016 году могут быть связаны с погрешностью отбора проб воды из поверхности реки. Так, в работе [10] представлено, что на участке «5 км» изменение концентрации ^{3}H в воде отмечается глубинным и площадным перераспределением. Глубинное изменение отмечается вне зависимости от глубины водотока. В ряде случаев, концентрация ^{3}H в воде вблизи левого и правого берега, а также в придонном слое воды и на поверхности различалась более, чем в 11 раз. В этой связи, существует вероятность отбора воды из точки отсутствия поступления загрязненных вод.

Изменение содержания трития в подземных водах

Согласно полученным данным, удельная активность ^{3}H в подземной воде за прошедшие пять лет изменялась от 110 000 Бк/кг до 350 000 Бк/кг. Результаты представлены на рисунке 3.

Наиболее высокие значения наблюдались в 2016–2018 гг. В 2019 и 2020 гг., отмечалось уменьшение удельной активности ^{3}H. Изменение концентрации ^{3}H в пробах подземных вод может быть вызвано сменой водного режима и уровня залегания подземных вод, которые приводят к различным условиям разбавления загрязненных подземных вод.

Рисунок 3. Изменение удельной активности ^{3}H в подземной воде

Заключение

На всех участках мониторинга в воде обнаружен ^{3}H, удельная активность которого изменяется в зависимости от времени года и от года к году. Максимальные концентрации ^{3}H в течение года наблюдаются в летне-осенний периоды на участках «5 км» и «14 км». Повышенные значения трития наблюдались в 2016–2017 гг. как для поверхностных, так и для подземных вод, минимальные в 2020 г.

В районе впадения р. Шаган в р. Иртыш, концентрация ^{3}H не превышала 110 Бк/кг, что в 70 раз ниже допустимого уровня вмешательства по содержанию в питьевой воде (7 600 Бк/кг) согласно Гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [11].

Наблюдаемые уровни ^{3}H и его сезонные изменения находятся в пределах ранее зафиксированных значений. Каких-либо существенных колебаний в сторону резкого роста не обнаружено. Сравнительно небольшой спад уровня трития в 2020 г. может быть обусловлен изменением уровня воды в период отбора проб.

В целом, мониторинг радиационного состояния водных объектов в настоящее время остается актуальной задачей радиоэкологии СИП. Для набора статических данных рекомендуется увеличить периодичность отбора проб подземных вод до 3 раз в год, паралельно с отбором поверхностных вод. Для оценки степени влияния уровня подземных и поверхностных вод, необходимо добавить гидрологические параметры контроля, а именно в процессе отбора проб производить измерение уровня воды в скважине и расход воды в реке. Также, в задачу мониторинга следует включить определение отношения стабильных изотопов ^{2}H и ^{18}O в отбираемых пробах воды. Изотопный анализ, наряду с измерением уровня вод, позволит определить количественные значения в процессе водообмена между подземными и поверхностными водами, а также выделить факторы, влияющие на изменение содержания ^{3}H для каждого участка мониторинга.

Литература

1. Актаев, М.Р. Мониторинг радиоактивного загрязнения вод р. Шаган / М. Р. Актаев, А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. док. V Междунар. науч.-практическая конф., 12–14 сентября. – Павлодар: Дом печати, 2012. – С. 63–64. – ISBN 978-601-7112-63-9.
2. Актаев, М.Р. Характер радиоактивного загрязнения техногенными радионуклидами р. Шаган и «Атомного» озера / М. Р. Актаев, А.О. Айдарханов, С.Н. Лукашенко, // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 08–11 сентября 2015. С. 124. – ISBN 9965-675-91-0.
3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г.] / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. Вып. 3. – Т. 1. – 165 с.
4. 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, S. B. Subbotin, Yu. Yu. Yakovenko, S. V. Genova, A. K. Aidarkhanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 124. – P. 163–170.
5. Актаев М.Р. Характер загрязнения тритием вод р. Шаган в районе «Атомного озера» / Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстан [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2014–2016]. – Павлодар: Дом печати, 2017. – Вып. 6. – Т. 1. – С. 202–207. – ISBN 978-601-7844-53-0.
6. Есибеков А.Ж. Особенности тритиевого загрязнения подземных вод в зоне влияния р. Шаган / А.Ж. Есимбеков, С.Н. Лукашенко, А.О Айдарханов, М.Р Актаев // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 08–11 сентября 2015. С. 128. – ISBN 9965-675-91-0..
7. Есимбеков А.Ж. Исследование механизмов формирования и путей загрязнения тритием поверхностных вод р. Шаган / А.Ж. Есимбеков, С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев // [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 6. – Павлодар: Дом печати, 2017.
8. Айдарханов, А.О. Определение и локализация каналов поступления ^{3}H в воды р. Шаган /А.О. Айдарханов, М.Р. Актаев, А.Ж. Есимбеков, В.С. Анисимов // Радиация и риск. – 2013. – Том 22. – № 4. – ISSN 0131-3878.
9. ISO 9698:2019 (E) «Качество воды – Тритий – Метод определения при помощи жидкостно-сцинтилляционного счета». – Введ. 05-2019. – Швейцария: Межд. стандарт, 2019. – 25 с.
10. Aktayev M.R. Features tritium distribution in the waters at the Semipalatinsk test site / Aktayev M.R., A.O. Aidarkhanov, S.N. Lukashenko // IV International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes. Vilnius, Lithuania. 29 May – 2 June 2017. PS3-1.
11. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. приказом Министра нац. экономики РК 27.02.2015. – № 155. – 112 с.

References

1. Aktaev, M.R. Monitoring radioaktivnogo zagryazneniya vod r. Shagan / M. R. Aktaev, A.O. Aydarkhanov, S.N. Lukashenko, // Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Radiatsionnoe nasledie i perspektivy razvitiya: tez. dok. V Mezhdunar. nauch.-prakticheskaya konf., 12–14 sentyabrya. – Pavlodar: Dom pechati, 2012. – P. 63–64. – ISBN 978-601-7112-63-9.
2. Aktaev, M.R. Kharakter radioaktivnogo zagryazneniya tekhnogennymi radionuklidami r. Shagan i «Atomnogo» ozera / M. R. Aktaev, A.O. Aydarkhanov, S.N. Lukashenko, // Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tez. dokl. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 08–11 sentyabrya 2015.PS. 124. – ISBN 9965-675-91-0.
3. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011 g.] / pod ruk. S.N. Lukashenko. – Pavlodar: Dom pechati, 2011. Issue 3. – T. 1. – 165 p.
4. 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, S. B. Subbotin, Yu. Yu. Yakovenko, S. V. Genova, A. K. Aidarkhanova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Vol. 124. – P. 163–170.
5. Aktaev M.R. Kharakter zagryazneniya tritiem vod r. Shagan v rayone «Atomnogo ozera» / Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstan [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2014–2016]. – Pavlodar: Dom pechati, 2017. – Issue 6. – T. 1. – P. 202–207. – ISBN 978-601-7844-53-0.
6. Esibekov A.Zh. Osobennosti tritievogo zagryazneniya podzemnykh vod v zone vliyaniya r. Shagan / A.Zh. Esimbekov, S.N. Lukashenko, A.O Aydarkhanov, M.R Aktaev // Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tez. dokl. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 08–11 sentyabrya 2015. P. 128. – ISBN 9965-675-91-0..
7. Esimbekov A.Zh. Issledovanie mekhanizmov formirovaniya i putey zagryazneniya tritiem poverkhnostnykh vod r. Shagan / A.Zh. Esimbekov, S.N. Lukashenko, A.O. Aydarkhanov, M.R. Aktaev // [Sbornik trudov Instituta

radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii] / pod ruk. Lukashenko S.N. – Issue 6. – Pavlodar: Dom pechati, 2017.
8. Aydarkhanov, A.O. Opredelenie i lokalizatsiya kanalov postupleniya 3N v vody r. Shagan /A.O. Aydarkhanov, M.R. Aktaev, A.Zh. Esimbekov, V.S. Anisimov // Radiatsiya i risk. – 2013. – T. 22. – No. 4. – ISSN 0131-3878.
9. ISO 9698:2019 (E) «Kachestvo vody – Tritiy – Metod opredeleniya pri pomoshchi zhidkostno-stsintillyatsionnogo scheta». – Vved. 05-2019. – Shveytsariya: Mezhd. standart, 2019. – 25 p.
10. Aktayev M.R. Features tritium distribution in the waters at the Semipalatinsk test site / Aktayev M.R., A.O. Aidarkhanov, S.N. Lukashenko // IV International Conference on Environmental Radioactivity: Radionuclides as Tracers of Environmental Processes. Vilnius, Lithuania. 29 May – 2 June 2017. PS3-1.
11. Gigienicheskie normativy «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti»: utv. prikazom Ministra nats. ekonomiki RK 27.02.2015. – No. 155. – 112 p.

ШАҒАН ӨЗЕНІНІҢ СУЫНЫҢ ТРИТИЙЛІК ЛАСТАНУЫН МОНИТОРИГІЛЕУ

М.Р. Ақтаев, А.О. Айдарханов, А.Қ. Айдарханова Қ, С.С. Пронин, А.О. Искенов

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Мақалада өзен суларын бақылау нәтижелері көрсетілген. 2016–2020 жылдарға арналған тритийдің нақты белсенділігінің өзгеруі туралы Шаған. Шаған өзені - Балапан полигонының шығыс бөлігімен ағып жатқан Семей полигонының (бұдан әрі – СИП) аумағындағы ең ұзын жер үсті суы. Ашису, «Атом көліне» құяды. Әрі қарай, ағысқа қарсы 110 км қашықтықта өзен өзеннің сол жағалауындағы ағынды құрайды. Ертіс. Алдыңғы зерттеулер өзеннің жер үсті және жер асты суларының радиоактивті ластану фактісін анықтады және бірнеше рет растады. Шаған техногендік радионуклид ^{3}H. Ластанудың негізгі көзі өзеннің жер үсті суларына түсетін жерасты сулары екендігі анықталды. Осыған байланысты өзен суларының ^{3}H ластануының ұзақ мерзімді мониторингін қамтамасыз ету мақсатында Атомное көлінің үйіндісінен бастап және одан әрі қарай ағын сағасына дейін өзеннің арнасы бойында орналасқан үш учаскесінде маусымдық бақылау жүргізілді. өзенмен. Ертіс.
Бақылаулардың нәтижесінде жер бетіндегі және жер асты суларындағы ^{3}H-дің меншікті белсенділігі бақылау уақытына байланысты әр түрлі мәндерде өзгеретіндігі анықталды. Сонымен, максималды ластану аймағында ^{3}H мөлшері көктемде минимумнан 8 Бк/кг-ге дейін, жазғы-күзгі кезеңде ең көп дегенде 370 000 Бк/кг-ге дейін өзгереді. Өзеннің шығу нүктелерінде полигоннан тыс Шаған, ^{3}H концентрациясы 90 Бк/кг-ден 12 400 Бк/кг-ге дейін өзгереді. Өзеннің қосылатын ауданында. Шаған р. Ертіс құрамындағы ^{3}H 110 Бк/кг аспайды.
Түйін сөздер: *Семей полигоны, р. Шаған, р. Ертіс, тритий радионуклид, бақылау, жер үсті сулары, белсенділігі, интерференция деңгейі.*

MONITORING OF TRITIUM POLLUTION OF THE SHAGAN RIVER WATERS

M.R. Aktayev, A.O. Aidarkhanov, A.K. Aidarkhanova, S.S. Pronin, A.O. Iskenov

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents the results of monitoring the waters of the Shagan river on the change in the specific activity of tritium for 2016–2020. The Shagan river is the longest surface watercourse on the territory of the Semipalatinsk Test Site, flowing along the eastern part of the Balapan site, where, together with the tributary, the Ashisu, flows into the "Atomic Lake". Further, at a distance of 110 km downstream, the river forms a left-bank tributary of the Irtysh river. Previous studies have revealed and repeatedly confirmed the fact of radioactive contamination of the surface and ground waters of the Shagan river technogenic radionuclide ^{3}H. It was revealed that the main source of pollution is groundwater entering the surface waters of the river. In this regard, in order to ensure long-term monitoring of ^{3}H pollution of river waters, seasonal monitoring was carried out in three sections of the river located along its channel, starting from the outlet from the "Atomic Lake" heap and further downstream to the confluence with the Irtysh river.
As a result of the observations, it was found that the specific activity of ^{3}H in surface and ground waters, depending on the observation time, varies in a wide range of values. So, in the area of maximum pollution, the content of ^{3}H changes from the minimum – 8 Bq/kg in the spring, to the maximum 370 000 Bq/kg in the summer-autumn period. At the exit points of the Shagan river outside the landfill, the concentration of ^{3}H varies from 90 Bq/kg to 12 400 Bq/kg. In the area of the confluence of the Shagan river in Irtysh river content of ^{3}H does not exceed 110 Bq/kg.
Keywords: *Semipalatinsk test site, Shagan river, Irtysh river, tritium radionuclide, monitoring, surface waters, specific activity, level of interference.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-30-41
УДК 661.665.1

РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА КРЕМНИЯ (ОБЗОР)

[1,2] Семейко К.В., [3] Малиновский А.И., [3] Гребеньков А.Ж., [4] Саенко С.Ю., [4] Лобач К.В., [2] Кустовская А.Д., [5] Ляпощенко А.А., [5] Склабинский В.И.

[1] Институт газа НАН Украины, Киев, Украина
[2] Национальный авиационный университет, Киев, Украина
[3] Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь
[4] Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина
[5] Сумской государственный университет, Сумы, Украина

E-mail для контактов: k_simeyko@ukr.net

В статье представлен краткий обзор промышленных технологий и результатов научных исследований процессов получения карбида кремния. Исследования по получению мелкодисперсного, пористого и наноразмерного карбида кремния проводятся в ведущих научно-исследовательских институтах и организациях мира. Среди научных задач, которые возникают перед исследователями, можно отметить снижение энергозатрат, повышение экологической безопасности промышленных технологий и чистоты готового продукта. Одним из перспективных способов получения карбида кремния является карботермическое восстановление капсулированного пироуглеродом кремнезема в реакторах с электротермическим псевдоожиженным слоем.
Ключевые слова: *карбид кремния, карботермическое восстановление, наноматериалы, толерантное ядерное топливо, новые технологии.*

Введение

Карбид кремния с повышенной чистотой кристаллов, благодаря своим высоким механическим, электротехническим и физико-химическим характеристикам, становится одним из наиболее перспективных и востребованных компонентов при реализации современных технических решений.

Керамика на основе карбида кремния обладает значительной механической прочностью (при высоких температурах) и износостойкостью, низким коэффициентом термического расширения, высоким сопротивлением окислению (жаростойкостью) до 1600 °C, а также высокой инертностью к химическому (таблица 1) и радиационному воздействию [1, 2]. Поэтому представляется особенно перспективным её использование в ядерной энергетике, в частности, для изготовления оболочек ТВЭЛ (в рамках концепции толерантного топлива) [3], а также в качестве защитного покрытия микротвэлов для высокотемпературных газоохлаждаемых ядерных реакторов [4].

Таблица 1. Химическая стойкость карбида кремния (SiC)

Среда	Концентрация, %	Температура, °C	Коррозия, мм/год
H_3SO_4	95–98	160±10	0,06
NaOH	30	100	0,06
H_3PO_4	85	300±10	0,28
HNO_3	60	20±1	0,06
KOH	45	100	0,12
HCl	20	100	0,12
$HF:HNO_3$	40+10	60±2	6,5

Карбид кремния представляется жизнеспособным материалом для изготовления стенки термоядерного реактора, в котором ожидаются высокие температуры и высокорадиационная среда [5].

Наряду с растущим спросом на карбид кремния в сталелитейной промышленности, проявляется также потребность на этот продукт и в электронной промышленности, в этой отрасли он используется для производства полупроводников. Ожидается, что растущее во всем мире использование возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии простимулирует спрос на карбидокремниевые полупроводники. В последнее десятилетие наблюдается существенный прогресс как в технологиях получения карбида кремния, так в разработках технологий создания полупроводниковых приборов на его основе. Эти направления обсуждались на международных конференциях International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM) и European Conference on Silicon Carbide and Related Materials European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM). Развитие аэрокосмической, оборонной, автомобильной промышленности, медицины и энергетики также стимулирует возрастание потребностей в карбиде кремния. Таким образом, приобретают все большую актуальность исследования, направленные на создание энергоэффективных технологий получения карбида кремния.

Основными мировыми производителями карбида кремния являются AGSCO Corporation; Carborundum Universal Limited; Dow Chemical Co.; Entegris, Inc.; ESD-SIC b.v.; ESK-SIC GmbH; Grindwell Norton Ltd. and Saint Gobain Ceramic Materials GmbH [6].

Объем мирового рынка карбида кремния в 2019 году оценивался в 2,52 миллиарда долларов США, и ожидается, что в период с 2020 по 2027 год показатель совокупного среднегодового темпа роста (CAGR) составит почти 16,1%.

Известно примерно 250 кристаллических форм карбида кремния (SiC) [7]. Полиморфизм SiC характеризуется большим количеством схожих кристаллических структур, называемых политипами. Они являются вариациями одного и того же химического соединения, которые идентичны в двух измерениях, но отличаются в третьем. Рассмотрим самые распространённые модификации карбида кремния.

Альфа-карбид кремния (α-SiC) (рисунок 1) является наиболее часто встречающимся полиморфом. Эта модификация образуется при температуре свыше 1700 °C и имеет гексагональную решётку, а кристаллическую структуру типа вюрцита (лучистая цинковая обманка).

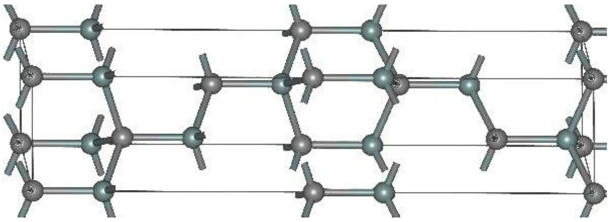


Рисунок 1. Структура (α)6H-SiC

Бета-модификация (β-SiC) (рисунок 2) образуется при температурах ниже 1700 °C с кристаллической структурой типа цинковой обманки (аналог структуры алмаза) [8]. До недавнего времени бета-форма имела сравнительно небольшое коммерческое использование, однако в настоящее время интерес к ней возрастает в связи с использованием карбида кремния в качестве гетерогенных катализаторов.

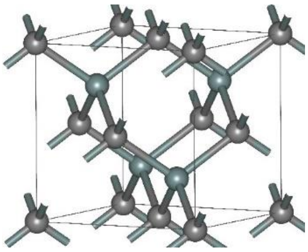


Рисунок 2. Структура (β)3C-SiC

Нагревание бета-формы до температур свыше 1700 °C способно приводить к постепенному переходу кубической бета-формы в гексагональную (2H, 4H, 6H, 8H) и ромбическую (15R) [9].

Промышленные способы получения карбида кремния

В конце XIX века почти одновременно карбид кремния был получен Шутценбергом, Муассаном и Ачесоном. Разработанный Ачесоном способ получения карбида кремния [10, 11] применяется в основе его промышленного производства. В соответствии с этим способом в кремнезем (диоксид кремния SiO_2) добавляют малозольный или нефтяной кокс, после чего производят термообработку (t=2000…2500°C), пропуская электрический ток через угольные электроды и сердечник. В шихту также добавляют поваренную соль и в зависимости от ее количества получают зелёный или черный поликристаллический карбид кремния. Продолжительность процесса около 40 часов. После такой обработки неизбежно присутствие большое количество неконтролируемых примесей. Полученный методом Ачесона карбид кремния применяется для изготовления абразивного инструмента, подложек для изготовления полупроводниковых приборов, в качестве источника паров при выращивании кристаллов по методу Лели, а также для изготовления других изделий из карбида кремния.

Выпускаемый абразивной промышленностью карбид кремния по содержанию примесей подразделяется на два класса: черный и зеленый. Зеленый цвет монокристаллам придает азот, а черный – алюминий. Зеленый карбид кремния содержит меньшее количество примесей. В таблице 2 представлен химический состав черного и зеленого карбида кремния.

Таблица 2. Химический состав черного и зеленого карбида кремния (SiC), %мас.

Карбид кремния	SiC	Fe	Al	CaO	SiO_2
Зеленый	98,70	0,11	0,06	0,01	—
Черный	96,21	1,05		—	0,94

Метод Лели заключается в испарении поликристаллического карбида кремния (t=2500…2650 °C) и последующей конденсации паров на случайных зародышах. Данным методом из карбида кремния прессованием изготавливают втулку, которую помещают в графитовый тигель. На внутренних стенках втулки температура на 50–70 °C ниже, чем на внешних стенках, что приводит к конденсации паров в полости втулки и росту монокристаллов. Большое количество зародышей приводит к избытку мелких кристаллов и образованию друз.

До начала 1980 гг. метод Лели был единственным методом производства кристаллов для полупроводниковой промышленности [12].

Одним из технически простых и широко используемых является процесс синтеза карбида кремния, заключающийся в восстановлении кремнезема углеродом электродуговым методом [13]. Многостадийный процесс последовательного прохождения реакций заканчивается образованием карбида кремния. Другой промышленный способ, предложенный Куном [14], предусматривает использование дуговой печи, в которой дуга зажигается между электродами, состоящими из смеси диоксида кремния и углерода. Горение дуги и восстановление кремнезема происходит в восстановительной или нейтральной атмосфере. К другим методам синтеза, например, силицирования графита, реакционном спекании карбидокремниевых материалов и получении порошков чистого карбида кремния относятся синтез из кремния и углерода, причем карбид кремния образуется при всех температурах вплоть до 2000 °C. Но такой способ достаточно дорогостоящий из-за высокой стоимости кремния. В настоящее время проводятся исследования по оптимизации режимов работы электродуговой печи, поиску недорогих катализаторов, исходных реагентов и иных расходных материалов [15]. В частности, предлагается использование природного угля для изготовления электродов электродуговой системы, а также в качестве исходного источника углерода для проведения синтеза различных материалов [16]. Известна работа [17], в которой предлагается подход к модернизации электродугового метода, в частности, получение углеродных ультрадисперсных материалов в воздушной среде при нормальном или пониженном давлении. Данное решение предполагает потенциально значительный экономический эффект за счет снижения стоимости оборудования, потребления электрической энергии и расходных материалов, вследствие исключения из системы вакуумно-газового оборудования и непосредственно корпуса реактора в его традиционном исполнении. Подобные системы функционируют за счет генерации монооксида углерода и активного потребления кислорода в пространстве, окружающем электродуговую плазму, инициированную на графитовых электродах в воздушной среде [18].

Получение кубического и наноразмерного карбида кремния

В Томском политехническом университете разработан метод получения кубической фазы карбида кремния путем отжига в воздушной среде порошкового продукта электродугового синтеза, состоящего из β-SiC, графита и небольшого количества кремния. Благодаря высокой стойкости β-SiC к окислению в воздушной среде удалось произвести его очистку в процессе горения фазы графита в температурном интервале ~ 700–900 °C. В работе использовались два типа прекурсоров: 1) смесь порошкового кремния с рентгеноаморфным углеродом в виде микроразмерных волокон; 2) смесь порошкового кремния с порошковым углеродом. Соотношение масс в исходной смеси составляет Si:C=2:1. По результатам анализа методом рентгеновской дифрактометрии получен порошковый материал с содержанием β-SiC близким к 99% об., а по результатам анализа методом растровой электронной микроскопии β-SiC характеризуется широким (от ~ 0,1 до ~ 10 мкм) распределением частиц по размерам и типичной для данной фазы формой кристаллов [19].

Этот результат обеспечивают два фактора: наличие в составе смеси исходных реагентов углеродных волокон и достаточное количество подведенной энергии – 216 кДж/г [19–21].

Одновременно внимание исследователей сосредоточено на получении наноразмерных частиц карбида кремния в матрицах, а также карбидокремниевых нанопроволок и нанотрубок [22]. Для этого используются следующие основные технологические процессы и методы: электрохимическое и химическое травление, карбидизация кремния и его оксида, имплантация ионов углерода в кремний, совместная имплантация ионов углерода и кремния в матрицы типа SiO_2 [23]. Для синтеза нанокристаллического карбида кремния используется два метода: карботермическое восстановление диоксида кремния и химическое осаждение из газовой фазы. Первый, несмотря на кажущуюся простоту и основываясь на термическом взаимодействии углерода с диоксидом кремния, представляет собой совокупность более 20 различных реакций и последовательностей гетерогенных взаимодействий, скорость которых лимитируется как диффузионными механизмами, так и площадью поверхности контакта фаз. Ключевым фактором, оказывающим наибольшее влияние на химическое взаимодействие контактирующих фаз и физико-химические свойства конечного продукта, является морфология исходных материалов и выбранный метод синтеза смеси контактирующих фаз SiO_2-C. Данные термодинамического анализа системы Si-C-O по результатам экспериментальных исследований карботермического восстановления различных форм углерода позволяют не только выявить общие закономерности синтеза карбидокремниевых материалов с известной морфологией, но и описать механизмы роста наноструктур карбида кремния. Другим методом получения нанокристаллического карбида кремния является химическое осаждение из газовой фазы. Процессы в газовой фазе играют одну из ключевых ролей не только при создании покрытий, но и для объемных конструкций из карбида кремния. Типичными прекурсорами в этих процессах являются производные силана и углеводородов, органохлорсиланы и прочие, которые подвергаются термической деструкции в водороде при высоких температурах (обычно выше 1500 °C), для получения карбида кремния. При этом очевидным недостатком рассмотренных методик является наличие химически активных продуктов реакций (водород, хлористый водород, хлор и пары воды), которые в различных соотношениях представляют не только химически активные, но и взрывоопасные смеси. Поэтому задача поиска и синтеза прекурсоров нового класса, взаимодействие или термическое разложение которых не приводит к образованию в газовой фазе коррозионно-активных и взрывоопасных соединений, представляется актуальной в настоящее время [24].

В работе [25] рассмотрена механическая активация реакционных порошковых смесей для получения субмикронных частиц карбида кремния методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Проведены сравнительные исследования процесса механической активации при использовании различных источников углерода: сажи или графита. Исходная смесь в первом случае представляла собой крупные частицы (осколки) кремния и пластинчатые частицы графита. Во втором случае исходная смесь состояла из крупных частиц кремния (размером до 20 мкм), вокруг которых концентрировались мелкие частицы сажи (размером менее 200 нм). Проведенные сравнительные исследования смесей (с добавлением сажи Si+C(сажа) и с графитом Si+C(графит)) показали, что в случае применения графита композиционные частицы образуются практически с одновременным разрушением и уменьшением размера частиц двух компонентов (Si и C). Вследствие того, что сажа мелкодисперсная, то в смеси Si+C(сажа) происходит обволакивание сажей частиц кремния в процессе их разрушения. Применение азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза позволило получить из шихты состава «$19Si+6NaN_3+(NH_4)2SiF_6+20C$» продукт, состоящий практически полностью из β-SiC – 89,4% мас., с примесью α-$Si3N_4$ – 5,5% мас. и Si – 5,1% мас., представляющий собой наноразмерные частицы карбида кремния (80–150 нм), объединенные в агломераты размером до 50 мкм.

В Самарском государственном техническом университете проведены исследования влияния различных источников углерода на морфологию и размер частиц карбида кремния, полученного по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. В качестве источника углерода использовались следующие материалы: активированный уголь «БАУ» на древесной основе; активированный уголь «АГ-2» на каменноугольной основе; сажа П700; графит. В процессе горения смеси «$19Si+20C+6NaN_3+(NH_4)2SiF_6$» образуется карбид кремния в виде равных частиц, размером от 70 до 200 нм. Карбид кремния с частицами наименьшего размера (70–150 нм) образуется при использовании активированного угля «АГ-2» на каменноугольной основе [26–27].

В работах [28–31] доказана возможность плазмодинамического синтеза карбида кремния. Приводятся результаты синтеза ультрадисперсного карбида кремния при воздействии плазменной углерод-кремниевой струи сверхзвуковой скорости на медную перегородку, анализируется фазовый и гранулометрический состав продукта при различных количествах подведенной к системе энергии. Высокоскоростная плазменная струя генерировалась коаксиальным магнитоплазменным ускорителем с графитовыми электродами. Исследовался продукт, получаемый в системе Si-C, образуемой в гиперскоростной струе плазмы. Выявлено, что продукт состоит в основном из искомой фазы кубического карбида кремния, а также непрореагировавших прекурсоров. В работе [30] проведен расчет гранулометрического состава порошкообразных продуктов, получена функция распределения частиц по размерам, а также обобщенная зависимость среднего размера частиц от подведенной к системе энергии (рисунок 3).

Как следует из рисунка 3, при увеличении количества подводимой энергии для процесса синтеза наблюдается рост размеров частиц. Полученную зависимость можно пояснить увеличением энергетических параметров плазменного потока, индуцированного вблизи медной преграды, которые влияют на время роста кристаллов. Таким образом, варьируя энергией потока плазмы (определяется количеством подведенной энергии к системе) возможно изменять дисперсность синтезированного нанопорошка.

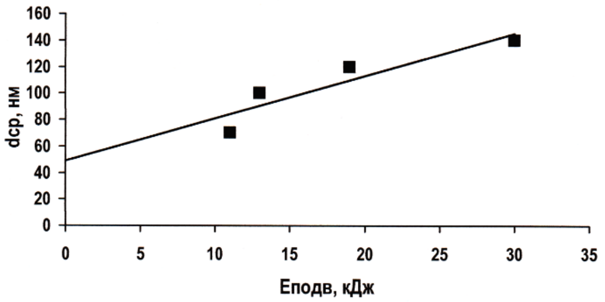


Рисунок 3. Зависимость среднего размера частиц нанокарбида кремния от уровня приложенной энергии [30]

В статье [32] описано формирование наночастиц кремний - карбид кремния на границе раздела фаз оксид графена – кремний. В зависимости от толщины пленки оксида графена полученные наночастицы диспергируются на поверхности кремния. Показано, что наночастицы дисперсного кремния формируются на графеноксидных слоях, в то время как одномерные наноструктуры содержат самоорганизующиеся наночастицы Si-SiC с внедренным оксидом графена. Предложен метод легкого химического осаждения из паровой фазы в псевдоожиженном слое для синтеза монодисперсных наночастиц карбида кремния (SiC) с использованием гексаметилдисилазана ($[(CH_3)_3Si]_2$ NH) [33]. Получены наночастицы SiC средним размером частиц от 10 до 200 нм. Преимущества технологии с псевдоожиженным слоем для получения наночастиц карбида кремния представляются в особенностях зоны гомогенной реакции, узкого распределения температуры и сверхкороткого времени пребывания реагентов. В работе [34] наноматериалы из карбида кремния получены в результате твердофазной реакции метатезиса разных источников кремнезема, магния и углерода. Данный метод позволяет при 600 °C синтезировать кристаллические наноматериалы β-SiC различной морфологии.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ

Пористый карбид кремния привлекает внимание исследователей и разработчиков полупроводниковых приборов [35], поскольку имеет свойство к интенсивной фотолюминесценции при комнатной температуре. Основным методом формирования пористой структуры карбида кремния является метод электрохимического анодирования [36–37]. В статье [36] использовалась пластина 6H-SiC, анодирование осуществлялось в электролите $HF:H_2O:C_2H_5OH$ – 1:1:2 при освещении поверхности образца источником ультрафиолетового света. При плотности тока 20, 60 и 100 мА/см^2 исходные толщины пористого карбида кремния составляли 26, 18 и 16 мкм соответственно, а с ростом плотности тока скорость роста слоя пористого карбида кремния увеличивалась нелинейно и составляла 1,73, 3,6 и 5,33 мкм/мин. Проведенные исследования в работе [38] показали, что пористый слой карбида кремния на подложке можно использовать как буферный слой для получения более совершенных, чем на подложке, эпитаксиальных слоев карбида кремния. В статье [39] описаны результаты электронно-микроскопических исследований поперечных срезов (микрошлифов) пористого карбида кремния, полученного электрохимическим травлением на подложках 6H-SiC. Между порой (пустотой) и не подвергшимся травлению материалом карбида кремния выявлен промежуточный слой, состоящий из нарушенной области, включающей в себя двумерные дефекты, и полностью аморфная часть. Слой эпитаксиального карбида кремния непосредственно в месте контакта с пористым слоем сохраняет избыток углерода. Авторами [40] проведен анализ таких показателей и характеристик образцов керамики из пористого карбида кремния: морфология, физическая фаза, скорость потери массы, плотность, пористость, прочность на изгиб и стойкость к тепловому удару. Пористая керамика карбида кремния приготавливалась смешением промышленного порошка кремния и фенольной смолы бария. Образцы керамики, спекаемые в вакууме, обладают лучшей прочностью на изгиб и пористостью, в то время как образцы керамики, спекаемые в атмосфере с инертным газом (аргон Ar), имеют более высокую чистоту и высокое значение ударной вязкости. В работе [41] получены SiC-структуры с пористостью от 20 до 60% с использованием двух методов: эмульгирования и литья под давлением. Эмульгирование приводит к получению изотропных материалов со связанными порами, а литье под давлением может использоваться для изготовления высокоанизотропных материалов с характерной многослойной архитектурой. Спекание в жидком состоянии (с добавками Al_2O_3 и Y_2O_3As) при 1800 °C на порошке SiC/Al_2O_3 обеспечивает оптимальное уплотнение для пористых структур. Материалы, полученные литьем под давлением с контролируемой смесью микро- и наночастиц, демонстрируют более высокую степень сжатия.

Получение мелкодисперсного карбида кремния

Значительных успехов в исследовании вопроса получения мелкодисперсного карбида кремния достигли ученые Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, которыми разработана технология синтеза карбида кремния в электротермическом псевдоожиженном слое (ЭТПС). Разработанная автоматизированная экспериментальная установка с реактором ЭТПС (внутренний диаметр реактора 180 мм, напряжение на электродах ДС 0–200 В, электрический ток до 150 А) [42] состоит из следующих составных частей (рисунок 4):

– реакторный блок;
– система газораспределения и продувки всех узлов установки;
– система вывода и утилизации образующихся газообразных продуктов;
– система газового анализа;
– системы подачи в реактор исходных материалов и вывода твердых продуктов;
– система измерения температуры;
– регулируемый источник электропитания;
– система автоматизированного управления и контроля.

Принцип работы реактора ЭТПС заключается в создании электротермического кипящего слоя из смеси углеродного восстановителя C и мелкодисперсных частиц диоксида кремния SiO_2 заданного массового состава (рисунок 5).

В условиях ЭТПС протекают электрические, тепловые и химические процессы, совокупность которых приводит к определенным особенностям образования промежуточных соединений и конечных продуктов. Метод получения мелкодисперсного карбида кремния карботермическим восстановлением кремнезёма посредством технологии ЭТПС предполагает следующую последовательность стадий. В реактор загружается исходное количество мелкодисперсных частиц углеродного восстановителя с заданным распределением частиц по размерам (фракционным составом). В процессе вывода реактора на рабочий температурный режим (1400–1800 °C) в нижнюю его часть через газораспределительную решетку со строго заданной скоростью подводится инертный газ для образования кипящего слоя частиц, а затем подается электрический потенциал на электроды. После достижения рабочего значения температуры в кипящем слое и прокалки исходного углеродного восстановителя в реактор подаются мелкодисперсные частицы диоксида кремния. На поверхности нагретых частиц прокаленного углеродного восстановителя протекают химические реакции с образованием карбида кремния. При этом частицы увеличиваются в весе, опускаются в нижнюю часть реактора и выводятся из реактора при помощи устройства для выгрузки. Продолжительность процесса определяется таким образом, чтобы весь кварцевый песок прореагировал с образованием карбида кремния. Устойчивая работа реактора ЭТПС позволяет довести концентрацию образования карбида кремния в шихте до 50–60% мас., после чего продукт выгружается и подлежит декарбонизации. Энергетическая эффективность данного метода возрастает с увеличением масштаба установки за счет снижения относительной величины потерь теплоты в окружающую среду [42–46].

Рисунок 4. Экспериментальная установка с реактором ЭТПС [42]

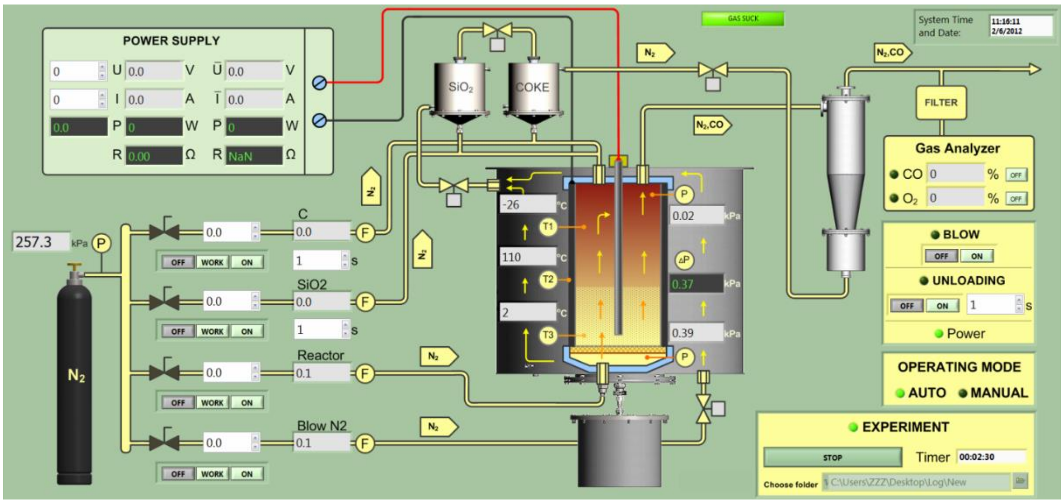


Рисунок 5. Мнемосхема управления установкой ЭТПС, выводимая на дисплей ПК [42]

Институтом газа НАН Украины совместно с Институтом тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси и Национальным научным центром «Харьковский физико-технический институт» проводятся исследования, направленные на развитие технологического метода получения мелкодисперсного карбида кремния в реакторе электротермического псевдоожиженного слоя для карботермического восстановления кремнезёма, капсулированного углеродом повышенной чистоты [47, 48]. Экспериментально подтверждено принципиальную возможность получения карбида кремния из кремнезема, капсулированного пироуглеродом [49, 50]. Полученный карбид кремния практически не содержит примесей. Дальнейшие исследования направлены на изучение возможности использования полученного карбида кремния для создания толерантного ядерного топлива. Также данными научно-исследовательскими учреждениями и организациями, совместно с Национальным авиационным университетом и Сумским государственным университетом планируется проведение исследований возможности использования полученного карбида кремния в аэрокосмической технике и других отраслях промышленности.

Выводы

Повышение мирового спроса на карбид кремния стимулирует развитие новых технологий его получения. Исследования по получению мелкодисперсного, пористого и наноразмерного карбида кремния проводятся в ведущих научно-исследовательских институтах и организациях мира. Промышленным методом получение карбида кремния до сих пор является карботермическое восстановление, предложенное Ачесоном в XIX веке, который основан на восстановлении SiO_2 углеродом в крупнотоннажных электрических печах. Данный метод характеризуется низкой чистотой готового продукта, значительным объемом ручного труда, а также невозможностью получения порошкового готового продукта. Более современные методы характеризуются высокими энергозатратами, токсичностью при использовании силанов, технической сложностью при применении плазмовых технологий, а также низкой производительностью при получении наночастиц SiC.

Одним из перспективных способов получения карбида кремния является карботермическое восстановление капсулированного пироуглеродом кремнезема в реакторах с ЭТПС. Благодаря получению пироуглерода из газовой фазы обеспечивается высокая чистота полученного карбида кремния. Равномерное распределение температур в псевдоожиженном слое и максимальный контакт фаз «SiO_2-C» повышает выход готового продукта. Генерация теплоты непосредственно внутри реактора с ЭТПС позволяет снизить тепловые и как следствие энергетические затраты.

Статья подготовлена в рамках международного научно-исследовательского проекта (совместный конкурс НАН Украины – НАН Беларуси) «Разработка и исследование энергоэффективной инновационной технологии синтеза мелкодисперсного карбида кремния с повышенной степенью чистоты в электротермическом кипящем слое» (№ госрегистрации: 0120U101740) и прикладных научно-исследовательских работ «Создание новых гранулированных материалов для ядерного топлива и катализаторов в активной гидродинамической среде» (МОН Украины, № госрегистрации: 0120U102036).

Литература

1. Лебедев А.А. О сравнении радиационной стойкости кремния и карбида кремния. – Физика и техника полупроводников [Текст] / А.А. Лебедев, В.В. Козловский // 2014, том 48, вып. 10. – С. 1329–1331.
2. Hrubcína L. Исследование радиоционной стойкости Si- и SiC- детекторов на пучке ионов Xe. [Текст] / L. Hrubcína, Ю.Б. Гурова, B. Zaťkob, О.М. Иванова, С.В. Митрофанова, С.В. Розова, В.Г. Сандуковский, В.А. Семина, В.А. Скуратова // Приборы и техника эксперимента. – 2018, № 6. – С. 5–7.
3. Cozzo C. SiC Cladding Thermal Conductivity Requirements for Normal Operation and LOCA Conditions. [Текст] / C. Cozzo // Prog. Nucl. Eng. 2018, 106, P. 278–283.
4. Гребенник В.Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы – инновационное направления развитие атомной энергетики [Текст] / В.Н. Гребенник, Н.Е. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной // М.: Энергоатомиздат. 2008. – 136 с.
5. Ahn K. Safety Evaluation of Silicon Carbide and Zircaloy-4 Cladding during a Large-Break Loss-of-Coolant Accident [Текст] / K. Ahn, K. Joo, S.P. Park // Energies. 2018, 11, 3324. – 13 p. https://doi.org/10.3390/en11123324
6. Silicon Carbide Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Black & Green), By Application (Steel, Automotive, Aerospace, Military & Defense), By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027. [Текст] Grand View Research is registered in the State of California at Grand View Research, Inc. San Francisco. 2020. – 94 p.
7. Cheung R. Silicon carbide microelectromechanical systems for harsh environments [Текст] / R. Cheung // Imperial College Press. 2006. – 181 p.
8. Takahiro Muranaka. Superconductivity in carrier-doped silicon carbide [Текст] / Takahiro Muranaka, Yoshitake Kikuchi, Taku Yoshizawa, Naoki Shirakawa, Jun Akimitsu // Science and Technology of Advanced Materials. Volume 9. 2008. – P. 4–8. https://doi.org/10.1088/1468-6996/9/4/044204
9. Хенит Г. Карбид кремния [Текст] / Г. Хенита, Р. Рол // пер. с англ.; М. Мир: 1972. – 349 с.
10. Pat. No. 17911 Great Britain. Synthese von SiC während des Schmelzprozesses. von Kohlenstoff und Aluminiumsilikaten. 1892.
11. Pat. No. 492767 US. Production of artificial crystalline carbonaceous materials / E.G. Acheson // Applicant and patent holder: E.G. Acheson, Assingor to the carborundum company. applic. date: 10.05.1892; publ. date: 28.02.1893.
12. Агеев О.А. Карбид кремния: технология, свойства, применения [Текст] / О.А. Агеев, А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец, В.С. Киселев, Р.В. Конакова, А.А. Лебедев, В.В. Миленин, О.Б. Охрименко, В.В. Поляков, А.М. Светличный, Д.И. Чередниченко / Под общей редакцией член-корр. НАНУ, д.ф.-м.н., проф. Беляева А.Е., д.т.н., проф. Конаковой Р.В. // Харьков: «ИСМА». 2010. – 532 с.
13. Parmentier J. Formation of SiC via carbothermal reduction of a carbon –containing MCM-48 silica phase: a new route to produce high surface area SiC [Текст] / J. Parmentier et all. // Ceramics International, V.28, Issue 1, 2002. – P. 1–7.
14. Coune G. and all, High porosity SiC prepared via a process involving an SHS stage [Текст] / G. Coune and all // Journal of the European Ceramic Society, Vol.23, Issue 11, 2003. – P. 1949–1956.
15. Yanjie Su. Carbon nanomaterials synthesized by arc discharge hot plasma [Текст] / Yanjie Su, Yafei Zhang // Carbon, Vol. 83. 2015. – P. 90–99.
16. Jieshan Qiu. Synthesis of carbon-encapsulated nickel nanocrystals by arc-dischargeof coal-based carbons in water [Текст] / Jieshan Qiu, Yongfeng Li, Yunpeng Wang, Zongbin Zhao, Ying Zhou, Yanguo Wang // Fuel, Vol. 83. 2004. – P. 615–617.
17. Jiang Zhao, Yanjie Su, Zhi Yang, Liangming Wei, Ying Wang, Yafei Zhang. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // Carbon. 2013. Vol. 58. – P. 92–98.
18. Yanjie Su. Low-cost synthesis of single-walled carbon-nanotubes by low-pressure air arc discharge [Текст] / Yanjie Su, Hao Wei, Tongtong Li, Huijuan Geng, Yafei Zhang // Materials Research Bulletin. 2014. – P. 23–24.
19. Пак А.Я. Электродуговой синтез и очистка от углеродных примесей кубического карбида кремния в воздушной атмосфере [Текст] / А.Я. Пак, М. А. Рудмин, Г.Я. Мамонтов, О.А. Болотникова // Сверхтвердые материалы, № 3. 2018. – С. 3–12.

20. Пак А.Я. Влияние энергии на фазовый состав продукта безвакуумного электродугового карбида кремния [Текст] / А.Я. Пак, Г.Я. Мамонтов, О.А. Болотникова // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, Т. 19, № 2. 2018. – С. 165–176.
21. Кокорина А.И. Электродуговой синтез карбида кремния и получение высоконаполенного металломатричного композита на его основе [Электрон. текстовые дан.] / А.И. Кокорина, А.Я. Пак // Междисциплинарные проблемы аддитивных технологий: сборник тезисов V Всероссийского научного семинара, 5–6 декабря 2019, Томск. – С. 37–38.
22. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства [Текст] / Р.А. Андриевский // Успехи химии, № 78(9). 2009. – С. 889–900.
23. Севастьянов В.Г. Влияние природы прекурсоров высокодисперсного углерода на морфологию наночастиц карбида кремния [Текст] / В.Г. Севастьянов, Р.Г. Павелко, Н.Т. Кузнецов // Химическая технология, Т. 1. 2007. – С. 12–17.
24. Павелко Р.Г. Синтез высокодисперсных форм карбида кремния [Текст] : дис. ... канд. хим. наук: 02.00.01: защищена 24.05.2007 / Павелко Роман Георгиевич. – М.: 2007. – 222 с.
25. Московских Д.О. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нанопорошков карбида кремния [Текст] / Д.О. Московских, А.С. Мукасьян, А.С. Рогачев // Доклады Академии Наук. 2013. – Т. 449. – № 2. – С. 1–4.
26. Сафаева Д.Р., Титова Ю.В., Майдан Д.А. Получение карбида кремния по азидной технологии с использованием различных источников углерода [Текст] / Д.Р. Сафаева, Ю.В. Титова, Д.А. Майдан // Современные материалы, техника и технологии, № 6(14). 2017. – С. 129–133.
27. Кондратьева Л. А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез порошков нитридных композиций Si3N4-TiN, Si3N4-AlN, Si3N4-BN, AlN-BN, AlN-TiN, BN-TiN с применением азида натрия и галоидных солей [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 01.04.17: защищена: 28.09.2018 / Кондратьева, Людмила Александровна. Самара: 2018. – 881 с.
28. Сивков А.А. Прямой плазмодинамический синтез ультра-дисперсного карбида кремния [Текст] / А.А. Сивков, Д.С. Никитин, А.Я. Пак, И.А. Рахматуллин // Письма в ЖТФ, Том 39. Вып. 2. 2013. – С.15–20.
29. Сивков А.А. Получение ультрадисперсного кристаллического карбида кремния методом плазмодинамического синтеза [Текст] / А.А. Сивков, Д.С. Никитин, А.Я. Пак, И.А. Рахматуллин // Сверхтвердые материалы, № 3. 2013. – С. 11–18.
30. Никитин Д.С. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и возможность изменения характеристик продукта [Текст] / Д.С. Никитин, А.А. Сивков / Вектор науки ТГУ, №3. 2013. – С. 80–82.
31. Никитин Д.С. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и управление составом продукта [Текст] / Д.С. Никитин // Материалы XX Международной научно-практической конференции: «Современные техника и технологии» Секция 6: Материаловедение. 2014. – С. 71–72.
32. Manuel Alejandro Perez-Guzman. Growth and Self-Assembly of Silicon–Silicon Carbide Nanoparticles into Hybrid Worm-Like Nanostructures at the Silicon Wafer Surface [Текст] / Manuel Alejandro Perez-Guzman, Rebeca Ortega-Amaya, Yasuhiro Matsumoto, Andres Mauricio Espinoza-Rivas, Juan Morales-Corona, Jaime Santoyo-Salazar, Mauricio Ortega-Lopez // Nanomaterials, No. 8 (954). 2018. – P. 47–56. https://doi.org/10.3390/nano8110954
33. Liu, R. Large-scale synthesis of monodisperse SiC nanoparticles with adjustable size, stoichiometric ratio and properties by fluidized bed chemical vapor deposition [Текст] / R. Liu, M. Liu, J. Chang // Journal of Nanoparticle Research, No. 19. 2017. – P. 42–48. https://doi.org/10.1007/s11051-016-3737-y
34. Mita Dasog. Low temperature synthesis of silicon carbide nanomaterials using a solid-state method [Текст] / Mita Dasog, Larissa F. Smith, Tapas K. Purkait, Jonathan G. C. Veinot // Chemical Communication, No. 49. 2013. – P. 7004–7006. https://doi.org/10.1039/c3cc43625j
35. Ivanov P.A. Effective Carrier Concentration in Porous Silicon Carbide [Текст] / P.A. Ivanov, M.G. Mynbaeva, S.E. Saddow // Semicond. Sci. Technol., Vol. 19, No 3. 2004. – P. 319–322.
36. Matsumoto T. Blue-Green Luminescence from Porous Silicon Carbide [Текст] / T. Matsumoto, J. Takahashi, T. Tamaki, T. Furtagi // Applied Physics Letter, Vol. 64(2). 1994. – P. 226–228. https://doi.org/10.1063/1.111979
37. Shor J.S. Direct observation of porous SiC formed by anodization in HF [Текст] / J.S. Shor, J. Grinerg, B.Z. Weiss., A.D. Kzurz // Applied Physics Letters, Vol. 62. 1993 – P. 2836–2838.
38. Светличная П.А. Получение и свойства пористого карбида кремния [Текст] / П.А. Светличная, Н.Н. Московченко, П.В. Серба // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 1. 2005.– С. 53–57.
39. Сорокин Л.М. Особенности структуры пористого карбида крения, полученного электрохимическим травлением на положках 6H-SiC [Текст] / Л.М. Сорокин, Н.С. Савкина, В.Б. Шуман, А.А. Лебедев, Г.Н. Мосина, Дж. Хатчисон // Письма в ЖТФ, Том 28, вып. 22. 2002. – С. 23–31.
40. Hongsheng. Influence of sintering atmosphere on the performance of porous silicon carbide ceramics [Текст] / Hongsheng, Kaihong Zhang, Ziqiang Li, Xiaoxue Liu // Proceedings 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology. 2016. – P. 150–155.
41. Ferraro, C., Garcia-Tunon, E., Barg, S., Miranda, M., Ni, N., Bell, R., Saiz, E. SiC porous structures obtained with innovative shaping technologies. [Текст] / C. Ferraro, E. Garcia-Tunon, S. Barg, M. Miranda, N. Ni, R. Bell, E. Saiz // Journal of the European Ceramic Society, Vol. 38, Issue 3. 2018. – P. 823–835. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.09.048
42. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Гребеньков А.Ж., Михайлов А.А. Синтез карбида кремния в электротермическом реакторе с кипящим слоем углеродных частиц [Текст] / В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, А.А. Михайлов // Горение и плазмохимия, Т. 13, № 2. 2015. – С. 92–102.
43. Бородуля В.А. Карботермический синтез пористых порошков карбида кремния в реакторе электротермического кипящего слоя и перспективы его использования в полимерных композитах [Текст] / В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, В.И. Дубкова, А.А. Михайлов, Т.И. Пинчук // Материалы 6-го Меж-

дународного симпозиума «Пористые проницаемые материалы и технологии и изделия на их основе». 19–20 октября 2017 г., Минск. – С. 524–538.

44. Бородуля В.А. Синтез карбидокремниевых порошковых материалов карботермическим восстановление кремнезема в реакторе электротермического кипящего слоя [Текст] / В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, А.А. Михайлов // Сборник научных статей «Порошковая металлургия в Беларуси: Вызовы времени». 2017. – С. 357–366.
45. Дубкова В.И., Наночастицы мелкодисперсного карбида кремния полученного в электротермическом кипящем слое – структурный модификатор термопластичных полимеров [Текст] / В.И. Дубкова, В.А.Бородуля, Л.М. Виноградов, С.М. Данилова-Третьяк, Л.Е Евсеева., Т.И. Пинчук // ИФЖ, Том 92, № 5. 2019. – С. 2291–2305.
46. Евразийский патент ЕА № 027539, МПК C01B 31/36 (2006.01), C01B 31/00 (2006.01), B01J 8/00 (2006.01). Способ и установка для получения карбида кремния / В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, А.А. Михайлов; заявитель и собственник патента: Государственное научное учреждение «Институт тепло- и масообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси». – № 20150055; заявл. 07.05.2015; опубл. 31.08.2017.
47. Пат. 146598 Україна, МПК С23С16/26. Спосіб одержання піровуглецю / К.В. Сімейко, В.О. Бородуля, С.Ю. Саєнко, К.В. Лобач, О.П. Кожан, В.М. Дмітрієв М.А. Сидоренко, Я.О. Івачкін, О.В. Марасін, С.С. Кустовський, Р.Є. Чумак; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u 202006806; заявл. 22.10.2020; опубл. 04.03.2021.
48. Пат. 133969 Україна, МПК (2019.01) С04В 3500, С04В 35/56 (2006.01) С01В 32/956 (2017.01). Спосіб одержання карбіду кремнію / К.В. Сімейко, Б.І. Бондаренко, В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, О.П. Кожан, В.М. Дмітрієв, В.С. Рябчук, М.А. Сидоренко, І.О. Писаренко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. – № u 201811907; заявл. 3.12.2018; опубл. 25.04.2019.
49. Семейко К.В. Развитие некоторых сопутствующих технологий ядерных реакторов с газовым теплоносителем IV поколения / К.В. Семейко // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан. – 2019. – Выпуск 3 (79). – С. 24–29.
50. Сімейко К.В. Науково-технологічні основи високотемпературних процесів у електротермічному псевдозрідженому шарі. дис. … докт. техн. наук. 05.17.08, захищена 26.03.2021 / Сімейко Костянтин Віталійович. Львів, 2021. – 391 с.

REFERENCES

1. Lebedev A.A. O sravnenii radiatsionnoy stoykosti kremniya i karbida kremniya. – Fizika i tekhnika poluprovodnikov [Tekst] / A.A. Lebedev, V.V. Kozlovskiy // 2014, Vol. 48, Issue 10. – P. 1329–1331.
2. Hrubcína L. Issledovanie radiotsionnoy stoykosti Si- i SiC- detektorov na puchke ionov Khe. [Tekst] / L. Hrubcína, Yu.B. Gurova, B. Zaťkob, O.M. Ivanova, S.V. Mitrofanova, S.V. Rozova, V.G. Sandukovskiy, V.A. Semina, V.A. Skuratova // Pribory i tekhnika eksperimenta. – 2018, No. 6. – P. 5–7.
3. Cozzo C. SiC Cladding Thermal Conductivity Requirements for Normal Operation and LOCA Conditions. [Tekst] / C. Cozzo // Prog. Nucl. Eng. 2018, 106, P. 278–283.
4. Grebennik V.N. Vysokotemperaturnye gazookhlazhdaemye reaktory – innovatsionnoe napravleniya razvitie atomnoy energetiki [Tekst] / V.N. Grebennik, N.E. Kukharkin, N.N. Ponomarev-Stepnoy // M.: Energoatomizdat. 2008. – 136 p.
5. Ahn K. Safety Evaluation of Silicon Carbide and Zircaloy-4 Cladding during a Large-Break Loss-of-Coolant Accident [Tekst] / K. Ahn, K. Joo, S.P. Park // Energies. 2018, 11, 3324. – 13 p. https://doi.org/10.3390/en11123324
6. Silicon Carbide Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Black & Green), By Application (Steel, Automotive, Aerospace, Military & Defense), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. [Tekst] Grand View Research is registered in the State of California at Grand View Research, Inc. San Francisco. 2020. – 94 p.
7. Cheung R. Silicon carbide microelectromechanical systems for harsh environments [Tekst] / R. Cheung // Imperial College Press. 2006. – 181 p.
8. Takahiro Muranaka. Superconductivity in carrier-doped silicon carbide [Tekst] / Takahiro Muranaka, Yoshitake Kikuchi, Taku Yoshizawa, Naoki Shirakawa, Jun Akimitsu // Science and Technology of Advanced Materials. Volume 9. 2008. – P. 4–8. https://doi.org/10.1088/1468-6996/9/4/044204
9. Khenit G. Karbid kremniya [Tekst] / G. Khenita, R. Rol // transl. from english.; Moscow. Mir: 1972. – 349 p.
10. Pat. No. 17911 Great Britain. Synthese von SiC während des Schmelzprozesses. von Kohlenstoff und Aluminiumsilikaten. 1892.
11. Pat. No. 492767 US. Production of artificial crystalline carbonaceous materials / E.G. Acheson // Applicant and patent holder: E.G. Acheson, Assingor to the carborundum company. applic. date: 10.05.1892; publ. date: 28.02.1893.
12. Ageev O.A. Karbid kremniya: tekhnologiya, svoystva, primeneniya [Tekst] / O.A. Ageev, A.E. Belyaev, N.S. Boltovets, V.S. Kiselev, R.V. Konakova, A.A. Lebedev, V.V. Milenin, O.B. Okhrimenko, V.V. Polyakov, A.M. Svetlichnyy, D.I. Cherednichenko / Pod obshchey redaktsiey chlen-korr. NANU, d.f.-m.n., prof. Belyaeva A.E., d.t.n., prof. Konakovoy R.V. // Khar'kov: "ISMA". 2010. – 532 p.
13. Parmentier J. Formation of SiC via carbothermal reduction of a carbon –containing MCM-48 silica phase: a new route to produce high surface area SiC [Tekst] / J. Parmentier et all. // Ceramics International, V.28, Issue 1, 2002. – P. 1–7.
14. Coune G. and all, High porosity SiC prepared via a process involving an SHS stage [Tekst] / G. Coune and all // Journal of the European Ceramic Society, Vol. 23, Issue 11, 2003. – P. 1949–1956.
15. Yanjie Su. Carbon nanomaterials synthesized by arc discharge hot plasma [Tekst] / Yanjie Su, Yafei Zhang // Carbon, Vol. 83. 2015. – P. 90–99.
16. Jieshan Qiu. Synthesis of carbon-encapsulated nickel nanocrystals by arc-dischargeof coal-based carbons in water [Tekst] / Jieshan Qiu, Yongfeng Li, Yunpeng Wang, Zongbin Zhao, Ying Zhou, Yanguo Wang // Fuel, Vol. 83. 2004. – P. 615–617.

17. Jiang Zhao, Yanjie Su, Zhi Yang, Liangming Wei, Ying Wang, Yafei Zhang. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties // Carbon. 2013. Vol. 58. – P. 92–98.
18. Yanjie Su. Low-cost synthesis of single-walled carbon-nanotubes by low-pressure air arc discharge [Tekst] / Yanjie Su, Hao Wei, Tongtong Li, Huijuan Geng, Yafei Zhang // Materials Research Bulletin. 2014. – P. 23–24.
19. Pak A.Ya. Elektrodugovoy sintez i ochistka ot uglerodnykh primesey kubicheskogo karbida kremniya v vozdushnoy atmosfere [Tekst] / A.Ya. Pak, M. A. Rudmin, G.Ya. Mamontov, O.A. Bolotnikova // Sverkhtverdye materialy, No. 3. 2018. – P. 3–12.
20. Pak A.Ya. Vliyanie energii na fazovyy sostav produkta bezvakuumnogo elektrodugovogo karbida kremniya [Tekst] / A.Ya. Pak, G.Ya. Mamontov, O.A. Bolotnikova // Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya, Vol. 19, No. 2. 2018. – P. 165–176.
21. Kokorina A.I. Elektrodugovoy sintez karbida kremniya i poluchenie vysokonapolennogo metallomatrichnogo kompozita na ego osnove [Elektron. tekstovye dan.] / A.I. Kokorina, A.Ya. Pak // Mezhdistsiplinarnye problemy additivnykh tekhnologiy: sbornik tezisov V Vserossiyskogo nauchnogo seminara, 5–6 dekabrya 2019, Tomsk. – P. 37–38.
22. Andrievskiy R.A. Nanorazmernyy karbid kremniya: sintez, struktura, svoystva [Tekst] / R.A. Andrievskiy // Uspekhi khimii, No. 78(9). 2009. – P. 889–900.
23. Sevast'yanov V.G. Vliyanie prirody prekursorov vysokodispersnogo ugleroda na morfologiyu nanochastits karbida kremniya [Tekst] / V.G. Sevast'yanov, R.G. Pavelko, N.T. Kuznetsov // Khimicheskaya tekhnologiya, Vol. 1. 2007. – P. 12–17.
24. Pavelko R.G. Sintez vysokodispersnykh form karbida kremniya [Tekst] : dis. ... kand. khim. nauk: 02.00.01: zashchishchena 24.05.2007 / Pavelko Roman Georgievich. – Moscow.: 2007. – 222 p.
25. Moskovskikh D.O. Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyy sintez nanoporoshkov karbida kremniya [Tekst] / D.O. Moskovskikh, A.S. Mukas'yan, A.S. Rogachev // Doklady Akademii Nauk. 2013. – Vol. 449. – No. 2. – P. 1–4.
26. Safaeva D.R., Titova Yu.V., Maydan D.A. Poluchenie karbida kremniya po azidnoy tekhnologii s ispol'zovaniem razlichnykh istochnikov ugleroda [Tekst] / D.R. Safaeva, Yu.V. Titova, D.A. Maydan // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii, No. 6(14). 2017. – P. 129–133.
27. Kondrat'eva L. A. Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyy sintez poroshkov nitridnykh kompozitsiy Si3N4-TiN, Si3N4-AlN, Si3N4-BN, AlN-BN, AlN-TiN, BN-TiN s primeneniem azida natriya i galoidnykh soley [Tekst]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 01.04.17: zashchishchena: 28.09.2018 / Kondrat'eva, Lyudmila Aleksandrovna. Samara: 2018. – 881 p.
28. Sivkov A.A. Pryamoy plazmodinamicheskiy sintez ul'tradispersnogo karbida kremniya [Tekst] / A.A. Sivkov, D.S. Nikitin, A.Ya. Pak, I.A. Rakhmatullin // Pis'ma v ZhTF, Vol. 39. Issue 2. 2013. – P.15–20.
29. Sivkov A.A. Poluchenie ul'tradispersnogo kristallicheskogo karbida kremniya metodom plazmodinamicheskogo sinteza [Tekst] / A.A. Sivkov, D.S. Nikitin, A.Ya. Pak, I.A. Rakhmatullin // Sverkhtverdye materialy, No. 3. 2013. – P. 11–18.
30. Nikitin D.S. Plazmodinamicheskiy sintez nanodispersnogo karbida kremniya i vozmozhnost' izmeneniya kharakteristik produkta [Tekst] / D.S. Nikitin, A.A. Sivkov / Vektor nauki TGU, No. 3. 2013. – P. 80–82.
31. Nikitin D.S. Plazmodinamicheskiy sintez nanodispersnogo karbida kremniya i upravlenie sostavom produkta [Tekst] / D.S. Nikitin // Materialy XKh Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Sovremennye tekhnika i tekhnologii» Sektsiya 6: Materialovedenie. 2014. – P. 71–72.
32. Manuel Alejandro Perez-Guzman. Growth and Self-Assembly of Silicon–Silicon Carbide Nanoparticles into Hybrid Worm-Like Nanostructures at the Silicon Wafer Surface [Tekst] / Manuel Alejandro Perez-Guzman, Rebeca Ortega-Amaya, Yasuhiro Matsumoto, Andres Mauricio Espinoza-Rivas, Juan Morales-Corona, Jaime Santoyo-Salazar, Mauricio Ortega-Lopez // Nanomaterials, No. 8 (954). 2018. – P. 47–56. https://doi.org/10.3390/nano8110954
33. Liu, R. Large-scale synthesis of monodisperse SiC nanoparticles with adjustable size, stoichiometric ratio and properties by fluidized bed chemical vapor deposition [Tekst] / R. Liu, M. Liu, J. Chang // Journal of Nanoparticle Research, No. 19. 2017. – P. 42–48. https://doi.org/10.1007/s11051-016-3737-y
34. Mita Dasog. Low temperature synthesis of silicon carbide nanomaterials using a solid-state method [Tekst] / Mita Dasog, Larissa F. Smith, Tapas K. Purkait, Jonathan G. C. Veinot // Chemical Communication, No. 49. 2013. – P. 7004–7006. https://doi.org/10.1039/c3cc43625j
35. Ivanov P.A. Effective Carrier Concentration in Porous Silicon Carbide [Tekst] / P.A. Ivanov, M.G. Mynbaeva, S.E. Saddow // Semicond. Sci. Technol., Vol. 19, No. 3. 2004. – P. 319–322.
36. Matsumoto T. Blue-Green Luminescence from Porous Silicon Carbide [Tekst] / T. Matsumoto, J. Takahashi, T. Tamaki, T. Furtagi // Applied Physics Letter, Vol. 64(2). 1994. – P. 226–228. https://doi.org/10.1063/1.111979
37. Shor J.S. Direct observation of porous SiC formed by anodization in HF [Tekst] / J.S. Shor, J. Grinerg, B.Z. Weiss., A.D. Kzurz // Applied Physics Letters, Vol. 62. 1993 – P. 2836–2838.
38. Svetlichnaya P.A. Poluchenie i svoystva poristogo karbida kremniya [Tekst] / P.A. Svetlichnaya, N.N. Moskovchenko, P.V. Serba // Tekhnologiya i konstruirovanie v elektronnoy apparature, No. 1. 2005.– P. 53–57.
39. Sorokin L.M. Osobennosti struktury poristogo karbida kreniya, poluchennogo elektrokhimicheskim travlenim na polozhkakh 6H-SiC [Tekst] / L.M. Sorokin, N.S. Savkina, V.B. Shuman, A.A. Lebedev, G.N. Mosina, Dzh. Khatchison // Pis'ma v ZhTF, Vol. 28, Issue 22. 2002. – P. 23–31.
40. Hongsheng. Influence of sintering atmosphere on the performance of porous silicon carbide ceramics [Tekst] / Hongsheng, Kaihong Zhang, Ziqiang Li, Xiaoxue Liu // Proceedings 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology. 2016. – P. 150–155.
41. Ferraro, C., Garcia-Tunon, E., Barg, S., Miranda, M., Ni, N., Bell, R., Saiz, E. SiC porous structures obtained with innovative shaping technologies. [Tekst] / C. Ferraro, E. Garcia-Tunon, S. Barg, M. Miranda, N. Ni, R. Bell, E. Saiz // Journal of the European Ceramic Society, Volume 38, Issue 3. 2018. – P. 823–835. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.09.048

42. Borodulya V.A., Vinogradov L.M., Greben'kov A.Zh., Mikhaylov A.A. Sintez karbida kremniya v elektrotermicheskom reaktore s kipyashchim sloem uglerodnykh chastits [Tekst] / V.A. Borodulya, L.M. Vinogradov, A.Zh. Greben'kov, A.A. Mikhaylov // Gorenie i plazmokhimiya, Vol. 13, No. 2. 2015. – P. 92–102.
43. Borodulya V.A. Karbotermicheskiy sintez poristykh poroshkov karbida kremniya v reaktore elektrotermicheskogo kipyashchego sloya i perspektivy ego ispol'zovaniya v polimernykh kompozitakh [Tekst] / V.A. Borodulya, L.M. Vinogradov, A.Zh. Greben'kov, V.I. Dubkova, A.A. Mikhaylov, T.I. Pinchuk // Materialy 6-go Mezhdunarodnogo simpoziuma «Poristye pronitsaemye materialy i tekhnologii i izdeliya na ikh osnove». 19–20 oktyabrya 2017 g., Minsk. – P. 524–538.
44. Borodulya V.A. Sintez karbidokremnievykh poroshkovykh materialov karbotermicheskim vosstanovlenie kremnezema v reaktore elektrotermicheskogo kipyashchego sloya [Tekst] / V.A. Borodulya, L.M. Vinogradov, A.Zh. Greben'kov, A.A. Mikhaylov // Sbornik nauchnykh statey «Poroshkovaya metallurgiya v Belarusi: Vyzovy vremeni». 2017. – P. 357–366.
45. Dubkova V.I., Nanochastitsy melkodispersnogo karbida kremniya poluchennogo v elektrotermicheskom kipyashchem sloe – strukturnyy modifikator termoplastichnykh polimerov [Tekst] / V.I. Dubkova, V.A.Borodulya, L.M. Vinogradov, S.M. Danilova-Tret'yak, L.E Evseeva., T.I. Pinchuk // IFZh, Vol. 92, No. 5. 2019. – P. 2291–2305.
46. Evraziyskiy patent EA № 027539, MPK S01V 31/36 (2006.01), S01V 31/00 (2006.01), B01J 8/00 (2006.01). Sposob i ustanovka dlya polucheniya karbida kremniya / V.A. Borodulya, L.M. Vinogradov, A.Zh. Greben'kov, A.A. Mikhaylov; zayavitel' i sobstvennik patenta: Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie «Institut teplo- i masoobmena im. A.V. Lykova Natsional'noy akademii nauk Belarusi». – No. 20150055; zayavl. 07.05.2015; opubl. 31.08.2017.
47. Pat. 146598 Ukraïna, MPK C23C16/26. Sposib oderzhannya pirovugletsyu / K.V. Simeiko, V.O. Borodulya, S.Yu. Saenko, K.V. Lobach, O.P. Kozhan, V.M. Dmitriєv M.A. Sidorenko, Ya.O. Ivachkin, O.V. Marasin, S.S. Kustovs'kiy, R.Є. Chumak; zayavnik i patentovlasnik: Institut gazu NAN Ukraïni. – No. u 202006806; zayavl. 22.10.2020; opubl. 04.03.2021.
48. Pat. 133969 Ukraïna, MPK (2019.01) C04B 3500, C04B 35/56 (2006.01) C01B 32/956 (2017.01). Sposib oderzhannya karbidu kremniyu / K.V. Simeiko, B.I. Bondarenko, V.A. Borodulya, L.M. Vinogradov, A.Zh. Greben'kov, O.P. Kozhan, V.M. Dmitriev, V.S. Ryabchuk, M.A. Sidorenko, I.O. Pisarenko; zayavnik i patentovlasnik: Institut gazu NAN Ukraïni. – No. u 201811907; zayavl. 3.12.2018; opubl. 25.04.2019.
49. Simeiko K.V. Razvitie nekotorykh soputstvuyushchikh tekhnologiy yadernykh reaktorov s gazovym teplonositelem IV pokoleniya / K.V. Simeiko // Vestnik Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan. – 2019. – No. 3 (79). – P. 24–29.
50. Simeiko K.V. Naukovo-tekhnologichni osnovi visokotemperaturnikh protsesiv u elektrotermichnomu psevdozridzhenomu shari. dis. … dokt. tekhn. nauk. 05.17.08, zakhishchena 26.03.2021 / Simeiko Kostyantin Vitaliyovich. L'viv, 2021. – 391 p.

КРЕМНИЙ КАРБИДІН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ (ШОЛУ)

[1,2] К.В. Семейко, [3] А.И. Малиновский, [3] А.Ж. Гребеньков, [4] С.Ю. Саенко, [4] К.В. Лобач, [2] А.Д. Кустовская, 5) А.А. Ляпощенко, 5) В.И. Склабинский

[1] Украина ҰҒА Газ институты, Киев, Украина
[2] Ұлттық авиация университеті, Киев, Украина
[3] Беларусь ҰҒА А.В. Лыков атындағы Жылу және масса алмасу институты, Минск, Беларусь
[4] «Харьков физика-техника институты» ұлттық ғылыми орталығы, Харьков, Украина
[5] Сумы мемлекеттік университеті, Сумы, Украина

Мақалада өнеркәсіптік технологиялар мен кремний карбидін өндіру процестерін ғылыми зерттеу нәтижелеріне қысқаша шолу жасалады. Ұсақ дисперсті, кеуекті және наноөлшемді кремний карбидін алу бойынша зерттеулер әлемнің жетекші ғылыми-зерттеу институттары мен ұйымдарында жүргізіледі. Зерттеушілер алдында туындайтын ғылыми міндеттердің ішінде энергия шығынын азайтуды, өнеркәсіптік технологиялардың экологиялық қауіпсіздігін және дайын өнімнің тазалығын арттыруды атап өтуге болады. Кремний карбидін өндірудің келешек әдістерінің бірі – электротермиялық жалған сұйылтылған қабатпен реакторларда пирокөміртегімен капсулаланған кремнеземді карботермиялық қалпына келтіру.

Түйін сөздер: *кремний карбиді, карботермиялық қалпына келтіру, наноматериалдар, төзімді ядролық отын, жаңа технологиялар.*

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF SILICON CARBIDE PRODUCING (REVIEW)

[1,2] K.V. Simeiko, [3] A.I. Malinouski, [3] A.Zh. Grebenkov, [4] S.Yu. Sayenko,
[4] K.V. Lobach, [2] A.D. Kustovska, [5] O.O. Liaposhchenko, [5] V.I. Sklabinskyi

[1] The Gas Institute of the NASU, Kyiv, Ukraine
[2] National Aviation University, Kyiv, Ukraine
[3] A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus, Minsk, Belarus
[4] National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine
[5] Sumy State University, Sumy, Ukraine

The article provides a brief overview of industrial technologies and scientific research of the silicon carbide production process. Research on the production of finely dispersed, porous and nano-sized silicon carbide is carried out in leading scientific institutions of the world. The main scientific tasks currently facing researchers are to reduce energy consumption, increase the environmental safety of industrial technologies, improve purity of the finished product. One of the promising methods for producing silicon carbide is the carbothermal reduction of silica encapsulated with pyrocarbon in reactors with an electrothermal fluidized bed.
Keywords: *silicon carbide, carbothermal reduction, nanomaterials, tolerant nuclear fuel, new technologies.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-42-46
УДК 001.891

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА: БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРПУСА ДОКУМЕНТОВ, ОТОБРАННОГО ИЗ РОССИЙСКОГО ИНДЕКСА НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Рыкова В.В.

Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: bmc_87@mail.ru

Представлен библиометрический анализ корпуса документов по Семипалатинскому испытательному ядерному полигону, отобранных из базы данных «Российский индекс научного цитирования». Показана динамика публикаций за тридцатилетний период, видовая структура корпуса документов; выявлено, что тематически документы структурированы следующим образом: изучение медицинских и биологических последствий радиационного воздействия (генетические последствия воздействий ионизирующего излучения; болезни индуцированные радиоактивным облучением); оценка последствий ядерных испытаний для окружающей среды (экологический мониторинг, радиационная ситуация, загрязнение отдельных сред), исторические и социально-правовые аспекты исследований последствий деятельности полигона.

Ключевые слова: *библиометрический анализ, Семипалатинский испытательный ядерный полигон, Российский индекс научного цитирования.*

Введение

Удовлетворение информационных потребностей ученых и специалистов в цифровую эпоху по-прежнему остается актуальной задачей, поскольку доступность информационных ресурсов связана не с их отсутствием, а со сложностью ориентирования в постоянно увеличивающемся объеме информации. Поиск материалов существенно облегчают базы данных (БД), многие из которых представлены в интернете в свободном доступе.

Для ученых из многих стран Семипалатинский испытательный ядерный полигона (СИЯП) является площадкой многоаспектных исследований последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды и сейсмической активности при взрывах. Значительный объем опубликованной информации по теме представлен в различных БД. В предыдущих работах автором дан анализ информационного обеспечения научных исследований по СИЯП в крупнейших международных БД, охарактеризован массив документов БД Web of Science, визуализация которого представлена с использованием программы CiteSpace [1–3].

Цель данной публикации – проанализировать корпус документов, посвященных многоаспектным исследованиям СИЯП из БД eLibrary.ru (Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) с использованием библиометрических методов по следующим параметрам: динамика корпуса документов за 30-летний период, языковая, типовая и тематическая структура документов, наиболее продуктивные издания БД и авторы с высокой публикационной активностью по теме.

Научная электронная библиотека eLibrary.ru включает информацию о научных публикациях, как в открытом, так и в закрытом доступе, где для скачивания полных текстов статей необходима регистрация на сайте eLibrary.ru. Запрос "Семипалатинский полигон" в вышеозначенной БД выдал более 600 документов за период с 1991 по 2021 гг.

Библиометрический анализ корпуса документов, посвященных исследованиям СИЯП из БД eLibrary.ru

Динамика корпуса документов (рисунок 1) демонстрирует устойчивый рост публикаций за 30-летний период, а также увеличение количества записей в 3 раза каждое десятилетие, что является свидетельством актуальности данных исследований, высокого интереса ученых и специалистов к изучению данного уникального объекта. Публикации 2021 г. не учитывались при анализе, поскольку они еще не полностью проиндексированы в БД.

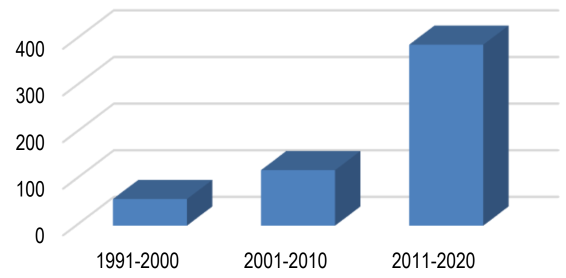


Рисунок 1. Динамика корпуса документов по исследованиям СИЯП из БД eLibrary.ru

Языковая структура документов однородна, почти 98% из них – русскоязычные материалы, хотя авторами публикаций, включенных в БД, являются не только российские специалисты, но и ученые из Казахстана, Кыргызстана, Узбекистана, Беларуси.

Анализ видовой структуры записей по СИЯП показал преобладание в документопотоке журнальных статей (57 %) и материалов конференций (31%), а также значительную долю монографический изданий (10 %), среди которых научные монографии, авторефераты диссертаций, мемуары (рисунок 2).

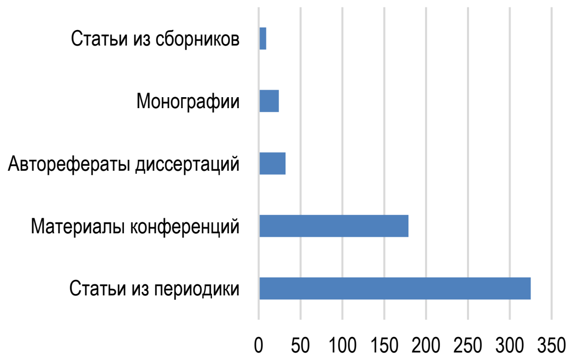


Рисунок 2. Видовая структура корпуса документов по теме из БД eLibrary.ru

Большое количество диссертационных работ (32 автореферата) и монографий (23 книги) в БД по СИЯП свидетельствует об активной работе ученых на данном объекте, огромном объеме собранного обработанного и систематизированного материала. Особенно продуктивным по выпуску монографических изданий оказался период 2011–2016 гг.: в 2011 г. вышли в свет 4 монографии, а за 2013–2016 гг. было защищено 10 диссертаций, большая часть которых подготовлена сотрудниками Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Казахстана. Тематика диссертационных исследований последнего десятилетия показана в таблице 1.

Анализ материалов позволил определить периодические издания с высокой публикационной активностью по теме. Топ-5 журналов с материалами по изучению СИЯП показан в таблице 2.

Таблица 1. Диссертации, защищенные по теме в последнее десятилетие и включенные в БД eLibrary.ru

Год	Автор, место выполнения работы	Тематика
2010	Соломатин В.М., Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии Российской академии сельскохозяйственных наук (Обнинск, Россия)	Оценка радиоэкологических рисков для населения и биоты на территории Семипалатинского испытательного полигона [4]
2012	Искакова Б.М., Республиканский научно-практический центр психиатрии, психотерапии и наркологии (Алматы, Казахстан)	Клинические особенности депрессий амбулаторного уровня у лиц пожилого возраста, проживающих в зоне Семипалатинского ядерного полигона [5]
2013	Айдарханов А.О., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Характеристика радиоактивного загрязнения поймы реки Шаган на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне [6]
	Ляхова О.Н., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде на территории Семипалатинского испытательного полигона [7]
	Паницкий А.В., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Особенности производства сельскохозяйственной продукции на площадке «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона [8]
	Ларионова Н.В., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики (Курчатов)	Накопление искусственных радионуклидов растениями на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона [9]
	Беляшов А.В., РГП «Институт геофизических исследований Республики Казахстан» (Курчатов)	Скоростная структура техногенно-изменённой верхней части разреза на Семипалатинском полигоне [10]
2014	Лукашенко С.Н., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Комплексная оценка современной радиоэкологической ситуации в «северной» части Семипалатинского испытательного полигона [11]
	Масалимов Е.Т., Научно-исследовательский институт радиационной медицины и экологии (Семей, Казахстан)	Радиационно-гигиенические и медико-демографические проблемы формирования здоровья населения Казахстана через 20 лет после закрытия Семипалатинского ядерного полигона [12]
2016	Лукашенко С.Н., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Радиоэкологическое обоснование возвращения территорий Семипалатинского испытательного полигона в хозяйственное использование (фундаментальные и прикладные аспекты) [13]
	Дударева Ю. А., Алтайский государственный медицинский университет (Барнаул, Россия)	Отдаленные последствия влияния радиационного фактора на репродуктивное здоровье потомков, прародители которых находились в зоне радиационного воздействия Семипалатинского полигона 29 августа 1949 года [14]
	Байгазинов Ж.А., Институт радиационной безопасности и экологии, Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Курчатов)	Исследование параметров перехода $^{239+240}$Pu, ^{241}Am, ^{137}Cs, ^{90}Sr и 3H в организм некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц в условиях Семипалатинского испытательного полигона[15]

Таблица 2. Наиболее продуктивные периодические издания по теме в БД eLibrary.ru

№	Название журнала
1	Радиационная биология, радиоэкология (Москва, Россия)
2	Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра) (Обнинск, Россия)
3	Наука и здравоохранение (Семей, Казахстан)
4	Вестник Научной программы Семипалатинский полигон – Алтай (Россия)
5	Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан (Курчатов, Казахстан)

Среди авторов отобранного корпуса документов наибольшей публикационной активностью выделяются член-корреспондент РАН доктор медицинских наук Я. Н. Шойхет, научный руководитель программы «Преодоление последствий ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне» на территории Алтайского края [16], доктор медицинских наук В. Б. Колядо, руководитель лаборатории проблем охраны здоровья населения Алтайского края Института комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний Сибирского отделения Российской академии медицинских наук [17, 18], а также доктор биологических наук С. Н. Лукашенко, директор Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан с 2006 по 2018 гг. [11, 13].

РИНЦ позволяет выявить цитирование публикаций. В отобранном корпусе документов высоким цитированием выделяется монография Л. Г. Бязрова [19], которую авторы других работ процитировали 342 раза, включающая в отдельном разделе материалы по СИЯП.

Тематически корпус документов структурирован следующим образом: Влияние ядерных испытаний на здоровье человека (41% записей), Радиационная обстановка, радиационный мониторинг; Влияние испытаний на полигоне на геологическую среду и почвы; Радиационное загрязнение биоты – каждый раздел по 13% материалов, Загрязнение атмосферы и вод (8%), Экологические последствия деятельности полигона, прогнозы; Исторические, социально-политические аспекты изучения СИЯП – по 6% документов.

Рисунок 3. Тематическая структура корпуса документов по теме из БД eLibrary.ru

Территориально все исследования можно объединить в 3 группы: 1) территория СИЯП, 2) области Казахстана, прилегающие к СИЯП, 3) российские регионы, находящиеся в зоне влияния СИЯП (Алтайский край, Республика Алтай, Новосибирская и Иркутская области).

Заключение

Таким образом, проведенный библиометрический анализ корпуса документов, посвященных исследованиям СИЯП из БД eLibrary.ru, продемонстрировал значительный интерес ученых и специалистов к данной тематике, что доказывает рост потока публикаций. Показана языковая, видо-типовая и тематическая структура корпуса документов, выявлены наиболее продуктивные издания БД, в которых опубликованы материалы по исследованию СИЯП, а также авторы с высокой публикационной активностью по теме. Представлена тематика диссертационных исследований последних лет. Названо наиболее цитируемое издание по теме.

Многоаспектность исследований и значительное количество публикаций в различных БД требуют систематизации документов. Учитывая, что значительное количество публикаций находятся в открытом доступе для пользователей [1], возникает потребность представления их в единой БД с гиперссылками на полные тексты документов, что может стать основой создания проблемно-ориентированной БД по исследованиям на СИЯП.

Литература

1. Рыкова, В.В. Полнотекстовые информационные ресурсы свободного доступа по Семипалатинскому полигону в веб-среде // Вестник НЯЦ РК. – 2017.– Вып. 4.– С. 30–34.
2. Бусыгина, Т.В. Анализ публикаций по Семипалатинскому испытательному полигону с использованием БД Web of Science и программы CiteSpace / Т. В. Бусыгина, В. В. Рыкова // Вестник НЯЦ РК.– 2018.– Вып. 4.– С. 83–88.
3. Busygina, T. V. ScientometricVisualisation of the Documentary Array on Semipalatinsk Nuclear Test Site / T. V.Busygina, V. V.Rykova// DESIDOC Journal of Library & Information Technology.– 2019. Vol. 39, No. 4. – P. 152–161. https://doi.org/10.14429/djlit.39.4.14454.
4. Соломатин, В. М. Оценка радиоэкологических рисков для населения и биоты на территории Семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2010. – 26 с.
5. Исхакова, Б. М. Клинические особенности депрессий амбулаторного уровня у лиц пожилого возраста, проживающих в зоне Семипалатинского ядерного полигона: автореф. дис. … канд. мед. наук: 14.01.06. – Бишкек, 2012. – 25 с.
6. Айдарханов, А. О. Характеристика радиоактивного загрязнения поймы реки Шаган на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2013. – 25 с.
7. Ляхова, О. Н. Исследование уровня и характера распределения трития в воздушной среде на территории Се-

мипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2013. – 23 с.

8. Паницкий, А. В. Особенности производства сельскохозяйственной продукции на площадке «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона : автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2013. – 24 с.
9. Ларионова, Н. В. Накопление искусственных радионуклидов растениями на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2013. – 23 с.
10. Беляшов, А. В. Скоростная структура техногенно-измененной верхней части разреза наСемипалатинском полигоне: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук: 25.01.10. – Новосибирск, 2013. – 17 с.
11. Лукашенко, С. Н. Комплексная оценка современной радиоэкологической ситуации в «северной» части Семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2014. – 23 с.
12. Масалимов, Е.Т. Радиационно-гигиенические и медико-демографические проблемы формирования здоровья населения Казахстана через 20 лет после закрытия Семипалатинского ядерного полигона: дис. … д-ра мед. наук: 14.02.01. – Бишкек, 2014. – 303 с.
13. Лукашенко, С. Н. Радиоэкологическое обоснование возвращения территорий Семипалатинского испытательного полигона в хозяйственное использование (фундаментальные и прикладные аспекты): автореф. дис. … д-ра биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2016.– 47 с.
14. Дударева, Ю. А. Отдаленные последствия влияния радиационного фактора на репродуктивное здоровье потомков, прародители которых находились в зоне радиационного воздействия Семипалатинского полигона 29 августа 1949 года: автореф. дис. … д-ра мед. наук: 14.01.01. – Томск, 2016. – 43 с.
15. Байгазинов, Ж. А. Исследование параметров перехода $^{239+240}$Pu, ^{241}Am, ^{137}Cs, ^{90}Sr и ^{3}H в организм некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц в условиях Семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.01. – Обнинск, 2016. – 23 с.
16. Колядо, В.Б. Потеря здоровья жителей сельских населенных пунктов Алтайского края в зоне ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне(ретроспективная медико-демографическая оценка) / В.Б. Колядо, Я.Н. Шойхет, В.И. Киселев, И.Б. Колядо // Барнаул : НИИ РМЭП. – 1998. – 328 с.
17. Колядо, В.Б. Потери здоровья населения Алтайского края при ядерных испытаниях на Семипалатинском полигоне(ретроспективная медико-демографическая оценка)/ В.Б. Колядо, Я.Н Шойхет, В. И. Киселев, И.Б. Колядо // Барнаул : НИИ РМЭП. – 1998. – 328 с.
18. Шойхет, Я.Н. Радиационное воздействие на население Алтайского края ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне /Я.Н. Шойхет, В.И. Киселев, В.М. Лобарев [и др.] // Барнаул: АзБука. – 1999. – 346 с.
19. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Москва: Научный мир. – 2002. – 346 с.

References

1. Rykova, V.V. Polnotekstovye informatsionnye resursy svobodnogo dostupa po Semipalatinskomu poligonu v veb-srede // Vestnik NYaTs RK. – 2017.– Issue 4.– P. 30-34.
2. Busygina, T.V. Analiz publikatsiy po Semipalatinskomu ispytatel'nomu poligonu s ispol'zovaniem BD Web of Science i programmy CiteSpace / T.V. Busygina, V.V. Rykova // Vestnik NYaTs RK.– 2018.– Iss. 4.– P. 83–88.
3. Busygina, T.V. ScientometricVisualisation of the Documentary Array on Semipalatinsk Nuclear Test Site / T.V. Busygina, V.V. Rykova// DESIDOC Journal of Library & Information Technology.– 2019. Vol. 39, No. 4. – P. 152–161. https://doi.org/10.14429/djlit.39.4.14454.
4. Solomatin, V. M. Otsenka radioekologicheskikh riskov dlya naseleniya i bioty na territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2010. – 26 p.
5. Iskhakova, B. M. Klinicheskie osobennosti depressiy ambulatornogo urovnya u lits pozhilogo vozrasta, prozhivayushchikh v zone Semipalatinskogo yadernogo poligona: avtoref. dis. … kand. med. nauk: 14.01.06. – Bishkek, 2012. – 25 p.
6. Aydarkhanov, A. O. Kharakteristika radioaktivnogo zagryazneniya poymy reki Shagan na byvshem Semipalatinskom ispytatel'nom poligone: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2013. – 25 p.
7. Lyakhova, O. N. Issledovanie urovnya i kharaktera raspredeleniya tritiya v vozdushnoy srede na territorii Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2013. – 23 p.
8. Panitskiy, A. V. Osobennosti proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii na ploshchadke «Degelen» Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona : avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2013. – 24 p.
9. Larionova, N. V. Nakoplenie iskusstvennykh radionuklidov rasteniyami na territorii byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2013. – 23 p.
10. Belyashov, A. V. Skorostnaya struktura tekhnogenno-izmenennoy verkhney chasti razreza naSemipalatinskom poligone: avtoref. dis. … kand. geol.-mineral. nauk: 25.01.10. – Novosibirsk, 2013. – 17 p.
11. Lukashenko, S. N. Kompleksnaya otsenka sovremennoy radioekologicheskoy situatsii v «severnoy» chasti Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2014. – 23 p.
12. Masalimov, E.T. Radiatsionno-gigienicheskie i medikodemograficheskie problemy formirovaniya zdorov'ya naseleniya Kazakhstana cherez 20 let posle zakrytiya Semipalatinskogo yadernogo poligona: dis. … d-ra med. nauk: 14.02.01. – Bishkek, 2014. – 303 p.
13. Lukashenko, S. N. Radioekologicheskoe obosnovanie vozvrashcheniya territoriy Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona v khozyaystvennoe ispol'zovanie (fundamental'nye i prikladnye aspekty): avtoref. dis. … d-ra biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2016.– 47 p.
14. Dudareva, Yu. A. Otdalennye posledstviya vliyaniya radiatsionnogo faktora na reproduktivnoe zdorov'e potomkov, praroditeli kotorykh nakhodilis' v zone radiatsionnogo vozdeystviya Semipalatinskogo poligona 29 avgusta 1949 goda: avtoref. dis. … d-ra med. nauk: 14.01.01. – Tomsk, 2016. – 43 p.

15. Baygazinov, Zh. A. Issledovanie parametrov perekhoda $^{239+240}Pu$, ^{241}Am, ^{137}Cs, ^{90}Sr i ^{3}N v organizm nekotorykh vidov sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i ptits v usloviyakh Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.01. – Obninsk, 2016. – 23 p.
16. Kolyado, V.B. Poterya zdorov'ya zhiteley sel'skikh naselennykh punktov Altayskogo kraya v zone yadernykh ispytaniy na Semipalatinskom poligone(retrospektivnaya mediko-demograficheskaya otsenka) / V.B. Kolyado, Ya.N. Shoykhet, V.I. Kiselev, I.B. Kolyado // Barnaul : NII RMEP. – 1998. – 328 p.
17. Kolyado, V.B. Poteri zdorov'ya naseleniya Altayskogo kraya pri yadernykh ispytaniyakh na Semipalatinskom poligone (retrospektivnaya mediko-demograficheskaya otsenka)/ V.B. Kolyado, Ya.N Shoykhet, V. I. Kiselev, I.B. Kolyado // Barnaul : NII RMEP. – 1998. – 328 p.
18. Shoykhet, Ya.N. Radiatsionnoe vozdeystvie na naselenie Altayskogo kraya yadernykh ispytaniy na Semipalatinskom poligone /Ya.N. Shoykhet, V.I. Kiselev, V.M. Lobarev [i dr.] // Barnaul: AzBuka. – 1999. – 346 p.
19. Byazrov, L. G. Lishayniki v ekologicheskom monitoringe / Moscow: Nauchnyy mir. – 2002. – 346 p.

СЕМЕЙ ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫН ЗЕРТТЕУ: РЕСЕЙЛІК ҒЫЛЫМИ ДӘЙЕКСӨЗ ИНДЕКСІНЕН ІРІКТЕЛГЕН ҚҰЖАТТАР ТОПТАМАСЫН БИБЛИОМЕТРИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

В.В. Рыкова

РҒА СБ Мемлекеттік ғылыми-техникалық кітапханасы, Новосибирск, Ресей

«Ресейлік ғылыми дәйексөз индексі» деректер базасынан іріктелген Семей ядролық сынақ полигоны бойынша құжаттар топтамасына жүргізілген библиометрикалық талдау ұсынылған. Отыз жыл аралығындағы жарияланымдардың динамикасы, құжаттар топтамасының түрлік құрылымы көрсетілген; тақырыптық құжаттардың келесі түрде құрылымдалғаны анықталды: радиациялық әсердің медициналық және биологиялық салдарын зерделеу (иондаушы сәулелену әсерінің генетикалық салдары; радиоактивті сәулеленумен қоздырылған аурулар) ; ядролық сынақтардың қоршаған орта үшін салдарын бағалау (экологиялық мониторинг, радиациялық жағдай, жекелеген ортаның ластануы), полигон қызметінің салдарын зерттеудің тарихи және әлеуметтік-құқықтық аспектілері.

Түйін сөздер: *библиометрикалық талдау, Семей ядролық сынақ полигоны, Ресейлік ғылыми дәйексөз индексі.*

THE SEMIPALATINSK NUCLEAR TEST SITE RESEARCH: BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE DOCUMENTARY CORPUS SELECTED OF THE RUSSIAN SCIENCE CITATION INDEX

V.V. Rykova

State Public Scientific Technological Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

The article represents the bibliometric analysis of the documentary corpus devoted to studying the Semipalatinsk nuclear test site selected of the database Russian Science Citation Index. It shows the publication dynamics over a thirty-year period, the specific structure of the documentary corpus; revels that the documents are thematically structured as follows: research of the medical and biological consequences of radiation exposure (genetic consequences of ionizing radiation exposure; diseases induced by radiation exposure); assessment of the consequences of nuclear tests for the environment (environmental monitoring, radiation situation, pollution of separate environment elements), historical and socio-legal aspects of investigating the test site activity consequences.

Keywords: *bibliometric analysis, Semipalatinsk nuclear test site, Russian Science Citation Index.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-47-52
УДК 550.34.621.039.9

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА И РЕГИСТРАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

[1] Непеина К.С., [2] Ан В.А.

[1] Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Кыргызстан
[2] Институт динамики геосфер РАН им. академика М.А. Садовского, Москва, Россия

E-mail для контактов: nepeina.k@mail.ru

Во времена холодной войны XX века и засекречивания информации между крупнейшими ядерными державами – Советским Союзом (СССР) и Соединенными Штатами Америки (США), данные о регистрации ядерных взрывов не публиковались в сводках Единой службы сейсмических наблюдений. Однако, запись подземных ядерных взрывов велась. Например, подземные ядерные взрывы (ПЯВ), произведенных США на о. Амчитка, были зарегистрированы более чем 30 станциями СССР на эпицентральных расстояниях Δ~8-160°. В результате обработки бюллетеней зарегистрированных событий, сверки значений со службой времени, параметры регистрации по советским станциям были намеренно исключены из общих каталогов. Однако благодаря сотруднице лаборатории 5-с Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР Х.Д. Рубинштейн, которая тщательно составляла базу об исключенных ПЯВ, информация о временах регистрации ПЯВ сохранилась в Институте динамики геосфер РАН имени академика М.А. Садовского. И только примерно в 1985 г. сообщения некоторых сейсмических станций бывшего СССР начали публиковаться в оперативных сводках Геофизической службы РАН. Этот материал призван опубликовать тот пласт бесценной информации о регистрации подземных ядерных взрывов, произведенных в том числе США, который так бережно создавался десятилетиями, и на данный момент нигде не был опубликован.

Ключевые слова: *ядерный взрыв, советские сейсмологические станции, бывший Советский Союз, регистрация.*

Введение

Во времена бывшего СССР сообщения сейсмических станций Советского Союза о регистрации советских и зарубежных подземных ядерных испытаний в сводках Единой службы сейсмических наблюдений (ЕССН) не публиковались. Сотрудница лаборатории 5-с Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР (зав. лаборатории д.ф.-м.н. И.П. Пасечник) Хася Давидовна Рубинштейн из всех сообщений сейсмических станций бывшего Советского Союза исключала данные о регистрации советских и зарубежных подземных ядерных взрывов (ПЯВ). И только примерно в 1985 г. сообщения некоторых сейсмических станций бывшего СССР начали публиковаться в оперативных сводках Геофизической службы РАН (г. Обнинск Калужской области РФ). Все срочные сообщения сейсмических станций бывшего СССР хранятся в Институте динамики геосфер РАН имени академика М.А. Садовского (бывший Спецсектор ИФЗ АН СССР, а ранее бывший Спецсектор ИХФ АН СССР) – ныне ИДГ РАН.

а)

б)

Рисунок 1. Фотографии сотрудников: а) лаборатории 5-с Института физики Земли АН СССР на Геофизической Обсерватории «Боровое» в ноябре, 1962 г. (слева направо: ?, ?, Званцев, Хася Рубинштейн, Николай Кабыченко); б) Института динамики геосфер (2000-е гг.) (слева-направо: стоят Джамиль Султанов, Владимир Михайлович Овчинников, Сергей Орешин, Иван Олегович Китов, Недошивин; сидят: в красном – Хася Давидовна Рубинштейн, Сергей Дараган, Татьяна Валерьевна Данилова и Олег Петрович Кузнецов)

Таблица 1. Параметры ПЯВ, проведенных на испытательной площадке Amchitka [2]

Название	Long Shot	Milrow	Cannikin
Календарная дата проведения	29.10.1965	02.10.1969	06.11.1971
Время (T_0) по Гринвичу	21:00:00.08	22:06:00.04	22:00:00.06
Широта, градус	54,424	54,403	51,456
Долгота, градус	179,179	179,179	179,102
Глубина заложения заряда (h), м	701	1217	1791
Высота поверхности в месте заложения заряда (H), м	42	40	63
Магнитуда по объемным волнам (m_b)	6,1	6,5	6,8
Примерная мощность взрыва, кт	80	$1,1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$

Необходимо отметить, что в советский период на сейсмических станциях бывшего СССР точное московское время принималось, как правило, по обычной радиотрансляционной сети. Известно, что эти 6 импульсов в конце ровного часа передавались с погрешностью ±0,3 секунды на европейской территории и ±0,5 секунды на всей остальной территории СССР [1].

Таким образом, время вступления вертикальной составляющей продольной волны на разных сейсмостанциях бывшего СССР может отличаться от реального (Гринвич) в пределах ±0,5 секунды (без учёта ошибок оператора, передававшего донесение).

Основная часть

На о. Амчитка США провели три подземных ядерных взрыва (таблица 1). Подземные ядерные испытания (Long shot, Milrow и Cannikin), проведенные с 1965 по 1971 гг., были беспрецедентны по своей мощности заряда, и были зарегистрированы в то время сразу несколькими станциями СССР. При пересчете получены значения эпицентральных расстояний (Δ) в диапазоне от 8° до 160°.

Пример регистрации ПЯВ Cannikin (06.11.1971) на станциях Центральной Азии показан на рисунке 2. В общей сложности он был зарегистрирован 69 станциями СССР.

Информация о 255 подземных ядерных взрывах, произведенных на Невадском испытательном полигоне (NTS) с 1967 по 1990 гг., опубликована авторами в работах [4–6]. В прилагаемых в работе [5] таблицах указаны приборы измерения (типы сейсмических станций), координаты, даты и времена взрывов. Большинство испытаний NTS были сгруппированы на трёх площадках полигона – Pahute Mesa, Yucca Flat и Rainier Mesa [3, 4].

Согласно [7], наиболее чувствительными станциями СССР к взрывам NTS оказались: Боровое (BRV), Иультин (ILT), Тикси (TIK), Якутск (YAK) и Ельцовка (ELT). Эти станции находятся на телесейсмических расстояниях в диапазоне от NTS и хорошо регистрируют прохождение P-волн через нижнюю мантию Земли. Минимальный порог магнитуд ~ 4,5, что соответствует взрыву мощностью от 5 до 6 кт в туфах NTS [7].

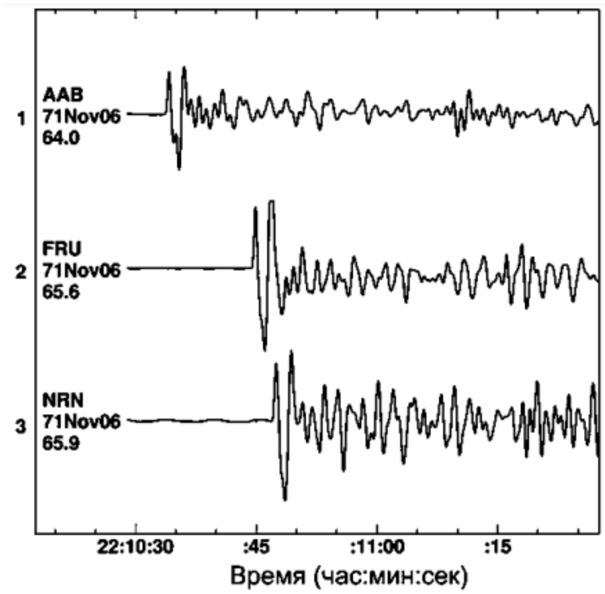


Рисунок 2. Пример сейсмограмм подземного ядерного взрыва Cannikin (06.11.1971) на о. Амчитка (Алеутские о-ва, США) на станциях СССР: Талгар (AAB), Фрунзе (FRU), Нарын (NRN) [3]

Советские станции, на эпицентральных расстояниях до 10 000 км от испытательного полигона, выявили все необъявленные испытания с оцененными магнитудами 4 и более (~1 кт). Три испытания с магнитудами M_L меньше 3,5 были обнаружены станциями бывшего Советского Союза. С вероятностью 95% эти станции зафиксировали необъявленные ядерные испытания на NTS с магнитудой M_L от 3,9 до 4,0 [8].

Для сведения в единый реестр всех советских станций, зарегистрировавших хотя бы один ядерный взрыв, были проанализированы записи Х.Д. Рубинштейн, а также публикации [9–13]. В таблице 2 приведены только коды станций, старые названия с порядковыми номерами, географические координаты и конкретные даты регистрации ПЯВ, а также их магнитуды. Годы работы (даты открытия и закрытия), а также высоты станций над уровнем моря можно посмотреть на сайте [13].

Таблица 2. Координаты сейсмических станций Единой службы сейсмических наблюдений (ЕССН), зарегистрировавшие хотя бы одно событие ПЯВ США [9–12]

№ п/п	Код станции*	Название сейсмостанции	Широта, φ градус	Долгота, λ градус	Примечание** ПЯВ (гг-мм-дд)	Магнитуда m_b
01	ABS\\ 62	Абастумани	41,7500	42,8100	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
02	AAA\\ 59 AAB, AAL	Алма-Ата	43,2717	78,9467	**65-10-29, 71-11-06**	**6,1 / 6,8**
03	ALU\\ 50	Алушта	44,6820	34,4030	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
04	ANN\\ 52	Анапа	44,8000	37,4330	**71-11-06**	**6,8**
05	ANR\\ 82	Андижан	40,7550	72,3600	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
06	APA\\ 17	Апатиты	67,5690	33,4050	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
07	AMDR\\ 18	Амдерма	69,7440	61,6480	63-09-13	6,0
08	ARU\\ 34	Арти	56,4302	58,5625	74-06-19, 74-07-10	5,0 / 5,7
09	ASH\\ 92	Ашхабад	37,9500	58,3500	**65-10-29, 71-11-06**	**6,1 / 6,8**
10	BAK\\ 79	Баку	40,3833	49,9000	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
11	BKR\\ 67	Бакуриани	41,7333	43,5167	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
12	BEYR\\ 54	Белый Уголь	44,0120	42,8170	73-06-06	6,1
13	BKI\\ 02	Беринг о.	55,2040	165,9720	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
14	BOD\\ 20	Бодайбо	57,8500	114,1833	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
15	BRVK\\ 43 BRV	Боровое	53,0581	70,2828	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
16	VAN\\ 91	Ванновская	37,9480	58,1080	73-06-06	6,1
17	VLA\\ 22	Владивосток	43,1200	131,8933	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
18	GAR\\ 88 GAM	Гарм	39,0000	70,3167	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
19	GOR\\ 63	Гори	41,9833	44,1167	**69-10-02**	**6,5**
20	GRS\\ 81	Горис	39,5000	46,3333	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
21	GRO\\ 57	Грозный	43,3200	45,7500	**65-10-29, 69-10-2, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
22	DSH\\ 90	Душанбе	38,5583	68,7750	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
23	DUS\\ 65	Душети	42,0833	44,7000	71-09-29	4,4
24	DZT\\ 86	Джиргаталь	39,2200	71,2200	66-04-25	4,5
25	ELT\\ 39	Ельцовка	53,2530	86,2770	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
26	ERE\\ 75	Ереван	40,1700	44,4700	**69-10-02**	**6,5**
27	ZAK\\ 31	Закаменск	50,3833	103,2833	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
28	ZUG\\ 56	Зугдиди	42,5167	41,8833	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
29	ILI\\ 58	Или (старая)	43,9333	77,0667	62-06-27, 66-06-30	5,1 / 6,0
30	IRK\\ 25	Иркутск	52,2717	104,3100	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
31	ILT\\ 01	Иультин	67,8700	-178,7300	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
32	KAB\\ 24	Кабанск	52,0500	106,6540	**69-10-02**	**6,5**
33	KDS\\ 72 KDSK	Каджи-Сай	42,1230	77,1880	69-09-16	6,2
34	KAT\\ 87	Кизил-Арват	39,0280	56,2700	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
35	KRV\\ 74	Кировобад	40,6470	46,3190	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
36	KIS\\ 45	Кишинёв	46,9980	28,8180	**71-11-06**	**6,8**
37	KSV\\ 41 KOV	Косов	48,3150	25,0667	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
38	KLR\\ 19 KLD	Кульдур	49,2300	131,7500	**69-10-02**	**6,5**
39	KUL\\ 93	Куляб	37,9000	69,7800	**69-10-02**	**6,5**
40	KUR\\ 12	Курильск	45,2333	147,8667	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
41	KRM\\ 64	Курменты	42,9870	78,2750	**69-10-02**	**6,5**
42	KJ1\\ 28	Кяхта	50,3700	105,4500	66-06-30, 70-03-26	6,0 / 6,5
43	LNK\\ 84	Ленкорань	38,7580	48,8520	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
44	LVV\\ 33	Львов	49,8190	24,0310	**69-10-02**	**6,5**
45	MAG\\ 06 MA1, MA2	Магадан	59,5540	150,8050	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
46	MAK\\ 60	Махачкала	42,9610	47,5050	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
47	MEZ\\ 37 MZG	Межгорье	48,5140	23,5140	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
48	MIR\\ 96	Мирный	-66,5510	93,0170	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
49	MXV\\ 29 M11	Михнево	54,9595	37,7664	**69-10-02**	**6,5**

№ п/п	Код станции*	Название сейсмостанции	Широта, φ градус	Долгота, λ градус	Примечание** ПЯВ (гг-мм-дд)	Магнитуда m_b
50	MOY\\ 30	Монды	51,6833	100,9833	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
51	MOS\\ 26	Москва	55,7383	37,6250	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
52	MUR\\ 89	Мургаб	38,3667	73,9333	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
53	NAM\\ 80	Наманган	40,9833	71,6667	69-09-16, 70-03-26	6,2 / 6,5
54	NRN\\ 76	Нарын	41,4333	76,0000	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
55	NVL\\ 95	Новолазаревская	-70,7667	11,8333	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
56	NVS\\ 36	Новосибирск	54,8404	83,2346	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
57	NRI\\ 16	Норильск	69,4300	88,0830	**71-11-06**	**6,8**
58	OBN\\ 27	Обнинск	55,1667	36,6000	**69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
59	OKH\\ 10	Оха	53,5500	142,9330	**71-11-06**	**6,8**
60	PET\\ 05	Петропавловск-Камчатский	53,0169	158,6500	**65-10-28, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
61	PRZ\\ 69	Пржевальск	42,4833	78,4000	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
62	PUL\\ 23	Пулково	59,7667	30,3167	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
63	PYA\\ 55	Пятигорск	44,0333	43,0583	**71-11-06**	**6,8**
64	RAK\\ 40	Рахов	48,0550	24,1717	70-05-26b, 70-10-14	5,5 / 5,5
65	SAM\\ 85	Самарканд	39,6733	66,9900	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
66	SVE\\ 32	Свердловск	56,8270	60,6370	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
67	SEV\\ 48	Севастополь	44,5450	33,6680	75-03-07	5,5
68	SKR\\ 07	Северо-Курильск	50,6830	156,1170	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
69	SEY\\ 04	Сеймчан	62,9330	152,3730	**71-11-06**	**6,8**
70	SEM\\ 46	Семипалатинск	50,4083	80,2500	**65-10-29, 69-10-02**	**6,1 / 6,5**
71	SIM\\ 47	Симферополь	44,9490	34,1160	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
72	SOC\\ 53	Сочи	43,5833	39,7167	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
73	STE\\ 71	Степанаван	41,0000	44,3700	**71-11-06**	**6,8**
74	TLG\\ 61 AA2, AAB	Талгар	43,2300	77,2300	**69-10-02**	**6,5**
75	TAS\\ 78	Ташкент	41,3250	69,2950	**65-10-29, 71-11-06**	**6,1 / 6,8**
76	TIF\\ 68 T12	Тбилиси	41,7167	44,8000	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
77	TIK\\ 08	Тикси	71,6333	128,8667	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
78	TUP\\ 21	Тупик	54,4333	119,9000	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
79	UGL\\ 13	Углегорск	49,0780	142,0660	**71-11-06**	**6,8**
80	UZH\\ 35	Ужгород	48,6310	22,2930	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
81	UER\\ 38	Усть-Элегест	51,5630	94,0870	**65-10-29**	**6,1**
82	FAB\\ 66	Фабричная	43,1470	76,4470	70-03-26	6,5
83	FEO\\ 49	Феодосия	45,0190	35,3900	72-09-21	5,0
84	FRG\\ 83	Фергана	40,3833	71,7833	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
85	FRU\\ 70	Фрунзе (Бишкек)	42,8333	74,6167	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
86	KHE\\ 09	Хейс	80,6167	58,0500	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
87	KHO\\ 94	Хорог	37,4833	71,5333	**65-10-29, 69-10-02, 71-11-06**	**6,1 / 6,5 / 6,8**
88	CUR\\ 44	Чаган-Узун	50,1000	88,3500	**65-10-29, 69-10-02**	**6,1 / 6,5**
89	CRA\\ 42	Черновцы	48,2833	25,9333	**71-11-06**	**6,8**
90	CHM\\ 73	Чимкент	42,3190	69,6030	**69-10-02**	**6,5**
91	SHE\\ 77	Шемаха	40,6460	48,6420	75-10-28	6,4
92	SHO\\ 14	Шикотан	43,8700	146,8300	72-09-21	5,0
93	ESO\\ 03	Эссо	55,9250	158,7000	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
94	YSS\\ 15	Южно-Сахалинск	46,9583	142,7610	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
95	YAK\\ 11	Якутск	62,0167	129,7170	**65-10-29, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**
96	YAL\\ 51	Ялта	44,4875	34,1547	**69-10-02, 71-11-06**	**6,5 / 6,8**

Примечания: * в поле «Код станции» после \\ приведены порядковый номер в списке сейсмических станций и старые коды станции;
* в поле «Примечание» отмечены даты ПЯВ США: на о. Амчитка даны полужирным шрифтом, Невадские (NTS) – нормальным шрифтом.

Заключение

Таким образом, результаты обработки сводок по бюллетеням доказывают тот факт, что станции СССР были чувствительны даже к далеким сейсмическим событиям и позволяли регистрировать подземные ядерные взрывы на удалениях более чем 17 000 км. В результате рассмотрения регистрации Единой службой сейсмических наблюдений (ЕССН), 96 советских станций обнаруживали, по крайней мере, один ПЯВ США, что позволяло следить за реализацией атомного проекта противников.

Благодарности

Данная подборка станций СССР сделана в память о Хасе Давидовне Рубинштейн, сотруднице лаборатории 5-с Института физики Земли РАН (ИФЗ ИФЗ), которая тщательно вела эти записи. В.А. Ан был удостоен чести быть знакомым с Х.Д. Рубинштейн в течение 1962 г., в то время, когда она была начальником сейсмической станции «Боровое».

Особую признательность авторы выражают инженеру Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского – Челюбеевой Таисии Васильевне. Благодарим рецензентов за пожелания и правки.

Работа подготовлена в рамках деятельности молодежного движения Российского Пагуошского комитета при Президиуме РАН, молодежной группы ОДВЗЯИ (СТВТО Youth Group), приурочена к Году науки и технологий в России и юбилею Института динамики геосфер РАН им. М.А. Садовского.

Исследование выполнено для реализации государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке AAAA-A19-119020190064-9.

Литература

1. Эталонные сигналы частоты и времени. Бюллетень В-07-1986. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 26 с.
2. Springer D.L. Seismic Source Summary for All U.S. Below-Surface Nuclear Explosions / D.L.Springer, G.A. Pawloski, J.L. Ricca, R.F. Rohrer and D.S. Smith // BSSA, 2002. – Vol. 92. – No. 5. – pp. 1806-1840. https://doi.org/10.1785/0120010194
3. Ан В.А. О нормалях магнитной цифровой записи архива геофизической обсерватории «Боровое» / В.А. Ан, И.П. Башилов, П.Б. Каазик, В.А. Коновалов // Вестник НЯЦ РК. – 2010. – Вып. 3. – С. 62–69.
4. An V.A. A digital seismogram archive of nuclear explosion signals, recorded at the Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan, from 1966 to 1996 / V.A. An, V.M. Ovtchinnikov, P.B. Kaazik, V.V. Adushkin, I.N. Sokolova, I.B. Aleschenko, N.N. Mikhailova, W-Y. Kim, P.G. Richards, H.J. Patton, W.S. Phillips, G. Randall, D. Baker // GeoResJ. – 2015. – Vol. 6. – pp. 141–163. https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.014
5. Nepeina K.S. Travel time curves and isochron maps from the Borovoye digital archive for the Nevada and Semipalatinsk Nuclear Test Sites / K.S. Nepeina, V.A. An // Results in Geophysical Sciences. – 2021. – Vol. 6. – 100014. https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100014
6. Yang X. Worldwide nuclear explosions, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology / X. Yang, R. North, C. Romney, P. Richards / eds. W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings, C. Kisslinger // New York: Academic, 2003. – Vol. 81B. https://www.ldeo.columbia.edu/~richards/my_papers/WW_nuclear_tests_IASPEI_HB.pdf [Дата обращения 11.10.2020].
7. Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty / Eds. E.S. Husebye, A.M. Dainty. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0419-7
8. Hennet C.B. Multi-Use Seismic Stations Offer Strong Deterrent to Clandestine Nuclear Weapons Testing / C.B. Hennet, G.E. van der Vink, P.G. Richards, V.V. Adushkin, Y.F. Kopnichev, R. Geary // EOS Trans. AGU. – 1996. – Vol. 77. – No. 31. – pp. 289-304.
9. Координаты сейсмических станций Единой системы сейсмических наблюдений. – Москва: Академия Наук СССР, ордена Ленина Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1984. – 12 с.
10. Кондорская Н.В., Фёдорова И.В. Сейсмические станции ЕССН СССР на 01.01.1990 г. / Н.В. Кондорская, И.В. Фёдорова. – Москва: Российская Академия Наук, Объединённый институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1996. – 36 с.
11. Seismological Observatories. I-1998-VI. 588 – 729 pp.
12. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской Академии Наук / О.Е. Старовойт, В.Н. Мишаткин. – Москва-Обнинск: Российская Академия Наук, Геофизическая служба, 2001. – 88 с.
13. Цифровая база сейсмических станций на территории России и СССР // ФГБУН ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН. http://eqru.gsras.ru/stations/index.php?inc=stalist [Дата обращения 21.06.2021].

References

1. Etalonnyye signaly chastoty i vremeni. Byulleten' V-07-1986. – Moscow.: Izd-vo standartov, 1986. – 26 p.
2. Springer D.L. Seismic Source Summary for All U.S. Below-Surface Nuclear Explosions / D.L.Springer, G.A. Pawloski, J.L. Ricca, R.F. Rohrer and D.S. Smith // BSSA, 2002. – Vol. 92. – No. 5. – pp. 1806–1840. https://doi.org/10.1785/0120010194.
3. An V.A. O normalyakh magnitnoy tsifrovoy zapisi arkhiva geofizicheskoy observatorii «Borovoye» / V.A. An, I.P. Bashilov, P.B. Kaazik, V.A. Konovalov // Vestnik NYaTs RK. – 2010. – Issue 3. – P. 62–69.
4. An V.A. A digital seismogram archive of nuclear explosion signals, recorded at the Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan, from 1966 to 1996 / V.A. An, V.M. Ovtchinnikov, P.B. Kaazik, V.V. Adushkin, I.N. Sokolova, I.B. Aleschenko, N.N. Mikhailova, W-Y. Kim, P.G. Richards, H.J. Patton, W.S. Phillips, G. Randall, D. Baker // GeoResJ. – 2015. – Vol. 6. – pp. 141–163. https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.014.
5. Nepeina K.S. Travel time curves and isochron maps from the Borovoye digital archive for the Nevada and Semipalatinsk Nuclear Test Sites / K.S. Nepeina, V.A. An // Results in Geophysical Sciences. – 2021. – Vol. 6. – 100014. https://doi.org/10.1016/j.ringps.2021.100014.
6. Yang X. Worldwide nuclear explosions, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology / X. Yang, R. North, C. Romney, P. Richards / eds. W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings, C. Kisslinger // New York: Academic, 2003. – Vol. 81B. https://www.ldeo.columbia.edu/~richards/my_papers/WW_nuclear_tests_IASPEI_HB.pdf [Data of access 11.10.2020].

7. Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty / Eds. E.S. Husebye, A.M. Dainty. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0419-7
8. Hennet C.B. Multi-Use Seismic Stations Offer Strong Deterrent to Clandestine Nuclear Weapons Testing / C.B. Hennet, G.E. van der Vink, P.G. Richards, V.V. Adushkin, Y.F. Kopnichev, R. Geary // EOS Trans. AGU. – 1996. – Vol. 77. – No. 31. – pp. 289–304.
9. Koordinaty seysmicheskikh stantsiy Yedinoy sistemy seysmicheskikh nablyudeniy. – Moscow: Akademiya Nauk SSSR, ordena Lenina Institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta, 1984. – 12 p.
10. Kondorskaya N.V., Fodorova I.V. Seysmicheskiye stantsii YESSN SSSR na 01.01.1990 g. / N.V. Kondorskaya, I.V. Fyodorova. – Moscow: Rossiyskaya Akademiya Nauk, Ob'yedinonnyy institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta, 1996. – 36 p.
11. Seismological Observatories. I-1998-VI. 588 – 729 pp.
12. Starovoyt O.Ye., Mishatkin V.N. Seysmicheskiye stantsii Rossiyskoy Akademii Nauk / O.Ye. Starovoyt, V.N. Mishatkin. – Moscow-Obninsk: Rossiyskaya Akademiya Nauk, Geofizicheskaya sluzhba, 2001. – 88 p.
13. Tsifrovaya baza seysmicheskikh stantsiy na territorii Rossii i SSSR // FGBUN FITS Yedinaya Geofizicheskaya sluzhba RAN. http://eqru.gsras.ru/stations/index.php?inc=stalist [Data of access 21.06.2021].

КЕҢЕС ОДАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫН ТІРКЕУ

[1] К.С. Непеина, [2] В.А. Ан

[1] Бішкек қаласындағы РҒА ғылыми станциясы, Бішкек, Қырғызстан
[2] Садовский РҒА Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

XX ғасырдағы қырғи қабақ соғыс кезінде және ең ірі ядролық державалар – Кеңес Одағы (КСРО) мен Америка Құрама Штаттары (АҚШ) арасындағы ақпаратты құпияландыру кезінде ядролық жарылыстарды тіркеу туралы деректер Бірыңғай сейсмикалық бақылау қызметінің мәліметтерінде жарияланған жоқ. Алайда жерасты ядролық жарылыстарын жазу жүргізілді. Мысалы, Амчитка аралында АҚШ жасаған жерасты ядролық жарылыстары (ЖЯЖ) КСРО-ның 30-дан астам станциясы арқылы Δ ~ 8–160° эпицентрлік қашықтықта тіркелді. Тіркелген оқиғалардың бюллетеньдерін өңдеу, уақыт қызметімен мәндерді салыстыру нәтижесінде Кеңес станциялары бойынша тіркелген параметрлер жалпы каталогтардан әдейі алынып тасталды. Алайда КСРО ҒА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институтының 5-с зертханасы қызметкері Х.Д. Рубинштейннің алынып тасталған ЖЯЖ базасын мұқият құрастыруының арқасында ЖЯЖ тіркеу уақыты туралы ақпарат академик М.А. Садовский атындағы Геосфералар динамикасы институтында сақталып қалды. Тек шамамен 1985 жылы ғана бұрынғы КСРО-ның кейбір сейсмикалық станцияларының хабарламалары РҒА Геофизикалық қызметінің жедел мәліметтерінде жариялана бастады. Жерасты ядролық жарылыстарын, соның ішінде АҚШ жүргізген жарылыстарды тіркеу туралы баға жетпес бұл ақпарат ондаған жылдар бойы мұқият жинақталған және қазірге дейін еш жерде жарияланбаған..
Түйін сөздер: *ядролық жарылыс, кеңестік сейсмологиялық станциялар, бұрынғы Кеңес Одағы, тіркеу.*

HISTORICAL SEISMIC STATIONS IN USSR AND REGISTRATION UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS

[1] K.S. Nepeina, [2] V.A. An

[1] Research Station RAS in Bishkek, Bishkek, Kyrgyzstan
[2] Sadovsky Institute of Dynamics of Geospheres of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

During the Cold War of the 20th century and the classification of information between the largest nuclear states - the Soviet Union (USSR) and the United States of America (USA), data on the registration of nuclear explosions were not published in the reports of the Unitied Seismic Observation Service. However, underground nuclear explosions were recorded. For example, underground nuclear explosions, produced by the United States on Amchitka island, were recorded by more than 30 stations of the USSR at epicentral distances Δ ~ 8–160°. Tests at the Nevada Test Site were found especially well throughout the USSR seismic stations. As a result of processing the bulletins of registered events, checking the values with the time service, the registration parameters for the Soviet stations were destroyed. However, thanks to an employee of the laboratory 5-s of the Institute of Physics of the Earth named after O.Yu. Schmidt of the USSR Academy of Sciences Kh.D. Rubinstein is kept at the Institute for the Dynamics of Geospheres of the Russian Academy of Sciences named after Academician M.A. Sadovsky. Only after 1985 messages from some seismic stations of the former USSR began to be published in the operational reports of the Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences. This material is intended to publish that layer of invaluable information on the registration of underground nuclear explosions, made by the United States, which has been so carefully created for decades, and has not been published anywhere at the moment.
Keywords: *nuclear explosion, Soviet seismological stations, Former Soviet Union, registration.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-53-56
УДК 691.175.2

STRUCTURE AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF PVDF+PbS/CdS NANOCOMPOSITES

A.A. Novruzova

Baku State University, Baku , Azerbaijan

E-mail: n.a_physicist@yahoo.com

In the given paper were investigated structure and electrophysical properties of PVDF+PbS/CdS nanocomposites. Distribution and the size of PbS and CdS nanoparticles in the polymer matrix has been studied by scanning electron microscopy (JEOL JSM-7600 F). The structure of the nanocomposite samples was investigated by the X-ray diffraction spectroscopy. The dependence of dielectric permittivity at frequency and temperature was investigated. It was shown that the dielectric permittivity of PVDF+PbS/CdS nanocomposite samples was increase in small nanoparticles content. Further increase in the concentration of the filler leads to decrease in the dielectric permittivity. The subsequent decrease in dielectric permittivity at higher nanoparticles content can be explained by the increase in defects in the structure of the nanocomposite.

Keywords*: electrophysical dielectric permittivity properties, polyvinylidene fluoride, polymer nanocomposite, PbS, CdS.*

1. Introduction

Nanocomposite materials are widely used in the areas of photonics, electronics, catalysis, energy storage, and biotechnology [1–7]. Polymer nanocomposites are receiving a fast-growing interest due to their large tunability of dielectric constant and easy processing. The dielectric properties are usually tuned by properly selecting the identity, shape, property of fillers, and engineering the interfaces between fillers and matrix [8]. Most of the current studies on dielectric polymer composites focus on the enhancement of the dielectric permittivity. From the point of view of increasing the composite's effective dielectric constant, the availability of inorganic fillers with dielectric constants on the order of hundreds and even thousands makes it very appealing to introduce them into polymers, which generally possess dielectric constants less than 10. However, the resulting composites' effective dielectric constants generally fall short of expectations. Specifically, since the filler has a much greater permittivity than that of the polymer matrix, most of the increase in the effective dielectric constant comes through an increase in the average field in the polymer matrix, with very little of the energy being stored in the high permittivity phase [9]. The aim of this work is investigated structure and electrophysical properties of PVDF+PbS/CdS nanocomposites determine dielectric constant and dielectric loss, as a function of temperature and frequency.

2. Experimental Part

2.1 Materials

The polar polymer PVDF has the density of 1.78 g/cm^3 at 25 °C and the melting point is 177 °C. Lead acetate $Pb(CH_3COO)_2$, cadmium chloride ($CdCl_2\times 2{,}5H_2O$), $Na_2S\times 9H_2O$, (1-hexadecyl) trimethylammonium bromide ($C_{19}H_{42}BrN$, 98%), DMF have been purchased from Sigma Aldrich.

2.2 Characterization

Distribution and the size of PbS and CdS nanoparticles in the polymer matrix has been studied by scanning electron microscopy (SEM, JEOL JSM-7600 F).

X-ray diffraction analysis was performed with Rigaku Mini Flex 600 XRD diffractometer at ambient temperature. In all the experiments, Cu K α radiation operating at 15 mA and 30 kV was used. The samples were scanned in the 20–70° range of Bragg angle 2θ.

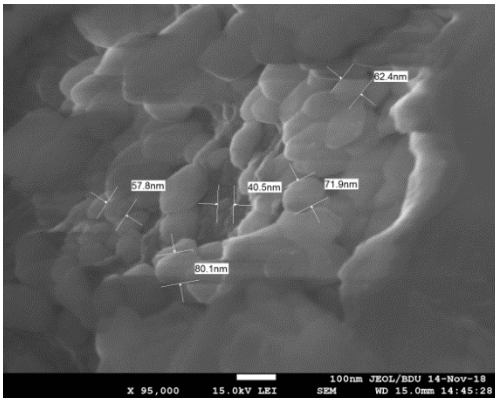
The frequency dependences of the dielectric permittivity and dielectric losses tangent were measured at a temperature T = 298–433 K in the frequency range f = 102–106 Hz using the dielectric spectroscopy (MNIPIE7-20).

2.3 Synthesis of Nanocomposites

Firstly PbS and CdS nanoparticles were synthesized by coprecipitation method in colloidal system [10]. Polymer composite materials were prepared as follow: PVDF was solved in DMF solution at room temperature, then nanoparticles of PbS and CdS were added to the polymer solution at a constant concentration of 3% and stirred for two hours to obtain a homogeneous mixture. The mixture was transferred to a Petri dish and dried, during 24 h. Thin films of nanocomposite were obtained from these samples by hot pressing at the melting temperature of polypropylene and a pressure of 15 MPa. The films after hot pressing were cooled in water at a cooling rate of 200 °C/min.

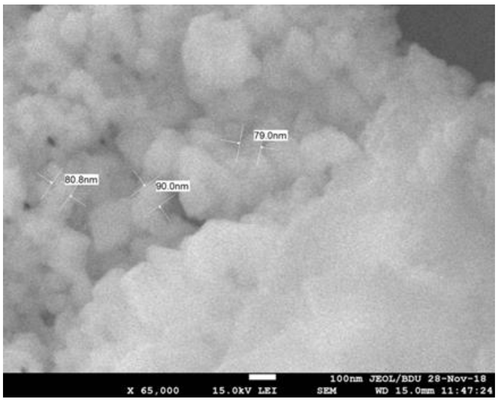
3. Results and Discussion

Figure 1 (a), (b) and (c) shows the SEM images of PVDF+PbS/CdS nanocomposites with 3 wt%, 5 wt% and 10 wt% of PbS/CdS nanoparticles respectively. As seen in the figures, the size of nanoparticles in the polymer matrix in the range of 48–83 nm, 73–88 nm and 79–90 nm in respectively. It is clear that with increasing content of nanoparticles in the polymer matrix, the size of nanoparticles also increases. Figure 2 reports the EDS analysis for the nanocomposites. From the EDS spectrum, it can be seen that the PbS and CdS are clearly shown.



a)

b)



c)

Figure 1. SEM images of PVDF + 3% PbS/CdS (a), PVDF +5% PbS/CdS (b), and PVDF +10% PbS/CdS (c) nanocomposites

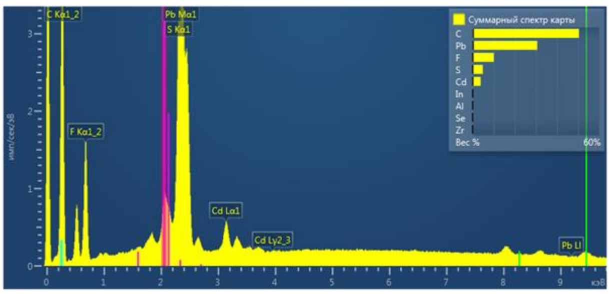


Figure 2. EDS spectra of PVDF+PbS/CdS nanocomposite

Figure 3 shows X-ray diffractograms of pure PVDF and PVDF+PbS/CdS nanocomposite. As can be seen, the diffractogram of PVDF+PbS/CdS nanocomposite exhibits at 2θ the peaks 25.2 (100), and 43.65 (220) characteristics of CdS and those ones 30.01 (200) and 53.70° (222) characteristics of PbS. Other peaks in the diffractogram belongs to the surfactant CTAB, which coats and stabilizes the surface of nanoparticles [10].

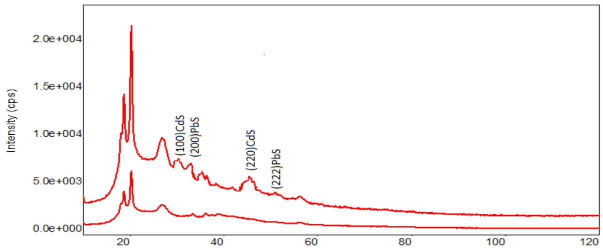
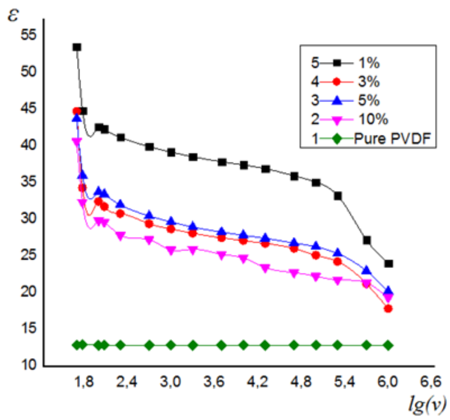
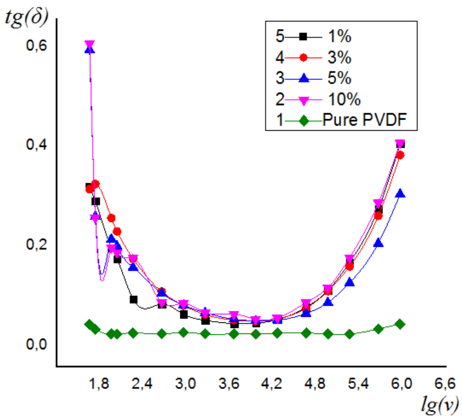


Figure 3. X-Ray diffraction patterns: 1 – pure PVDF, 2 – PVDF+PbS/CdS nanocomposites

Figure 4 shows the frequency dependences of the dielectric permittivity (a) and dielectric loss tangent (b) of the pure PVDF and PVDF+PbS/CdS nanocomposites.



a)



b)

Figure 4. a) Addiction of dielectric constant of pure PVDF and composites PVDF+PbS/CdS on frequency b) Frequency dependence of the dielectric loss tangent of pure PVDF and PVDF+PbS/CdS nanocomposites

It can be seen in Figure 4 (a) that the incorporation of nanoparticles in the polymer matrix leads to the rise of the dielectric permittivity of the nanocomposite in low consentration content. The decrease in the dielectric permittivity at higher PbS/CdS contents is associated with an increase in defects of the composite structure and decreasing of polarization. As can be seen from the Figure 4 (b), with the increasing frequency, the value of tan (d) of the PVDF+PbS/CdS nanocomposite increases. The sharp decrease in the dielectric loss with increasing of frequency can be explain due to high frequency energy losses.

Figure 5 shows the temperature dependence of the dielectric permittivity of the PVDF+PbS/CdS nanocomposites measured at a frequency of 1 kHz. It is shown that the value of the dielectric permittivity varies slightly with increasing temperature.

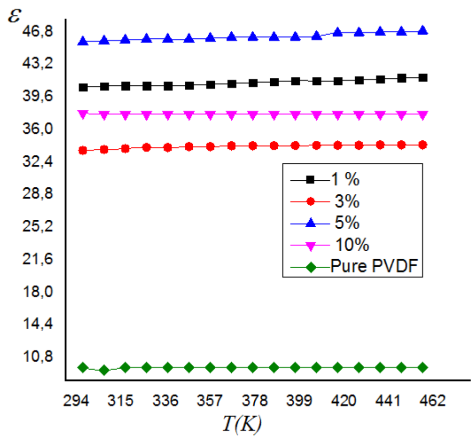


Figure 5. Dependence of dielectric permittivity of composites PVDF+PbS/CdS on temperature

4. Conclusion

In the present work, structural and dielectric properties of PVDF+PbS/CdS nanocomposite has been investigated. The SEM analysis demonstrated the size of nanoparticles in the polymer matrix is 5–10 nm, 12–18nm, 18–34 nm for 3%, 5%, and 15% respectively. The structure of the nanocomposite has been investigated by XRD spectroscopy. The dielectric permittivity decrease with increasing consentration of nanoparticles. It is can be explain by the increasing defects in the structure of the nanocomposite. Dependence of dielectric permittivity of composites on temperature also was investigated. It is shown that the value of the dielectric permittivity varies slightly with increasing temperature.

References

1. Mohsen Ahmadipour, Mohd Fadzil Ain, and Zainal Arifin Ahmad. "A short review on copper calcium titanate (CCTO) electroceramic: synthesis, dielectric properties, film deposition, and sensing application". In: Nano-Micro Letters 8.4 (2016), pp. 291–311.
2. Peter Barber, Shiva Balasubramanian, Yogesh Anguchamy, Shushan Gong, Arief Wibowo, Hongsheng Gao, Harry J Ploehn, and Hans-Conrad Zur Loye. "Polymer composite and nanocomposite dielectric materials for pulse power energy storage". In: Materials 2.4 (2009), pp. 1697–1733.
3. Carole Jacques. Energy Storage Market Rises to $50 Billion in 2020, amid Dramatic Changes. URL: http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/energy-storage-market-rises-50-billion-2020-amid-dramatic
4. Keun Hyung Lee, Joseph Kao, Saman Salemizadeh Parizi, Gabriel Caruntu, and Ting Xu. "Dielectric properties of barium titanate supramolecular nanocomposites". In: Nanoscale 6.7 (2014), pp. 3526–3531.
5. GM Ouyang, KY Wang, and XY Chen. "Enhanced electro-mechanical performance of TiO 2 nano-particle modified polydimethylsiloxane (PDMS) as electroactive polymers". In: Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference (TRANSDUCERS), 2011 16th International. IEEE. 2011, pp. 614–617.
6. Tetsuji Inui, Hirotaka Koga, Masaya Nogi, Natsuki Komoda, and Katsuaki Suganuma. "High-dielectric paper composite consisting of cellulose nanofiber and silver nanowire". In: Nanotechnology (IEEE-NANO), 2014 IEEE 14th International Conference on. IEEE. 2014, pp. 470–473.
7. Dong Kee Yi, Su Seong Lee, and Jackie Y Ying. "Synthesis and applications of magnetic nanocomposite catalysts". In: Chemistry of materials 18.10 (2006), pp. 2459–2461.
8. Inkai Yuan, Shenghong Yao, and Philippe Pouli. Dielectric Constant of PolymerCompositesand the Routes to High-k or Low-k Nanocomposite Materials. Polymer Nanocomposites.May 2016, (pp. 3–28).
9. Peter Barber, Shiva Balasubramanian, Yogesh Anguchamy, Shushan Gong, Arief Wibowo, Hongsheng Gao, Harry J. Ploehn and Hans-Conrad zur Loye. Polymer Composite and Nanocomposite Dielectric Materials for Pulse Power Energy Storage. Materials 2009, 2, 1697–1733; https://doi.org/10.3390/ma2041697
10. M. A. Ramazanov, A. M. Maharramov, A. Chianese, A. A. Novruzova, G. Y. Maharramova. The effect of electric discharge treatment on the optical properties of hybrid pp/pbs/cds nanocomposites. Journal of Ovonic Research Vol. 14, No. 2, March–April 2018, pp. 113–117.
11. Prateek, Thakur, Vijay Kumar, Gupta, Raju Kumar. Recent Progress on Ferroelectric Polymer-Based Nanocomposites for High Energy Density Capacitors: Synthesis, Dielectric Properties, and Future Aspects. Chem Rev 2016 Apr 13;116(7):4260-317. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00495
12. Luo S, Yang W, Yu S, et al. Development and application of polymer-based nanocomposites dielectrics. In: 17th international conference on electronic packaging technology (ICEPT). 2016. https://doi.org/10.1109/ICEPT.2016.7583165
13. Wang, Zijun, Zhou, Wenying, Sui, Xuezhen, Dong, Lina, Cai, Huiwu, Zuo, Jing, Chen, Qingguo. Temperature-Dependent Dielectric Properties of Al/Epoxy Nanocomposites. Journal of Electronic Materials, 2016 Volume 45, Issue 6, pp. 3069–3078.
14. Sasidhar Siddabattuni, Thomas P. Schuman and Fatih Dogan. Dielectric Properties of Polymer–Particle Nanocomposites Influenced by Electronic Nature of Filler Surfaces. ACS Appl. Mater. Interfaces 2013,5 ACS Appl. Mater. Interfaces 2013, 5, 1917−1927. https://doi.org/10.1021/am3030239

PVDF+PbS/CdS НАНОКОМПОЗИТТЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

А.А. Новрузова

Баку мемлекеттік университеті, Баку, Әзірбайжан

Бұл баяндамада PVDF+PbS/CdS нанокомпозиттерінің құрылымы мен электрофизикалық қасиеттерін зерттеу ұсынылған. Полимер матрицасындағы PBS және CdS нанобөлшектерінің таралуы мен мөлшерін зерттеу сканерлеуші электронды микроскопия (JEOL JSM-7600 F) арқылы жүргізілді. Нанокомпозит үлгілерінің құрылымын зерттеу рентген-дифракциялық спектроскопия әдісімен жүргізілді. Диэлектрлік өтімділіктің жиілік пен температураға тәуелділігі зерделенді. PVDF+PBS/CdS нанокомпозит үлгілерінің диэлектрлік өтімділігі нанобөлшектердің мөлшері аз болған кезде жоғарылағаны көрсетілген. Толтырғыш концентрациясын одан әрі арттыру диэлектрлік өтімділіктің төмендеуіне алып келеді. Нанобөлшектердің көп мөлшері кезінде диэлектрлік өтімділіктің одан әрі азаюын нанокомпозит құрылымындағы ақаулар санының артуымен түсіндіруге болады.
Түйін сөздер: *диэлектрлік өтімділіктің электрофизикалық қасиеттері, поливинилиден фториді, полимерлік нанокомпозит, PbS, CdS.*

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ PVDF+PbS/CdS

Новрузова А.А.

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

В данном докладе представлены исследования структуры и электрофизических свойств нанокомпозитов PVDF+PbS/CdS. Исследование распределения и размера наночастиц PbS и CdS в полимерной матрице проводилось с помощью сканирующей электронной микроскопии (JEOL JSM-7600 F). Изучение структуры образцов нанокомпозита проводилось методом рентген-дифракционной спектроскопии. Изучалась зависимость диэлектрической проницаемости от частоты и температуры. Было показано, что диэлектрическая проницаемость образцов нанокомпозита PVDF+PbS/CdS увеличивалась при малом содержании наночастиц. Дальнейшее увеличение концентрации наполнителя приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости. Дальнейшее уменьшение диэлектрической проницаемости при большем содержании наночастиц может объясняться увеличением количестве дефектов в структуре нанокомпозита.
Ключевые слова: *электрофизические свойства диэлектрической проницаемости, поливинилиден фторид, полимерный нанокомпозит, PbS, CdS.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-57-69
УДК 574:577.4:539.16

ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНКЕ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Топорова А.В., **Бакланова Ю.В.**, **Стрильчук Ю.Г.**, **Шатров А.Н.**

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

E-mail для контактов: toporova@nnc.kz

В статье представлен обзор рекомендаций, методических указаний и программного обеспечения по оценке дозовых нагрузок на население при проживании на радиоактивно-загрязненных территориях. Проведен обзор наиболее распространенных методик расчета доз ближнего и дальнего зарубежья. Приводятся основные подходы, коэффициенты, необходимые для расчетной оценки доз. Рассмотрены основные пути поступления искусственных радионуклидов. Представлена необходимость разработки методических указаний и программного обеспечения по оценке дозовых нагрузок при проживании людей на территории Семипалатинского испытательного полигона.

Ключевые слова: *эффективная годовая доза, удельная и поверхностная активности, внутреннее и внешнее облучение, дозовые коэффициенты, сценарии поведения.*

Введение

В Республике Казахстан (РК) в настоящее время в доступных литературных источниках отсутствуют приемлемые алгоритмы расчета оценки доз населения при проживании на радиоактивно-загрязненной территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Регулирование любой деятельности на территории полигона требует оценки радиационных рисков, которая существует или планируется на данной территории. Для этого необходимо провести расчет среднегодовых эффективных доз облучения, которые может получить человек в случае проживания и ведения хозяйственной деятельности на СИП.

В РК утверждены гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (ГН СЭТОРБ) [1], Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (СП СЭТОРБ) [2]. Гигиенические нормативы предназначены для юридических и физических лиц независимо от форм собственности, ведомственной принадлежности организационно-правовых форм, деятельность которых связана с обращением источников ионизирующего излучения, для обеспечения радиационной безопасности. Санитарные правила устанавливают требования к обеспечению радиационной безопасности при проектировании, вводе в эксплуатацию и содержании радиационных объектов, выводе из эксплуатации радиационных объектов, обращении с источниками ионизирующего излучения (закрытыми и открытыми радионуклидными источниками, радиоактивными веществами, радиоизотопными приборами, устройствами, генерирующими ионизирующее излучение), обращении с радиоактивными отходами, применении материалов и изделий, загрязненных или содержащих радионуклиды, осуществлении производственного радиационного контроля на объектах, в том числе, нефтегазового комплекса и металлолома, применении средств индивидуальной защиты и личной гигиены, при медицинском облучении, воздействии природных источников излучения и радиационных авариях.

В настоящее время основой оценки степени радиационного риска является общепринятая и регламентированная ГН СЭТОРБ модель беспорогового действия ионизирующего излучения, в которой мерой радиационного риска является величина эффективной дозы [1]. Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине. Поэтому, качественная и объективная оценка дозовых нагрузок при проведении комплексного экологического обследования территории СИП является гарантом соблюдения Закона о радиационной безопасности для лиц, проживающих на территории СИП, в случае передачи земель полигона в хозяйственный оборот.

В СП СЭТОРБ доза эффективная – величина, используемая, как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей, с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

где: H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T; W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T.

Таким образом, если просуммировать произведения величин каждого из монофакторных воздействий на его дозовый коэффициент, то в сумме получится величина, равная или большая фактически полученной эффективной дозе.

В СП СЭТОРБ не приводятся формулы для оценки доз облучения населения от искусственных радионуклидов.

В приложении 11 ГН СЭТОРБ представлены значения годового объема вдыхаемого воздуха для разных возрастных групп населения. Для персонала объем вдыхаемого воздуха составляет 1,4 м^3/ч. При этом в данном документе не учитывается параметр интенсивности дыхания для разных уровней активной деятельности человека.

Значения дозовых коэффициентов искусственных и естественных радионуклидов приведены только для внутреннего облучения при поступлении их с воздухом и пищей для критических групп. Например, для радионуклида ^{90}Sr приведены значения для детей 12–17 лет, для ^{137}Cs – для взрослого населения (старше 17 лет).

Исходя из этого, в данной статье предлагается рассмотреть методические указания и рекомендации, программные обеспечения по оценке ожидаемой годовой эффективной дозы для населения, проживающего вблизи либо в пределах территорий, загрязненных в результате техногенной деятельности. В обзоре методических указаний и рекомендаций представлены основные положения.

Обзор методов расчета оценки доз от внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях

Обзор методов расчета оценки доз проводится с учетом целей использования территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и путей облучения.

На загрязненных участках потенциальными путями воздействия на человека являются следующие:

- внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в почве;
- внешнее облучение от загрязненной почвы, попавшей на кожу;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от поступления радионуклидов с продуктами питания и водой;
- внутреннее облучение от непреднамеренного перорального поступления загрязненной почвы.

Доза существенно зависит от таких параметров как содержание искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды, условий проживания, особенностей питания населения и ведения хозяйственной деятельности.

В отчете Национального совета по радиологической защите Великобритании «Методология по оценке доз облучения населения при дальнейшем использовании земель, ранее загрязненных радиоактивными веществами» [3] приведена оценка потенциальных доз облучения населения, при использовании загрязненных земель в будущем. Основное требование данной методологии состоит в том, чтобы дозы облучения, полученные населением, проживающим на загрязненной территории в будущем, а также работниками, которые выполняют работы по восстановлению территории, были малы настолько, насколько это возможно, учитывая экономические и социальные факторы.

Дозы облучения определяются по сценариям поведения населения, которые учитывают возможные пути облучения. Эти сценарии включают в себя сельскохозяйственное использование земель, сценарии отдыха и строительства (дома, служебные офисы, школы). Рассматриваемые пути облучения представлены внешним облучением, внутренним облучением от радионуклидов, поступивших от загрязненной почвы (через вдыхание и случайное попадание внутрь), а также внутренним облучением от продуктов питания, выращенных на загрязненной территории. В методологии рассматривается 8 путей облучения и 7 поведенческих сценариев.

Рассматриваемые пути облучения:

- внешнее облучение от загрязненной почвы;
- внешнее облучение кожи от загрязненной почвы;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания, выращенными и производимыми на загрязненной территории;
- внутреннее облучение от непреднамеренного попадания радионуклидов (заглатывание);
- внутреннее облучение от потребления питьевой воды из водоносного пласта, расположенного под загрязненным слоем земли;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов с пресноводной рыбой из озер или рек, расположенных на загрязненной территории;
- внутреннее облучение от непреднамеренного попадания радионуклидов с водой из озера или реки, расположенной на загрязненной территории.

Рассматриваемые сценарии поведения:

- сельскохозяйственная деятельность;
- отдых на открытом воздухе;
- сценарий строительства;
- школьный сценарий;
- производственный сценарий;
- жилищный сценарий;
- сценарий рекультивации (застройки) участка.

Дозы рассчитываются для трех возрастных категорий – взрослый, ребенок 10 лет и ребенок 1 год.

В методологии приведены три периода времени облучения:

1) Облучение в течение времени, проведенного вне помещения, где нарушен почвенный слой земли.

2) Облучение в течение времени, проведенного вне помещения, где почвенный слой земли не нарушен.

3) Облучение в течение времени, проведенного в помещении.

Для дозы внутреннего облучения от перорального поступления продуктов питания рассматриваются 6 видов продуктов, такие как: зелень, овощи, фрукты, мясо, молоко и злаковые. При этом овощи, фрукты, мясо не подразделяются на подвиды, например, огурцы, помидоры, мясо (конина или говядина) и т.д., а учитывается суммарное годовое потребление овощей, мяса, фруктов и т.д. Поскольку невозможно определить какие продукты будут в действительности выращиваться в будущем, необходимо рассматривать разные продукты питания и учитывать их годовое потребление.

В методологии приведены показатели почасового и годового непреднамеренного заглатывания почвы для 3 возрастных категорий (таблица 1).

Таблица 1. Норма случайного попадания почвы внутрь для критической группы

Возраст	взрослый	ребенок	грудной ребенок
Почасовая норма заглатывания почвы, INGs,hour, г/ч	5×10^{-3}	1×10^{-2}	5×10^{-2}
Годовая норма заглатывания почвы, INGs,annual, г/год	$8{,}3\times10^{0}$	$1{,}8\times10^{1}$	$4{,}4\times10^{1}$

В методологии учитывается, что интенсивность дыхания (м^3/ч) при тяжелой работе увеличивается в среднем в два раза, а при очень тяжелой – до четырех-пяти раз. Интенсивность дыхания составляет для взрослого – 1,2 м^3/ч, для ребенка 10 лет – 0,87 м^3/ч, для ребенка 1 год – 0,31 м^3/ч. Значения интенсивности дыхания в Отчете отличаются от значений, приведенных в ГН СЭТОРБ РК. Также в Отчете предполагается, что среднегодовая запыленность при естественном пылении составляет 10^{-7} м^3/год, а при сильном пылении может увеличиваться в 10–100 раз (10^{-6}–10^{-5} м^3/год). Это важно учитывать при разных видах деятельности, проводимых на загрязненных территориях, если значение неизвестно.

Основной вывод методологии заключается в том, что дозы облучения определяются по сценариям поведения населения, которые учитывают основные пути облучения. Эти сценарии включают в себя дальнейшее использование загрязненных земель. Также важно отметить, что интенсивность дыхания и среднегодовая запыленность при различных видах физической нагрузки увеличиваются.

В методических указаниях «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем» [4] приводится процедура расчета доз внутреннего и внешнего облучения населения, проживающего на радиационно-загрязненной территории. Данные методические указания предназначены для использования в системе аварийного реагирования при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем.

Дозы оцениваются для представителей следующих групп населения: представители взрослого населения (работающие преимущественно вне помещений и работающие преимущественно внутри помещений), школьники и дошкольники. Весь процесс облучения разделяется на некоторые типичные ситуации облучения, для каждой из которых можно построить свою модель внешнего облучения. Каждая из этих частных моделей включает свой дозовый коэффициент, связывающий концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды с дозовой характеристикой поля внешнего излучения или непосредственно с характеристикой облучения человека – эффективной дозой.

В методических указаниях рассматриваются дозы внешнего облучения от гамма-излучения (от радиоактивного облака и от подстилающей поверхности), внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов, внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания. В методических указаниях так же, как и в предыдущей методологии, интенсивность дыхания при тяжелой работе увеличивается в среднем в два раза, а при очень тяжелой – до четырех-пяти раз. Значения средней интенсивности дыхания для лиц из населения разного возраста при легкой физической нагрузке представлены в таблице 2.

Таблица 2. Интенсивность дыхания у лиц разного возраста при легкой физической нагрузке

Возраст	старше 17 лет	10 лет	1 год
Скорость дыхания, м^3/ч	1,4	1,1	0,35

В таблице 2 значение интенсивности дыхания для взрослого населения (старше 17 лет) сравнимо со значением в ГН СЭТОРБ для персонала, и они выше значений, представленных в отчете Национального совета по радиологической защите. Вероятно, такие значения приняты для консервативной оценки для радиоактивно-загрязненной территории.

В целом по данным методическим указаниям можно отметить, что для расчета дозы внутреннего облучения необходимы измерения активности радионуклидов в воздухе населенных пунктов и в продуктах питания. Дозовые коэффициенты при ингаляционном пути поступлении не учитывают возрастных категорий, расчет доз внешнего гамма-облучения, можно провести, опираясь только на результаты гамма-спектрометрического анализа проб грунта. В данной методологии не рассматривается расчет внешней дозы от бета-излучения, облучения кожи от загрязненной почвы, внутреннего облучения от непреднамеренного заглатывания загрязненной почвы.

Методические указания «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду» [5] определяют требования к необходимым исходным данным и процедуру расчета прогнозируемых эффективных доз (ПЭД) облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие выброса в окружающую среду радионуклидов цезия и стронция (^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr). Под прогнозируемой эффективной дозой здесь понимается прогнозируемая за указанный период эффективная доза, средняя у выбранных групп жителей, обусловленная находящимися в окружающей среде радионуклидами цезия и стронция. Также приводится расчет прогнозируемой накопленной эффективной дозы (за 70 лет у детей и за 50 лет у взрослых жителей населенных пунктов).

Среднее значение ПЭД внешнего и внутреннего облучения рассчитывается для двух возрастных групп населения – детей и взрослых. Дети в данных методических указаниях относятся к критической группе, потому что, в случае загрязнения территории радионуклидом ^{90}Sr, у детей, которые потребляют местные пищевые продукты, доза внутреннего облучения от перорального поступления выше, чем в среднем по населенному пункту. В качестве потребляемых продуктов выбраны молоко и грибы.

В данных методических указаниях представлен порядок расчета доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду. В качестве исходных данных выступают поверхностное загрязнение почвы радионуклидами, коэффициенты перехода радионуклидов в молоко и грибы, дозовые коэффициенты. В методических указаниях приведена подробная оценка дозы внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с грибами и молоком, если известно только значение поверхностной активности, т.е. не требуется измерение активности радионуклидов в продуктах питания. Основой для расчета эффективных доз внутреннего и внешнего облучения служат поверхностные активности радионуклидов в почве. Схема проведения расчета внешнего и внутреннего облучения, как и в ***методических указаниях «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем»*** [5].

Известны ***методические рекомендации «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС»*** [6]. Данные рекомендации предназначены для оценки текущих доз облучения критических групп населения в условиях проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС. В них определены требования к исходным данным и описана процедура выполнения расчета средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенного пункта и критической группы населения. Используется градация населенных пунктов по типам ТИП I (село или поселок городского типа), ТИП II (поселок городского типа или город, ТИП III (город). Процедура выполнения дозовых расчетов приведена для ^{137}Cs. Эффективная доза рассчитывалась от внешнего гамма-излучения от загрязненной поверхности почвы и внутреннего облучения (с использованием результатов измерения активности ^{137}Cs в теле человека на счетчике излучения человека и на основе измерений удельной активности ^{137}Cs в продуктах питания). Приводится также расчет среднегодовой эффективной дозы внешнего облучения от почвы на берегах рек, подвергшейся загрязнению при их разливах, и при использовании загрязненной воды для полива сельхозугодий и огородов.

При внутреннем облучении рассматриваются следующие модели внутреннего облучения:

− пероральный путь, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов при потреблении питьевой воды из источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, использующих воду поверхностных водоемов, а также при потреблении пищевых продуктов, загрязненных в данной местности вследствие выбросов радиационного объекта;

− ингаляционный путь облучения, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов в организм человека через органы дыхания;

− ингаляционный путь облучения в результате вторичного подъема выпавших радионуклидов (ресуспензия).

Полная доза облучения представителей населения складывается из суммы доз внешнего и внутреннего облучения.

Как и в предыдущих, в данных рекомендациях основная группа продуктов питания это грибы и молоко. Здесь грибы подразделяются по группам сильнонакапливающие, средненакапливающие, слабонакапливающие и для разных групп почв. Дозовый коэффициент для радионуклида ^{137}Cs приведен для 3 типов жилых домов (одноэтажный деревянный, одноэтажный каменный, многоэтажный) и 3 типов населенных пунктов. Годовое потребление грибов и молока приведены также для 3 типов населенных пунктов, где заметно, что большее значение годового потребления идет для населенных пунктов ТИП 1 (село или поселок городского типа).

В рекомендации МАГАТЭ «Оценка доз облучения населения при пероральном поступлении радионуклидов» [7] представлена информация для проведения расчетной оценки доз для разных возрастных групп из населения при поступлении радионуклидов с продуктами питания. Также в ней приведены данные по потребительской корзине в разных странах. Это такие продукты, как: пшеница, корнеплоды, овощи, фрукты, мясо, рыба и молоко. Приведена потребительская корзина для населения Германии для разных возрастных групп. Дозовые коэффициенты при пероральном поступлении радионуклидов с продуктами питания приведены для младенцев (3 месяца), детей (1, 5, 10 и 15 лет) и взрослых. Дозовые коэффициенты при поступлении радионуклидов с продуктами питания приведены для 29 элементов. Также в рекомендациях приведено описание биокинетических и дозиметрических моделей МКРЗ. Дозовые коэффициенты, приведенные в данной методике, используются и в методических указаниях [5].

В статье «Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами (^{137}Cs, ^{241}Am и $^{238,239+240}$Pu) территории» [8] представлены данные загрязнённости радионуклидами почвы и воздуха рабочей зоны при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в условиях полевого эксперимента на территории земель Гомельской области Беларуси (42 км от ЧАЭС). Находящиеся в поверхностном слое почвы этих земель радионуклиды при проведении сельскохозяйственных работ под действием ветра и механических факторов с частицами пыли могут подниматься в воздух и, тем самым, обуславливать формирование дозы внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления. Был проведен эксперимент при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в результате которого получены коэффициенты ресуспензии (дефляции). В статье приведены результаты эксперимента при работе с сельскохозяйственными культурами, где использованы результаты объёма прокаченного воздуха, масса пыли, объёмная активность трансурановых элементов и коэффициенты ресуспензии, полученные при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в условиях проводимого полевого эксперимента. Содержание весового количества пыли в кабине комплекса К-Г-6 являлось максимальным и составляло 5,2 мг/м^3, а содержание пыли в кабине комбайна «Полесье», которая оборудована кондиционером, наоборот, было минимальным и составляло 0,2 мг/м^3. Коэффициент ветрового подъема для ^{137}Cs и ^{241}Am и $^{238,239+240}$Pu варьирует в пределах n×10^{-10}–10^{-8} 1/м, что соответствует литературным данным для других условий пылеобразования.

В результате проведенных расчетов установлено, что максимальные эффективные дозы внутреннего облучения работников от ингаляционного поступления ^{137}Cs и трансурановых элементов (^{241}Am и $^{238,239+240}$Pu) в воздухе рабочей зоны формируются в кабине механизатора, не оснащённой системой кондиционирования. Основной вклад в дозу внутреннего облучения от трансурановых элементов вносит ^{241}Am – более половины от суммы всех трансурановых элементов. При выполнении наиболее пылеобразующих сельскохозяйственных операций ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления ^{137}Cs и суммы трансурановых элементов (^{241}Am + $^{238,239+240}$Pu) на два математических порядка величины меньше эффективной дозы внешнего облучения работников. Из данной статьи можно отметить ключевой момент, что параметр среднегодовой запыленности необходимо учитывать при разных видах деятельности.

В отчете «Критерии категорирования радиационно и химически загрязненных территорий при реабилитации до социально приемлемого уровня» [9] представлен мировой опыт по реабилитации загрязненных территорий до социально приемлемого уровня. Мировой опыт показывает, что в качестве основы для принятия решений в отношении реабилитации территорий используется, как правило, оценка риска, представляемого загрязнением на конкретном объекте для здоровья человека. Применение методологии оценки риска здоровью в качестве инструмента обоснования эффективных управленческих решений позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба, сравнивать и ранжировать различные эффекты воздействия, разрабатывать механизмы и стратегию различных регулирующих мер по снижению риска, определять приоритеты экологической политики на региональном и национальном уровнях и т.д.

В отчете представлено, что потенциальными путями воздействия на человека на загрязненных участках являются следующие:

- прямое потребление почвы;
- ингаляция пыли;
- потребление питьевой воды, загрязненной в результате миграции радионуклидов или химикатов через почву в водоносные горизонты;
- загрязнение кожи;
- потребление местной продукции;
- миграция летучих радиоактивных газов в фундамент зданий;
- внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в почве.

При оценке дозы внутреннего облучения от потребления продукции, выращенной на загрязненной территории, рассматривается поступление радионуклидов с зеленой частью растений, плодовыми овощами, картофелем и корнеплодами, молоком и мясом, грибами и ягодами, рыбой, частицами почвы и водой. Приведены формулы для расчета содержания удельной активности в продуктах при известном поверхностном загрязнении почвы.

Доза внутреннего облучения рассчитывается с учетом ресуспензии, где коэффициент ветрового подъема (1/м) находится в пределах 10^{-8}–10^{-10} м$^{-1}$, рекомендовано для расчетов среднее значение 10^{-9} м$^{-1}$.

В отчете приведены пять сценариев использования загрязненной территории, каждому из которых соответствует свой путь облучения человека:

Сценарий 1 предполагает постоянное проживание человека на загрязненной территории и сельскохозяйственное использование данной земли. При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления загрязненных овощей, картофеля и зеленых растений; облучение от потребления молока, облучение от потребления мяса; облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод; облучение от потребления частиц почвы и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 2 предполагает постоянное проживание человека на загрязненной территории и ограничение на сельскохозяйственное использование данной земли (приусадебное хозяйство). При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления загрязненных овощей и зеленых растений; облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод; облучение от потребления частиц почвы и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 3 предполагает постоянное проживание человека в городской застройке без хозяйственного использования загрязненной земли. При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии) и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 4 предполагает временное нахождение на загрязненной территории с индустриальным использованием земли. При этом учитываются только внешнее облучение от поверхности загрязненной почвы и ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии).

Сценарий 5 предполагает временное нахождение на загрязненной территории и рекреационное использование данной земли (туризм). При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод и облучение от потребления частиц почвы. При этом предполагается, что человек находится на данной территории 1 месяц в году.

В отчете отмечено, что при дальнейшем использовании загрязненных территорий требуется описание сценарии поведения. В документе приводится оценка дозы внутреннего облучения через коэффициент дефляции (коэффициент ветрового подъема), в рассмотренных ранее литературных источниках расчет проводится с использованием интенсивности дыхания и среднегодовой запыленности. Также представлены потенциальные пути облучения при использовании загрязненных территорий.

В статье [10] представлен ***проект «Методические указания по определению эффективной дозы ионизирующего излучения».*** В методических указаниях приведена оценка суммарной эффективной дозы от всех источников излучения (естественных и искусственных). Эти рекомендации основаны на таких документах, как нормы радиационной безопасности (НРБ–99), международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (МАГАТЭ, 1997), рекомендации МКРЗ (Публикация 26, 1977; Публикация 60, 1994; Публикация 65, 1995) и др. справочных материалах.

Общая суммарная эффективная доза определена как сумма следующих составляющих (факторов воздействия):

$$E = E_k + E_\gamma + E_\beta + E_н + \sum E_{ДПР} + \sum E_{iинг} + \sum E_{iпищ}$$

где: E_k – доза космического излучения; E_γ – доза внешнего гамма-излучения; E_β – доза внешнего бета-излучения; $E_н$ – доза нейтронного излучения; $E_{iинг}$ – ожидаемая доза от поступления в организм *i*-го радионуклида через органы дыхания (кроме дочерних продуктов распада радона и торона); $E_{ДПР}$ – доза от поступления в организм дочерних продуктов распада (ДПР) радона и торона; $E_{iпищ}$ – ожидаемая доза от поступления в организм *i*–го радионуклида через органы пищеварения.

В методических указаниях приведены формулы для оценки доз, как от естественных радионуклидов, так и от искусственных, используются дозовые коэффициенты для критической группы населения и персонала. В ней не учитываются какие-либо сценарии поведения населения и персонала, а также увеличение интенсивности дыхания при различных видах активности.

Аналогично рассмотрено ***программное обеспечение*** *(RESRAD, RadEnvir 3.1).*

Программа RESRAD предназначена для оценки доз облучения и рисков. Модель остаточной радиоактивности (RESRAD) и компьютерная программа разработаны для оказания помощи в разработке критериев оценки очистки территорий и дозы или риска, связанного с остаточным радиоактивным материалом. Программа RESRAD позволяет вычислить концентрацию, которая будет соответствовать дозе или риску на основе требований по очистке в разных государствах, а также вычислить потенциальные годовые дозы и пожизненные риски для рабочих и населения в результате воздействия остаточной радиоактивности, содержащейся в почве. Программа позволяет вычислить концентрацию радионуклидов в различных средах (воздух, поверхностные и грунтовые воды) при нахождении радиоактивности в почве. Программа создана Аргонской национальной лабораторией (Argonne National Laboratory).

В 6 версии программы оценку можно проводить для 145 радионуклидов – как материнских, так и дочерних. В программе используется наихудший сценарий поведения человека, когда фермер проживает или будет жить на радиоактивно-загрязненном участке. Рассматриваются следующие пути облучения: внешнее облучение от загрязненной почвы; внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов; внутреннее облучение от продуктов питания, таких как продукты растительного происхождения, выращенные на загрязненном участке и орошаемые загрязненной водой, мясо и молоко от скота, который потребляет корм и воду с загрязненной территории, питьевая вода из загрязненной скважины или поверхностного водоема, рыба из загрязненного водоема и непреднамеренное заглатывание загрязненной почвы.

В программе также учитываются сценарии поведения человека при проживании на загрязненном участке, а также проживание на этом участке после проведения радиологического обследования, который можно использовать для проживания. Предполагается, что фермер и его семья строят дом, выращивают урожай и занимаются животноводством. Помимо постоянного проживания населения, рассматривается категория людей, которые могут заниматься строительными работами на загрязненном участке. Т.е. это группа людей, которые получат меньшую дозу, чем постоянно проживающие на этой территории. Сценарий фермер и его семья, проживающие на загрязненном участке, в данной программе считается наиболее консервативным.

Также в программе можно рассмотреть другие потенциальные сценарии воздействия, такие, как промышленный работник, сценарии отдыха и загородного жителя. Для этих сценариев человек обычно тратит меньше времени проведенного на загрязненном участке, и соответственно меньше путей облучения, чем для сценария фермера. Например, промышленные рабочие, как правило, работают 8 часов в день и не употребляют продукты питания, выращенные на загрязненной территории. В сценарии отдыха учитывается, что человек проводит ограниченное время на загрязненном участке или участке после рекультивации, потому что такие виды деятельности, как рыбалка и охота являются сезонными видами отдыха. Основные пути облучения по всем сценариям, рассматриваемым в программе, приведены в таблице 3.

Сценарий [а)] – фермер: вода используется для питья, бытовых целей, ирригации, и сельскохозяйственных животных, полив из местного колодца на загрязненном участке.

Сценарий [б)] – загородный житель: нет потребления мяса и молока, производимого на загрязненном участке, и вода используется для питья из чистых источников, расположенных за пределами загрязненного участка.

Сценарий [в)] – промышленный работник: нет потребления воды или продуктов питания, производимых на загрязненном участке. Примечание: предполагается, что промышленный рабочий употребляет воду из скважины на загрязненном участке (Агентство по охране окружающей среды США, 1994 [11]). Тем не менее, количество потребляемой питьевой воды для промышленного рабочего и фермера отличается.

Сценарий [г)] – отдыхающий: нет потребления пищи, кроме мяса (диких животных) и/или рыбы, полученной из пруда на данном участке, и вода, используемая для питья из источников, расположенных за пределами загрязненного участка.

В таблице 4 приведены значения основных параметров, используемые в сценариях для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и отдыхающего. Эти параметры могут быть изменены в соответствие с другими условиями нахождения на загрязненном участке.

Таблица 3. Пути облучения, которые могут быть учтены по сценариям поведения для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и сценарию отдыха

Пути облучения	Фермер [а)]	Загородный житель [б)]	Промышленный рабочий [в)]	Отдыхающий [г)]
Внешнее гамма-излучение	да	да	да	да
Внутреннее облучение от ингаляционного поступления частиц	да	да	да	да
Внутреннее облучение от ингаляционного поступления радона	да	да	да	да
Внутреннее облучение от перорального поступления:				
– продуктов питания растительного происхождения	да	да	нет	нет
– мяса	да	нет	нет	да
– молока	да	нет	нет	нет
– рыбы	да	нет	нет	да
– почвы	да	да	да	да
– воды	да	нет	нет	нет

Таблица 4. Сравнение основных параметров, используемых в сценариях поведения программы RESRAD для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и отдыхающего

Параметр	Размерность	Фермер	Загородный житель	Промышленный рабочий	Отдыхающий
Время облучения	год	30	30	25	30
Интенсивность дыхания [а)]	м³/год	8400	8400	11400	14000
Доля времени проведенного внутри помещения [б)]	- [в)]	0,50	0,50	0,17	-
Доля времени проведенного на открытом воздухе [г)]	-	0,25	0,25	0,06	0,006
Доля загрязнения продуктов питания [д)]:					
– продукты растительного происхождения	-	0,5	0,1	не используется	не используется
– молоко	-	1,0	не используется	не используется	не используется
– мясо	-	1,0	не используется	не используется	1,0
– морепродукты	-	0,5	не используется	не используется	0,5
Заглатывание почвы [е)]	г/год	36,5	36,5	36,5	36,5
Потребление питьевой воды [ж)]	л/год	510	не используется	не используется	не используется

Параметр [а)] – RESRAD предполагает, что средняя скорость вдыхаемого воздуха 8400 м^3/год для фермера и загородного жителя. Среднее значение интенсивности дыхания 15,2 м^3/сут приводится Агентством по охране окружающей среды США "Справочник факторов воздействия" (EPA 1997 [12]). Для рабочего по промышленному сценарию поведения, почасовая интенсивность дыхания работника в среднем составляет 1,3 м^3/ч (EPA 1997). Для сценария отдыха, предполагается, что интенсивность дыхания у человека в состоянии умеренной активности на участке составляет 1,6 м^3/ч (EPA 1997).

Параметр [б)] – RESRAD предполагает, что фермер и загородный житель проводит 50% своего времени внутри помещения на загрязненной территории. Для промышленного рабочего, предполагается, что он/она будет тратить 6 ч/сутки (1500 ч за один год) внутри помещения на загрязненном участке. В справочнике (EPA 1997) предполагает, что житель тратит в среднем 16,4 ч/сутки внутри помещения.

[в] – дефис указывает, что параметр является безразмерной величиной.

Параметр [г)] – RESRAD предполагает, что фермер и загородный житель тратит 25% своего времени, находясь на открытом воздухе на загрязненной территории. Для промышленного рабочего, предполагается, что он/она будет тратить 2 ч/сут (500 ч за один год) на открытом воздухе на загрязненном участке. В справочнике (EPA 1997) предполагается, что житель тратит в среднем 2 ч/д на открытом воздухе. Для сценария отдыха, предполагается, что он/она проводит 50 часов на открытом воздухе на загрязненной территории в течение одного года.

Параметр [д)] – RESRAD корректирует долю загрязненных растений, мяса и молочных продуктов на основе загрязненной территории. Значения в таблице для очень большой загрязненной территории (>20000 м^2 для мясной и молочной продукции и >1000 м^2 для растениеводческой продукции).

Параметр [е)] – RESRAD использует количество заглатывания почвы 36,5 г/год. Среднее значение в справочнике (EPA 1997) составляет 50 мг/сут.

Параметр [ж)] – RESRAD принимает, что для сельского жителя потребление воды составляет 510 л/год. Агентство по охране окружающей среды США (EPA 1997) рекомендует принимать среднее значение потребления питьевой воды 1,4 л/сут, для загородного жителя и промышленного рабочего.

В программе RESRAD значение интенсивности дыхания зависит от уровня активности человека. Учитывается четыре уровня активности человека – отдых, легкая активность, умеренная активность и тяжелая. Отдых характеризуется такими мероприятиями, как просмотр телевизора, чтение или сон. Легкая активность включает в себя ходьбу, стирку, домашнюю работу, хобби и т.д. Умеренная активность включает в себя подъем по лестнице, ремонт и т.д. Тяжелая работа состоит из энергичных физических упражнений, таких, как поднятие тяжестей, танцы, езда или велотренажер. В таблице 5 приведены значения интенсивности дыхания для мужчины, женщины и детей при разных уровнях активности (EPA 1985 [13]).

МКРЗ (1981) предполагает, если человек занимается 16 часов легкой активной деятельностью и 8 часов отдыхает, то интенсивность дыхания для взрослых мужчин составляет 23 м^3/сут и 21 м^3/сут для взрослых женщин, при этом среднее значение 22 м^3/сут (8030 м^3/год) для взрослых. Среднее значение такое же, как и в ГН СЭТОРБ РК.

Данные, представленные Агентством по охране окружающей среды США (EPA 1985) предполагают более низкие значения интенсивности дыхания при легкой активности и отдыхе. Используя то же предположение, как МКРЗ (1981), суточная норма ингаляции будет около 14 м^3/сут (5110 м^3/год). Для сценариев, в которых известны уровни активности, должны использоваться значения интенсивности дыхания, приведенные в таблице (таблица 5), поскольку они являются более характерными показателями.

При расчете дозы внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания используются значения годового потребления, представленные в таблице 6 [14].

Таблица 5. Значения интенсивности дыхания (м^3/ч) для мужчины, женщины и детей при разных уровнях активности

Возрастная группа	Уровни активности			
	отдых	легкая	умеренная	тяжелая
Взрослый мужчина	0,7	0,8	2,5	4,8
Взрослая женщина	0,3	0,5	1,6	2,9
Среднее значение для взрослого человека	0,5	0,6	2,1	3,9
Ребенок, 6 лет	0,4	0,8	2,0	2,4
Ребенок, 10 лет	0,4	1,0	3,2	4,2

Таблица 6. Значения потребления овощей и фруктов, используемые в программе RESRAD

Продукты	Среднее суммарное значение потребления		Среднее суммарное потребление продуктов, выращенных на участке		Максимальное суммарное потребление продуктов, выращенных на участке	
	г/сут	кг/год	г/сут	кг/год	г/сут	кг/год
Овощи	200	73	50	18	80	29
Фрукты	140	51	28	10	42	15
Сумма	340	124	78	28	122	44

Таблица 7. Значения годового потребления продуктов питания, рассматриваемые в программе RESRAD

Продукты	Величина годового потребления продуктов, кг/год			
	Руководство нормативного регулирования Комиссии по ядерному регулированию США			значения по умолчанию в RESRAD
	ребенок	подросток	взрослый	
Мясо (говядина и птица)	37 (41) *	59 (65)	95 (110)	63
Молоко	170 (330)	200 (400)	110 (310)	92
Листовые овощи (шпинат, салат)	26	42	64	14
Рыба	2,2	5,2	6,9	**
Морепродукты	0,33 (6,9)	0,75 (16)	1,0 (21)	**
Вода (л/год)			730	510

Примечание: * – 37 – среднее значения годового потребления, (41) – максимальное значение годового потребления.
** – в программе RESRAD не учитывается, с какой территории чистой или загрязненной употребляются морепродукты, учитывается суммарное годовое потребление. Предполагается, что если поверхность водоема (пруд) находится на загрязненном участке, это обеспечит 50% потребляемых морепродуктов.

В таблице 7 представлены значения годового потребления, приведенные в Руководстве нормативного регулирования Комиссии по ядерному регулированию США [15] и используемые по умолчанию в программе RESRAD.

Средние значения годовой запыленности находятся в диапазоне $3{,}3\times10^{-5}$–$2{,}54\times10^{-4}$ г/м^3 в городских районах и 9×10^{-6} до $7{,}9\times10^{-5}$ г/м^3 в не городских районах [16]. Агентство по охране окружающей среды США [17] использовали 1×10^{-4} г/м^3. Среднегодовая запыленность зависит от деятельности человека, например, вспашка и культивирование сухой почвы или езда по грунтовой дороге.

Запыленность при строительных работах составляет около $6{,}0\times10^{-4}$ г/м^3; при строительстве грунтовых дорог это $4{,}0\times10^{-4}$ г/м^3; и для сельского хозяйства это примерно $3{,}0\times10^{-4}$ г/м^3 [18]. Максимальное значение запыленности внутри кабины тяжелой строительной техники во время горных работ было установлено $1{,}8\times10^{-3}$ г/м^3. Оценки массовых нагрузок были выше, чем 1,3 г/м^3 для мгновенных массовых нагрузок во время вспашки. RESRAD по умолчанию использует значение $2{,}0\times10^{-4}$ г/м^3 [16].

Программа RESRAD-offsite является продолжением программы RESRAD (onsite), которая разработана, чтобы оценить радиологические последствия на загрязненном участке или вне зоны первичного загрязнения. Данная программа имеет возможность учитывать облучение человека, находящегося как на загрязненном участке, так и за его пределами (в непосредственной близости от первичного загрязнения). В программе рассматриваются следующие пути облучения:

- внешнее облучение от загрязненной поверхности почвы;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления загрязненных частиц и радона;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов от продукции растительного происхождения;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов при употреблении мяса, молока, морепродуктов (рыба), воды и случайное заглатывание почвы.

Выбирая пути облучения, в RESRAD-offsite можно использовать различные сценарии поведения, в том числе, сценарии сельского жителя (фермера), городского жителя, рабочего и отдыхающего. Так, например, программа дает возможность оценить дозу для рабочего, когда он проводит некоторое время в здании, расположенном либо на загрязненном участке или вне его. Также человек может потреблять продукцию, производимую на загрязненном участке или вблизи него, или же вообще не употреблять с этих территорий.

Сельскохозяйственный сценарий поведения фермера представляет собой фермера, который производит все продукты питания на участке вблизи с загрязненной территорией. Также можно учесть, что фермер покупает продукты, производимые непосредственно на загрязненном участке. Второй вариант основного сценария поведения фермера учитывает, что фермер выращивает и производит значительную часть продуктов на загрязненной территории. Это может быть и не сам фермер, а совсем другой представитель из населения, но учитывается, что человек потребляет продукты с загрязненной территории.

В сценарии городского жителя не учитываются продукты, производимые на загрязненном участке или вблизи загрязненного участка. Считается, что городской житель живет в квартире или частном доме. В данном сценарии рассматривается расположение водоснабжения и тип очистки воды, питьевая вода, бытовая вода. Возможно, вода не будет идти с загрязненного участка. Также в данном сценарии можно предположить, что городской житель может работать на загрязненном участке или вблизи него.

Для промышленного рабочего не будут учитываться также пути облучения от поступления продуктов питания, выращенных и производимых на загрязненном участке или вблизи него. Интенсивность дыхания, запыленность и заглатывание пыли будут учитываться и будут разными для разных категорий персонала (работник офиса, строитель, промышленный рабочий). Также данный сценарий можно комбинировать.

В сценарии отдыха возможны многочисленные вариации, так, например, можно рассматривать спортсмена или же рыбака. Спортсмен, может заниматься как на загрязненной территории, так и вблизи нее, а рыбак может употреблять рыбу, выловленную в поверхностном водоеме на загрязненном участке.

В программе можно редактировать сценарии с учетом настоящих условий поведения человека и времени его нахождения на загрязненном участке или вблизи загрязненного участка.

В программе применяются разные уровни активной деятельности населения, интенсивности дыхания при разных видах деятельности, которые рекомендованы Агентством по охране окружающей среды США, если известны уровни активности населения, необходимо использовать значения интенсивности дыхания, представленные в таблице (таблица 5). Приведены значения среднегодовой запыленности, а также сценарии поведения населения при проживании на загрязненных территориях или на участках вблизи загрязненной территории.

Программа RaDEnvir 3.1 «Облучение населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды» это компьютерная программа для оценки радиационного воздействия годовых доз для населения, проживающего на загрязненном участке. В программе рассматривается 53 радионуклида как искусственного, так и естественного происхождения. В данной программе учитывается доза от внешнего облучения от поверхностного загрязнения почвы радионуклидами, доза внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления загрязненных частиц и перорального поступления от потребления продуктов питания. Рассматриваются 6 категорий возрастной группы (взрослые, дети младше 1 года, дети 1–2 лет, дети 2–7 лет, дети 7–12 лет, дети 12–17 лет), условия проживания (сельская местность или город), время с момента выпадения (свежие выпадения <1 года, старые выпадения >1 года). При потреблении продуктов питания рассматриваются молоко, овощи (листовые овощи и ягоды), мясо (говядина, свинина, птица).

Рассчитанные дозы в данной программе консервативно представляют собой максимальную дозу для любого человека. Все параметры в программе можно изменять в соответствии с реальными условиями.

Заключение

В настоящее время в РК не существует разработанных и утвержденных алгоритмов и методик по оценке дозовых нагрузок на человека, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях. Также в РК нет программного обеспечения по оценке доз и рисков, разработанного казахстанскими специалистами и принятого в РК. Оценка ожидаемой годовой эффективной дозы для населения, проживающего вблизи либо в пределах территорий, загрязненных в результате техногенной деятельности (в том числе, в результате проведения ядерных испытаний), в СП СЭТОРБ РК не рассматривается.

Хозяйственная деятельность, проводимая на радиоактивно-загрязненных землях, может привести к повышенному риску облучения людей радиацией. Источниками повышенного облучения могут являться радиоактивно-загрязненные объекты природной среды, а также продукты питания, получаемые и производимые на радиоактивно-загрязненной территории. Искусственные радионуклиды, поступающие в организм человека с вдыхаемым воздухом, с водой и пищей, вносят дополнительный вклад в ожидаемую годовую эффективную дозу облучения населения, которая характеризует степень радиационной опасности загрязненной территории. На территории СИП ведется санкционированная хозяйственная деятельность (разведка и добыча полезных ископаемых, геологическое обследование) и несанкционированная хозяйственная деятельность, т.е. без получения необходимых разрешительных документов (выпас скота, заготовка сена, демонтаж и вывоз металлоконструкций). Поэтому для объективной оценки доз населения при проживании и ведении деятельности на территории СИП необходимо разработать все возможные сценарии поведения человека на территории СИП.

Проанализированные методики и существующее программное обеспечение по оценке доз ближнего и дальнего зарубежья позволяют выбрать потенциальные пути облучения, основные параметры, необходимые для объективной оценки доз населения при проживании на загрязненных территориях.

Работа выполнена в рамках темы 04.03. «Экспериментально-расчетное определение зависимости «доза-эффект» для калькуляции индивидуальной поглощенной дозы человека в рамках обеспечения готовности и реагирования в радиационных чрезвычайных ситуациях» научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» на 2021–2023 гг. (ИРН BR09158470).

Литература

1. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. приказом и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 155.
2. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. приказом и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 15 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-275/2020.
3. Oatway W.B. “Methodology for Estimating The Doses to Members of the Public from the Future Use of Land Previously Contaminated with Radioactivity” / W. B. Oatway, S.F. Mobbs, Report NRPB W36 National Radiological Protection Board GteitBritanion, 2003, 7 p.
4. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: методические указания 2.6.1. 2153-06 // под. ред. Голиков В.Ю., Брук Г.Я., Звонова И.А., Барковский А.Н. Москва, 2007, 46 с.
5. Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду: Методические указания МУ 2.6.1.2222-07 // под. ред. В.Ю. Голиков, Г.Я. Брук, М.И. Балонов. Москва. 2007.
6. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: методические указания 2.6.1.2003-05 // под ред. Брук Г.Я., Балонов М.И., Барковский А.Н., Голиков В.Ю., М.В. Кадука, Москва, 2005, 20 с.
7. SAFETY REPORTS SERIES No. 14. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. – 87 p. – ISBN 92–0–100899–6.
8. Подоляк А.Г. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами (^{137}Cs, ^{241}Am и $^{238,239+240}Pu$) территории / А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // Радиация и риск.– Том 23.– № 2 – 2014 – С. 85-94.
9. Критерии категорирования радиационно и химически загрязненных территорий при реабилитации до социально приемлемого уровня. В. Ахунов, Н. Архангельский (Росатом), С. Брыкин, И. Серебряков, Н. Рознова (ФГУП ВНИИХТ), И. Крышев, Т. Сазыкина (ГУ НПО «Тайфун»), И. Линге, С. Казаков, И. Абалкина (ИБРАЭ РАН).
10. Спатаев М.Б.. Определение эффективной дозы ионизирующего излучения на персонал и население / М.Б. Спатаев, Г.Д. Вдовиченко, К.К. Кадыржанов, В.А. Кудряшев //Вестник НЯЦ РК. «Радиоэкология. Охрана окружающей среды», 2000, выпуск 3, С. 113–120.
11. U.S. Environmental Protection Agency, 1994, Estimating Radiogenic Cancer Risks, EPA 402-R-93-076, Washington, D.C.
12. U.S. Environmental Protection Agency, 1997, Health Effects Assessment Summary Tables FY-1997 Update, EPA/540/R-97/036, Washington, D.C., July.
13. U.S. Environmental Protection Agency, 1985, Development of Statistical Distributions or Ranges of Standard Factor Used in Exposure Assessments, EPA-600/8-85-010, Washington, D.C.
14. U.S. Department of Energy, 1990, “Radiation Protection of the Public and the Environment”, U.S. Department of Energy Order 5400.5.
15. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977, Calculation of Annual Doses to Manfrom Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix 2, Regulatory Guide 1.109, Office of Standards Development, Rev. 1, Washington, D.C., Oct.
16. Gilbert T.L., et al., 1983, Pathways Analysis and Radiation Dose Estimates for Radioactive Residues at Formerly Utilized MED/AEC Sites, ORO-832 (Rev.), prepared by Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., for U.S. Department of Energy, Oak Ridge Operations, Oak Ridge, Tenn., March (reprinted with corrections January 1984).
17. U.S. Environmental Protection Agency, 1977, Proposed Guidance on Dose Limits for Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment, Office of Radiation Programs, Criteria and Standards Division, Washington, D.C.
18. Oztunali, O.I., et al., 1981, Data Base for Radioactive Waste Management, Impacts Analyses Methodology Report, NUREG/CR-1759, Vol. 3, prepared by Dames and Moore, White Plains, N.Y., for Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

References

1. Gigienicheskie normativy «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti», utv. prikazom i.o. Ministra natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 27 fevralya 2015 goda No. 155.
2. Sanitarnye pravila «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti», utv. prikazom i.o. Ministra zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 15 dekabrya 2020 goda No. ҚR DSM-275/2020.
3. Oatway W.B. “Methodology for Estimating The Doses to Members of the Public from the Future Use of Land Previously Contaminated with Radioactivity” / W. B. Oatway, S.F. Mobbs, Report NRPB W36 National Radiological Protection Board GteitBritanion, 2003, 7 p.

4. Operativnaya otsenka doz oblucheniya naseleniya pri radioaktivnom zagryaznenii territorii vozdushnym putem: metodicheskie ukazaniya 2.6.1. 2153-06 // pod. red. Golikov V.Yu., Bruk G.Ya., Zvonova I.A., Barkovskiy A.N. Moscow, 2007, 46 p.
5. Prognoz doz oblucheniya naseleniya radionuklidami tseziya i strontsiya pri ikh popadanii v okruzhayushchuyu sredu: Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.2222-07 // pod. red. V.Yu. Golikov, G.Ya. Bruk, M.I. Balonov. Moscow. 2007.
6. Otsenka srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniya kriticheskikh grupp zhiteley naselennykh punktov Rossiyskoy Federatsii, podvergshikhsya radioaktivnomu zagryazneniyu vsledstvie avarii na Chernobyl'skoy AES: metodicheskie ukazaniya 2.6.1.2003-05 // pod red. Bruk G.Ya., Balonov M.I., Barkovskiy A.N., Golikov V.Yu., M.V. Kaduka, Moscow, 2005, 20 p.
7. SAFETY REPORTS SERIES No. 14. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. – 87 p. – ISBN 92–0–100899–6.
8. Podolyak A.G. Dozy oblucheniya rabotnikov pri provedenii sel'skokhozyaystvennykh operatsiy na zagryaznennoy radionuklidami (^{137}Cs, ^{241}Am i $^{238,239+240}$Pu) territorii / A.G. Podolyak, S.A. Tagay, V.S. Averin, K.N. Buzdalkin, E.K. Nilova // Radiatsiya i risk. – Tom 23. – No. 2 – 2014 – P. 85-94.
9. Kriterii kategorirovaniya radiatsionno i khimicheski zagryaznennykh territoriy pri reabilitatsii do sotsial'no priemlemogo urovnya. V. Akhunov, N. Arkhangel'skiy (Rosatom), S. Brykin, I. Serebryakov, N. Roznova (FGUP VNIIKhT), I. Kryshev, T. Sazykina (GU NPO «Tayfun»), I. Linge, S. Kazakov, I. Abalkina (IBRAE RAN).
10. Spataev M.B.. Opredelenie effektivnoy dozy ioniziruyushchego izlucheniya na personal i naselenie / M.B. Spataev, G.D. Vdovichenko, K.K. Kadyrzhanov, V.A. Kudryashev //Vestnik NYaTs RK. "Radioekologiya. Okhrana okruzhayushchey sredy", 2000, Issue 3, P. 113–120.
11. U.S. Environmental Protection Agency, 1994, Estimating Radiogenic Cancer Risks, EPA 402-R-93-076, Washington, D.C.
12. U.S. Environmental Protection Agency, 1997, Health Effects Assessment Summary Tables FY-1997 Update, EPA/540/R-97/036, Washington, D.C., July.
13. U.S. Environmental Protection Agency, 1985, Development of Statistical Distributions or Ranges of Standard Factor Used in Exposure Assessments, EPA-600/8-85-010, Washington, D.C.
14. U.S. Department of Energy, 1990, "Radiation Protection of the Public and the Environment", U.S. Department of Energy Order 5400.5.
15. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977, Calculation of Annual Doses to Manfrom Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix 2, Regulatory Guide 1.109, Office of Standards Development, Rev. 1, Washington, D.C., Oct.
16. Gilbert T.L., et al., 1983, Pathways Analysis and Radiation Dose Estimates for Radioactive Residues at Formerly Utilized MED/AEC Sites, ORO-832 (Rev.), prepared by Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., for U.S. Department of Energy, Oak Ridge Operations, Oak Ridge, Tenn., March (reprinted with corrections January 1984).
17. U.S. Environmental Protection Agency, 1977, Proposed Guidance on Dose Limits for Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment, Office of Radiation Programs, Criteria and Standards Division, Washington, D.C.
18. Oztunali, O.I., et al., 1981, Data Base for Radioactive Waste Management, Impacts Analyses Methodology Report, NUREG/CR-1759, Vol. 3, prepared by Dames and Moore, White Plains, N.Y., for Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

РАДИОАКТИВТІ ЛАСТАНҒАН АУМАҚТА ТҰРҒАН КЕЗДЕГІ АДАМНЫҢ ЖЫЛДЫҚ ТИІМДІ ДОЗАСЫН БАҒАЛАУ ЖӨНІНДЕГІ ӘДІСТЕМЕЛІК НҰСҚАУЛАР МЕН ҰСЫНЫМДАРҒА ШОЛУ

А.В. Топорова, Ю.В. Бакланова, Ю.Г. Стрильчук, А.Н. Шатров

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Ұсынылып отырған мақалада радиоактивті ластанған аумақтарда тұрған кезде халыққа түсетін дозалық жүктемелерді бағалау жөніндегі ұсынымдарға, әдістемелік нұсқауларға және программалық жасақтамаға шолу берілген. Жақын және алыс шетелдердің дозаларды есептеу бойынша кең таралған әдістемелеріне шолу жүргізілген. Дозаларды есептік бағалау үшін қажет етілетін негізгі тәсілдер, коэффициенттер берілген. Жасанды радионуклидтер түсуінің негізгі жолдары қарастырылған. Семей сынақ полигоны аумағында адамдар тұрған кездегі әдістемелік нұсқаулар мен программалық жасақтама әзірлеу қажеттігі ұсынылған.

Түйін сөздер: *жылдық тиімді доза, үлестік және беттік белсенділік, ішкі және сыртқы сәулелену, дозалық коэффициенттер, әрекет сценарийлері.*

REVIEW OF METHODIC INSTRUCTIONS AND RECOMMENDATIONS FOR EVALUATION OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE TO HUMAN BEING IN CASES OF LIVING AT RADIOACTIVE CONTAMINATED AREAS

A.V. Toporova, Yu.V. Baklanova, Yu.G. Strilchuk, A.N. Shatrov

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The proposed paper provides a review of recommendations, methodic instructions and software for evaluation of exposure doses to population domiciling radioactive contaminated territories. There is a review of dose calculation methods which are most common in neighbouring countries and beyond. The paper presents basic approaches, factors required for dose assessment with review of main pathways for artificial radionuclides intake. It addresses the need to develop methodic instructions and software for the cases of people living at Semipalatinsk test site area.

Keywords: *effective annual dose, specific and surface activity, internal and external exposure, dose factors, behavior scenario.*

СПИСОК АВТОРОВ

Novruzova A.A., 53
Айдарханов А.О., 25
Айдарханова А.К., 25
Акатан К., 4
Актаев М.Р., 25
Ан В.А., 47
Бакланова Ю.В., 19, 57
Бедельбекова К.А., 11
Гребеньков А.Ж., 30
Дорожкин И.П., 19
Жилкашинова А.М., 4
Искенов А.О., 25
Кабдрахманова С.К., 4
Кустовская А.Д., 30
Ленник С.Г., 11
Лобач К.В., 30
Ляпощенко А.А., 30
Малиновский А.И., 30
Мустафина Е.В., 19
Непеина К.С., 47
Пронин С.С., 25
Рыкова В.В., 42
Саенко С.Ю., 30
Сейтқанова М.Е., 4
Семейко К.В., 30
Скаков М.К., 4
Склабинский В.И., 30
Соколенко Е.К., 11
Стрильчук Ю.Г., 57
Топорова А.В., 57
Шаймардан Е., 4
Шатров А.Н., 57

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи для публикации в журнале отправляются авторами после регистрации на веб-сайте журнала в электронном виде в формате MS WORD (.docx), а после принятия решения о публикации статьи редакцией (по окончании процесса проверки и рецензирования) – и в виде печатной копии окончательной редакции статьи с согласием авторов на публикацию и их подписями (по почте, курьером и пр. в адрес редакции).

Текст печатается на листах формата А4 (210× 297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (600–2400 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используйте шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов. Пожалуйста, используйте встроенные стили заголовков (Заголовок 1, 2…) только для названия статьи и заголовков подразделов, и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисуночных подписей.

В левом верхнем углу первой страницы должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами, в одном абзаце. После этого печатается текст краткой аннотации на языке статьи (100–3000 символов), и отдельной строкой (после фразы Ключевые слова:) – ключевые слова (5–10). Далее, со следующего абзаца – основной текст, содержащий разделы: Введение, Основную часть и Результаты (возможно, с подразделами), Заключение. После текста статьи приводится список литературы (на языках оригиналов) и блоки «название статьи, аннотация, ключевые слова) на двух оставшихся языках.

Обратите внимание, что ФИО авторов и представляемые организации в статье указывать не нужно, т.к. статьи проходят двойное «слепое» рецензирование. Эту информацию необходимо будет заполнить на трех языках (русском, казахском, английском) в форме на веб-сайте при подаче статьи. Рекомендуем заранее подготовить ее в виде отдельного документа с таблицами по образцу (см. ОБРАЗЕЦ на следующей странице) и приложить к статье.

Для текста статьи используйте одинарный межстрочный интервал, между абзацами не нужно вставлять пустые абзацы и строки.

Не используйте таблицы для расположения иллюстраций и подрисуночных подписей, а также средства рисования MS Word поверх иллюстраций.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Окончательная редакция статьи, прошедшая рецензирование и допущенная к публикации, должна содержать блоки на трех языках – казахском, английском и русском, с указанием названия статьи, фамилий, имен, отчеств авторов, полного названия организаций, городов и стран местонахождения, которые они представляют, аннотации объемом 100–250 слов (600 печатных знаков), и ключевых слов (5–10).
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных […] скобках по мере упоминания. Список литературы приводится по ГОСТ 7.1-2003.
- Пожалуйста, не используйте механизм автоматической нумерации (поля) MS Word для нумерации ссылок на литературу, списков, рисунков и таблиц – используйте обычный текст;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см). Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. Файлы рисунков должны быть представлены отдельно в одном из растровых – .tif, .png (для схем и рисунков с надписями), .jpg (для фото) с разрешением 300 dpi (~1000 px для рисунков шириной 8 см и ~1800 px для рисунков шириной 14 см) или векторных – .svg, .wmf, .emf форматах. Названия файлов должны соответствовать положению в статье (напр. Рисунок 1-a.tiff). Для надписей на рисунках предпочтительно использовать шрифт Arial Narrow или аналогичный (узкий шрифт без засечек).
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как уравнения MS Word или формулы MathType. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.
- Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. Бумажная версии статья должна быть в конце подписана авторами.

К статье прилагаются следующие документы:

1) *Сопроводительное письмо от авторов*, в котором должны содержаться сведения о том, что статья может быть опубликована в открытой печати, ранее не была опубликована, не находится на рассмотрении на предмет публикации в других изданиях, статья не содержит информации, способной привести к конфликту интересов.
2) *Файлы рисунков.*

Название статьи, аннотация, ключевые слова, а также сведения обо всех авторах статьи заполняются на 3-х языках (русском, казахском, английском) в форме на сайте при подаче статьи (эту информацию также желательно приложить к статье в виде отдельного файла – см. ОБРАЗЕЦ на следующей странице).

Дополнительную актуальную информацию по оформлению, подготовке статей, авторским правам, регистрации можно получить на веб-сайте журнала в разделе **Правила для авторов** (https://journals.nnc.kz/jour/about/submissions).

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

ОБРАЗЕЦ

Название статьи (на русском языке)

Таблица 1. Авторы (на русском языке)

Порядковый номер автора статьи	Фамилия	Имя полностью	Отчество полностью (если имеется)	Должность	Ученая степень	Телефон (без скобок, пробелов и дефисов)	Электронная почта	Номера организаций, которые представляет автор (из таблицы 2)
1	Иванов	Иван	Иванович	доцент	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Петров	Петр	Петрович	зав. лаб.	к.ф.-м.н.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на русском языке)

Порядковый номер организации	Наименование	Полный почтовый адрес (индекс, страна, город, улица, дом)	Официальный веб-сайт (если имеется)
1	Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева	010008, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2	www.enu.kz
2	Астанинский филиал Института ядерной физики МЭ РК	010008, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Абылай хана, 2/1	www.inp.kz

Название статьи (на казахском языке)

Таблица 1. Авторы (на казахском языке)

Мақала авторының реттік нөмірі	Тегі	Толық аты	Әкесінің толық аты (болса)	Лауазымы	Ғылыми дәрежесі	Телефоны (жақшасыз, бос орынсыз және дефиссіз)	Электрондық поштасы	Автор ұйымдарының нөмірлері (2-кестеден)
1	Иванов	Иван	Иванович	доцент	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Петров	Петр	Петрович	зертхана меңгерушісі	ф.-м.ғ.к.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на казахском языке)

Ұйымның реттік нөмірі	Атауы	Толық пошталық мекенжайы (индекс, ел, қала, көше, үй)	Ресми веб-сайт (болса)
1	Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті	010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ., Сәтпаев көшесі, 2	www.enu.kz
2	ҚР ЭМ Ядролық физика институтының Астана филиалы	010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ., Абылай хан даңғылы, 2/1	www.inp.kz

Название статьи (на английском языке)

Таблица 1. Авторы (на английском языке)

Order number of author's article	Surname	Full Name	Full Middle Name (if any)	Position	Academic degree	Telephone (free of brackets, gaps and hyphens)	E-mail	Numbers of organizations representing by author (from Table 2)
1	Ivanov	Ivan	Ivanovich	Associate professor	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Petrov	Peter	Petrovich	Chief of laboratory	Cand. of Phys. and Math. Sc.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на английском языке)

Order number of organization	Title	Full post address (zip code, country, city, street, house)	Official web-site (if any)
1	L.N. Eurasian National University	010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev st. 2	www.enu.kz
2	Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics ME RK	010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, ave. Abylai Khan, 2/1	www.inp.kz

Примечание: если информация отсутствует – оставляйте соответствующие ячейки таблицы пустыми.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. В.А. Витюк
тел. +7 (722-51) 3-33-35, E-mail: VITYUK@NNC.KZ

Технический редактор И.Г. Перепелкин
тел. +7 (722-51) 3-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б
https://journals.nnc.kz/jour

Свидетельство о постановке на учет №17039-Ж от 13.04.2018 г.
Выдано Комитетом информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б