



РАДОН
РОСАТОМ

ТЕЗИСЫ

ЧЕТВЁРТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ
ОТХОДАМИ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЦЕНТРОВ**



ЛУЖЕЦКИЙ
Алексей Владимирович

Генеральный директор
ФГУП «РАДОН»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ФГУП «РАДОН» «ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОБРАЩЕНИЕ С РАО НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ» ЯВЛЯЕТСЯ ПРЕЕМНИКОМ КОНФЕРЕНЦИЙ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ «ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ», КОТОРЫЕ ПРОВОДИЛИСЬ С 2006 ПО 2011 ГОДЫ. НАЧИНАЯ С 2019 ГОДА ОНИ ПРОВОДЯТСЯ ЕЖЕГОДНО, И ПРИНЯЛИ СТАТУС МЕЖДУНАРОДНЫХ.

В первой конференции в 2019 году приняли участие работники ФГУП «РАДОН» и приглашенные профессора. В 2020 году в мероприятии принимали участие предприятия атомной отрасли, вузов, НИИ, коллеги из 5 стран (Франции, США, Финляндии, Белоруссии, Узбекистана). В формате онлайн проводились дважды.

Цель конференции – представление и обсуждение новых результатов научных исследований и практических достижений в области разработки и усовершенствования способов переработки твердых и жидких радиоактивных отходов, реабилитации территорий, хранения и захоронения радиоактивных отходов, обеспечения безопасности хранилищ радиоактивных отходов, радиологического мониторинга и контроля, вывода из эксплуатации объектов ЯРОО, организации профессиональной

подготовки кадров в области ВЭ ЯРОО и обращения с РАО.

От почтового ящика №662 к крупному Федеральному государственному многофункциональному научно-производственному комплексу, обеспечивающему инженерно-техническое и научное решение вопросов радиационной безопасности населения Москвы, Подмосковья и Центрального региона России – такой закономерный, богатый событиями и именами людей, более чем 60-летний путь становления «РАДОНА».

За эти годы специалисты предприятия приобрели бесценный практический и научный опыт в области обращения с радиоактивными отходами. Высокая техническая оснащенность, передовые технологии и научный потенциал позволили сохранить совершенство выполняемых работ и развивать новые направления деятельности.

С первых лет своего существования «РАДОН» стал локомотивом развития науки обращения с радиоактивными отходами в СССР и РФ. Специалисты предприятия самостоятельно и в тесном взаимодействии с учеными ведущих организаций атомной отрасли разрабатывали на своей площадке новые методы и технологии обращения с РАО, создавали уникальные опытно-промышленные и промышленные технологические установки, стационарные и мобильные комплексы.

В научных подразделениях предприятия исследовались возможности использования технологий и процессов, конструкций и инженерных систем, не имеющих аналогов в мире. И сегодня работы, выполняемые специалистами предприятия, проводятся на соответствующем научно-техническом уровне.

Охрана окружающей среды и обращение с радиоактивными отходами научно-промышленных центров: Сборник тезисов Четвертой научно-практической конференции, 21-22 сентября 2022 г. / Под общей редакцией проф. Е.А. Ваниной; 2022 — 40 с.

В сборнике тезисов представлены тезисы докладов четвертой международной научно-практической конференции ФГУП «РАДОН» в области разработки и совершенствования способов переработки твердых и жидких радиоактивных отходов, реабилитации территорий, хранения радиоактивных отходов, обеспечения безопасности хранилищ радиоактивных отходов, радиологического мониторинга и контроля, вывода из эксплуатации.

Сборник предназначен для специалистов в области обращения с радиоактивными отходами и охраны окружающей среды.

Содержание

1. Башаричев А.В., Окунев И.С., Сиротюк В.Я., Голиков В.А. Паровой риформинг как метод утилизации жидких радиоактивных отходов	3
2. Богачёва Е.Г., Полянская О.Н., Яхрюшин В.Н., Каткова М.Н., Гордеев С.К. Объёмная активность ¹³¹ I в атмосферном воздухе Обнинска и Москвы	5
3. Бочкарев В.В., Бриллиантов Б.Д., Крянев А.В. Исследование на устойчивость рассматриваемых вариантов вывода из эксплуатации ЯРОО в условиях неопределённости исходных данных	7
4. Васенев И.И. Информационно-методическое обеспечение нормативного прогнозирования функционально-экологического качества почв по результатам экологического мониторинга в проектах реабилитации территорий	9
5. Горбачёва Н.В., Кузьмина Н.Д., Кулич Н.В., Яцко С.Н., Корчева Ю.А. Влияние климатических и гидрогеологических факторов на долговременную безопасность пункта захоронения радиоактивных отходов	12
6. Гордеев С.К., Пташкин А.Г., Светличный Ю.А., Чегонов Н.В., Чистовский Ю.В. Техногенные радионуклиды в приземном слое воздуха г. Москвы	14
7. Занора Ю.А., Соловская И.М. Вопросы обращения с промышленными отходами, содержащими техногенные радионуклиды на ФГУП «ПО «МАЯК»	16
8. Камаева Т.С., Кузнецова Н.М., Осташкина Е.Е., Савкин А.Е. Методическое сопровождение контроля соответствия показателям качества полимерного компаунда на основе радиоактивной отработавшей ИОС	18
9. Магомедбеков Э.П., Меркушкин А.О., Обручиков А.В., Покальчук В.С., Ванина Е.А. Текущие направления исследований в области контроля летучих радионуклидов на кафедре ХВЭИРЭ	20
10. Магомедбеков Э.П., Меркушкин А.О., Обручиков А.В., Покальчук В.С., Ванина Е.А. Определение температурной зависимости коэффициентов адсорбции инертных газов на активированных углях в статических условиях	22
11. Муратов О.Э. Проблемы обращения с облучённым графитом при выводе из эксплуатации уран-графитовых реакторов	25
12. Павлюк А.О., Беспала Е.В., Мышкин В.Ф., Кабанов Д.В., Ушаков И.А., Силаева К.Н. Подходы по оценке радиационной стойкости барьерных глиносодержащих материалов	28
13. Павлюк А.О., Беспала Е.В., Силаева Е.Н. Зарубежный опыт и подходы по демонтажу остановленных уран-графитовых реакторов	30
14. Петров В.Г., Кузьменкова Н.В., Рожкова А.К., Калмыков С.Н. Ускорительная масс-спектрометрия для задач радиоэкологического мониторинга	31
15. Росновская Н.А., Крышев А.И. Расчёт контрольных уровней содержания техногенных радионуклидов в воде Баренцева моря	33
16. Старовойтов Н.П., Казаков В.А., Абдулвагидов Р.Э., Дудкин В.А., Козлов П.В., Мирошниченко А.А., Кустов С.В. Результаты опытных операций по временному отключению системы охлаждения в ёмкостях-хранилищах радиоактивных суспензий	35
17. Ванина Е.А., Ильев А.А., Титков В.И. Анализ опыта применения технологии модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа	37
18. Тюпина Е.А., Прядко А.В. Получение сорбента для анионных форм радиоактивного йода на основе силикагеля, модифицированного хлоридом серебра с использованием хлорида железа (III)	40

ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ КАК МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Башаричев А.В.¹, Окунев И.С.¹, Сиротюк В.Я.¹, Голиков В.А.²

¹ Петербургский институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ),
г. Гатчина, Ленинградской обл., Россия

e-mail: nckb@pnpi.nrcki.ru

² ООО «Топливная Экологическая Компания» (ООО «ТЭК»), г. Санкт-Петербург

e-mail: tek68@list.ru

Аннотация

В докладе освещены вопросы возможностей применения технологий парового риформинга для ликвидации отходов 1-2 категории опасности (в том числе утилизации жидких радиационных отходов (ЖРО) и получения новой линейки сорбентов на основе стеклоуглерода зольного остатка для ликвидации радиоактивных и других химических загрязнений.

Ключевые слова

Сорбент, жидкие радиационные отходы, радиоактивность, стеклоуглерод, паровой риформинг.

STEAM REFORMING AS A METHOD OF DISPOSAL OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE

Basharichev A.V.¹, Okunev I.S.¹, Sirotyuk V.Ya.¹, Golikov V.A.²

¹ St. Petersburg Institute of Nuclear Physics
named after B.P. Konstantinov National Research Center «Kurchatov Institute»
(NRC «Kurchatov Institute» — PIAF)
Gatchina, Leningrad region, Russia

e-mail: nckb@pnpi.nrcki.ru

² LLC «Fuel Ecological Company» (LLC «ТЕК») St. Petersburg

e-mail: tek68@list.ru

Abstract

The report highlights the issues of the possibilities of using steam reforming technologies to eliminate waste of 1-2 hazard categories (including the disposal of liquid radiation waste (LRW) and the production of a new line of sorbents based on glass carbon ash residue for the elimination of radioactive and other chemical contaminants.

Key words

Sorbent, liquid radiation waste, radioactivity, glass carbon, steam reforming.

В соответствии с Федеральным законом от 11.07.2011 № 190 – ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» накопленные радиоактивные отходы, отнесенные к удаляемым радиоактивным отходам, должны быть извлечены, переработаны, кондиционированы и захоронены.

До 2030 года предстоит вывезти 83 тысячи отработавших топливных сборок и переработать 3 тысячи тонн отработанного ядерного топлива.

Планируется вывести из эксплуатации 82 ядерно и радиационно опасных объекта, законсервировать 7 промышленных уранграфитовых реакторов, реабилитировать 4,3 млн. кв. метров территории.

В НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ совместно с ООО «ТЭК» исследуется возможность применения технологии утилизации ЖРО, а также ионообменной смолы с использованием стеклоуглерода для сорбции радиоактивного загрязнения и возможностью конденсации на лигнине.

По методике парового риформинга ЖРО переводятся на углеродный сорбент, образующийся в результате водородного разложения лигнина.

Стеклоуглерод и углеродный зольный остаток с радиоактивностью возможно утилизировать по обычным методикам стеклования цементирования и битумирования с увеличением прочности компаунда за счет специфической структуры углеродной добавки

Отличительными особенностями предлагаемой технологии является использование микроволновой энергии для получения, перегретого пара, создание в реакторе зон сушки, карбонизации и конверсии с однородным по сечению распределением температуры.

В результате исследований по утилизации жидких токсичных отходов с использованием перегретого высокотемпературного пара получен твердый углеродистый остаток с содержанием металлов, в том числе драгоценных.

Данная технология показала свою эффективность при утилизации отходов 1-3 класса опасности, поэтому её возможно использовать и при утилизации ЖРО, после проведения дополнительных исследований и уточнения особенностей по применению.

Проведены испытания по утилизации ионообменных смол перегретым паром с результатом уменьшения массы обрабатываемых образцов.

Проведены исследования по применению зольного углеродного остатка (стеклоуглерода) для утилизации загрязненных радиоактивных отходов в качестве сорбента и оценки сорбционной способности стеклоуглерода отдельных радионуклидов из водных растворов с положительным результатом снижения удельной активности воды.

Вывод

Дальнейшее развитие и в перспективе промышленное применение предложенной технологии позволит значительно уменьшить образование опасных отходов на полигонах и шламохранилищах с уменьшением себестоимости переработки опасных отходов.

ОБЪЕМНАЯ АКТИВНОСТЬ ^{131}I В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ОБНИНСКА И МОСКВЫ

Богачева Е.Г.¹, Полянская О.Н.¹, Яхрюшин В.Н.¹, Каткова М.Н.¹, Гордеев С.К.²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»),
г. Обнинск, Россия

e-mail: bogacheva@rpatyphoon.ru

² Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды»
(ФГУП «РАДОН»), г. Москва, Россия

Аннотация

В рамках программ радиационного мониторинга ФГУП «РАДОН» и ФГБУ «НПО «Тайфун» были определены активности ^{131}I в пробах аэрозолей приземного слоя атмосферы на территории г. Обнинска и Московского региона в январе-феврале 2022 года. Зарегистрированные значения объемной активности аэрозольной фракции ^{131}I в Москве находились в пределах от $1,0 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ до $1,1 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Объемная активность в Обнинске в молекулярной форме ^{131}I варьировалась от $1,6 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ до $9,0 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, в аэрозольной ^{131}I – от $1,2 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ до $2,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Объемная активность ^{131}I была на три-пять порядков ниже установленных нормативов НРБ-99/2009. Наиболее вероятный источник появления ^{131}I в атмосфере Обнинска – выбросы АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова». Источником поступления ^{131}I в атмосферу Москвы могут являться как производства радиофармпрепаратов, так и предприятия ядерно-топливного цикла, расположенные на территории Московской области.

Ключевые слова

Иод-131, радиационный мониторинг, аэрозоли, приземный слой атмосферы, Обнинск, Москва, сеть наблюдения.

AIRBORNE ^{131}I IN THE ATMOSPHERE OF OBNINSK AND MOSCOW

Bogacheva E.G.¹, Polyanskaya O.N.¹, Yakhryushin V.N.¹, Katkova M.N.¹, Gorgeev S.K.¹

¹ Federal State Budgetary Institution “Research and Production Association “Typhoon” (“RPA “Typhoon”),
Obninsk, Russia

e-mail: bogacheva@rpatyphoon.ru

² Federal State Unitary Enterprise RADON (FSUE RADON), Moscow, Russia

Abstract

As a part of the FSUE “RADON” and RPA “Typhoon” radiation monitoring programs, volume activity of ^{131}I in samples of atmospheric aerosols were determined in atmospheric boundary layer at Obninsk and the Moscow region in January-February 2022. Detected activity concentration of the aerosol fraction ^{131}I in Moscow ranged from $1.0 \cdot 10^{-5}$ to $1.1 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³. The volume activity in Obninsk in the molecular form of ^{131}I varied from $1.6 \cdot 10^{-5}$ to $9.0 \cdot 10^{-3}$ Bq/m³, in aerosol ^{131}I – from $1.2 \cdot 10^{-5}$ to $2.8 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³. The volume activities of ^{131}I were three to five orders of magnitude lower than the established NRB-99/2009 standards. The potential source of ^{131}I in the atmosphere of Obninsk may be associated with the emissions of Karpov Institute of Physical Chemistry (NIFKhI). The radiopharmaceuticals facilities and nuclear fuel cycle enterprises located on the territory of the Moscow region may represent a potential source of ^{131}I emission.

Key words

Iodine-131, radiation monitoring, aerosols, atmospheric boundary layer, Obninsk, Moscow, surveillance network.



На территории Калужской и Московской областей расположены предприятия ядерно-топливного цикла: 20 радиационно-опасных объектов находятся непосредственно в Москве, 6 – в Московской, 2 – в Калужской областях [1]. Известно, что при эксплуатации исследовательских ядерных реакторов в атмосферу могут поступать радиоизотопы йода. ФГУП «РАДОН» и ФГБУ «НПО «Тайфун» проводят многолетний мониторинг радиационной обстановки Москвы, Московской области и Обнинска.

В настоящее время ФГУП «РАДОН» проводит мониторинг радиоактивных аэрозолей приземного слоя атмосферы г. Москвы и Московской области на восьми стационарных постах радиационного контроля (СПРК). Экспозиция отбора проб составляет 7 суток. Для улавливания аэрозольной фракции ^{131}I применяется ткань Петрянова ФПП-15-1,5. Из восьми СПРК ФГБУ «РАДОН» ближайшим к Обнинску (южное и юго-западное направление со стороны Москвы) является СПРК-16, расположенный в Троицке. Пункт наблюдения в Обнинске расположен на метеорологической площадке в центре города (101 км к юго-западу от МКАД по Киевскому шоссе). Отбор осуществляется с суточной экспозицией (кроме выходных дней, когда замена фильтров не проводится) с применением фильтрующего материала ФПП-15-1,5. В Обнинске дополнительно используются сорбционные фильтры СФМ-2И-ПС для улавливания молекулярной фракции ^{131}I [2].

В рамках доклада рассматриваются данные постов за январь и февраль 2022 года, приводится сравнительная оценка результатов мониторинга. В целом, измерения показывают, что активность ^{131}I в Обнинске на один-два порядка выше, чем в Москве. Зафиксированные значения объемной активности ^{131}I были на три-пять порядков ниже допустимой среднегодовой объемной активности ^{131}I для населения в соответствии с НРБ-99/2009 [3].

Вероятным источником поступления ^{131}I в атмосферу г. Обнинска и его окрестностей является производство радиофармпрепаратов АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» [2]. По рассматриваемым в докладе данным, источником поступления ^{131}I в атмосферу города Москвы могут быть радиационно-опасные объекты, расположенные как на территории Москвы, так и на территории Московской и Калужской областей.

Список литературы

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году. Ежегодник // Редакционная коллегия: Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Крышев И.И., Вакуловский С.М., Каткова М.Н., Крышев А.И. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. — 330 с.
2. Многолетние наблюдения за содержанием ^{131}I в приземном слое атмосферы г. Обнинска Калужской области. Агеева Н.В., Ким В.М., Васильева К.И., Каткова М.Н., Волокитин А.А., Полянская О.Н. Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2015. Т. 24. № 1. С. 96-107.
3. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАССМАТРИВАЕМЫХ ВАРИАНТОВ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Бочкарев В.В.^{1,2}, Бриллиантов Б.Д.^{1,2}, Крянев А.В.²

¹ Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ), г. Москва

e-mail: secnrs@secnrs.ru

² Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ), г. Москва

e-mail: info@mephi.ru

Аннотация

В докладе приведена одна из возможных схем и алгоритм исследования на устойчивость рассматриваемых вариантов ВЭ ЯРОО в условиях неопределенности исходных данных КИРО, которые порождают неопределенности значений частных показателей для выбираемых вариантов. Выбор варианта ВЭ ЯРОО производится на основе комплексного показателя, объединяющего в виде линейной суперпозиции частные показатели для каждого рассматриваемого варианта ВЭ путем многократной реализации с помощью метода Монте-Карло их значений для каждого рассматриваемого варианта ВЭ.

Ключевые слова

Ядерно-радиационный опасный объект (ЯРОО), вывод из эксплуатации (ВЭ), комплексное инженерное радиационное обследование (КИРО), радиоактивные вещества (РВ), радиоактивные отходы (РАО), технологические операции, частные показатели, комплексный показатель, среднеквадратическое отклонение (СКО), метод Монте-Карло, устойчивость рассматриваемого варианта ВЭ.

STABILITY STUDY OF THE CONSIDERED OPTIONS FOR THE DECOMMISSIONING OF NRHF UNDER CONDITIONS OF INITIAL DATA UNCERTAINTY

Bochkarev V.V.^{1,2}, Brilliantov B.D.^{1,2}, Kryanov A.V.²

¹ Scientific and Engineering Center for Nuclear and Radiation Safety (SEC NRS), Moscow

e-mail: secnrs@secnrs.ru

² National Research Nuclear University (Mephi), Moscow

e-mail: info@mephi.ru

Abstract

The report presents one of the possible schemes and an algorithm for studying the stability of the considered options for the decommissioning of the NRHF under the uncertainty of the initial data of the IERS, which generate uncertainties in the values of partial indicators for the selected options. The choice of the NRHF decommissioning option is made on the basis of a complex indicator that combines, in the form of a linear superposition, partial indicators for each considered decommissioning option by repeatedly implementing their values for each considered decommissioning option using the Monte Carlo method.

Key words

Nuclear and radiation hazardous facility (NRHF), decommissioning (DE), integrated engineering radiation survey (IERS), radioactive substances (RS), radioactive waste (RW), technological operations, partial indicators, complex indicator, standard deviation (RMS), Monte Carlo method, stability of the considered DE option.



В докладе представлена схема исследования устойчивости рассматриваемого варианта ВЭ ЯРОО. Согласно этой схеме для расчета частных показателей каждого варианта ВЭ ЯРОО необходимо знать физические характеристики конструкций и систем, образующих выводимый из эксплуатации объект, на основе которых рассчитываются частные показатели, взят следующий их набор: 1) стоимость работ (СР); 2) длительность работ (ДР); 3) дозовая нагрузка на персонал (ДНП); 4) воздействие на окружающую среду (ДНО) (ВС — объемы выбросов и сбросов РВ); 5) дозовые нагрузки на население (ДНН).

Для каждой конструкции ВЭ ЯРОО с несколькими возможными технологическими операциями ($i=1, \dots, n$), подсчитывается комплексный показатель K_i (формула (1)) приоритета по ВЭ с технологической операции i :

$$K_i = \alpha_1 \text{СР}_{\text{Hi}} + \alpha_2 \text{ДЛ}_{\text{Hi}} + \alpha_3 \text{ДНП}_{\text{Hi}} + \alpha_4 \text{ВС}_{\text{Hi}} + \alpha_5 \text{ДНН}_{\text{Hi}} \quad (1)$$

где $\alpha_j, j=1,5$ – введенные (принятые) коэффициенты приоритета частных показателей $0 \leq \alpha_j \leq 1, \sum_{j=1}^5 \alpha_j = 1$, $\text{СР}_{\text{Hi}}, \text{ДЛ}_{\text{Hi}}, \text{ДНП}_{\text{Hi}}, \text{ВС}_{\text{Hi}}, \text{ДНН}_{\text{Hi}}$ – нормированные значения частных показателей

Чем больше значение комплексного показателя, тем рассматриваемый вариант предпочтителен по сравнению с другими.

Влияние степени неопределенности показателей операций и, как следствие, неопределенности частных показателей для выводимого из эксплуатации ЯРОО учитывается с помощью схемы, согласно которой аналогично формуле (1) подсчитывается нормированное значения среднеквадратического отклонения комплексного показателя.

$$K_{i\sigma} = \alpha_1 \text{СР}_{\text{Hi}\sigma} + \alpha_2 \text{ДЛ}_{\text{Hi}\sigma} + \alpha_3 \text{ДНП}_{\text{Hi}\sigma} + \alpha_4 \text{ДНО}_{\text{Hi}\sigma} + \alpha_5 \text{ДНН}_{\text{Hi}\sigma} \quad (2)$$

где α_j – прежние (смотри (1)).

Подсчитываются значение интегральных комплексных показателей (формула (3)) технологического процесса с учетом неопределенности

$$K_{i \text{ int}} = (1 - \beta)K_i + \beta K_{i\sigma}, \quad (3)$$

где $\beta \in [0,1]$ – коэффициент значимости учета неопределенности значения комплексного показателя K_i .

Технологический процесс с номером $i^* = \max \{K_{i \text{ int}}, i=1, \dots, n\}$ выбирается как оптимальный и подлежащий реализации.

Аналогично проверяется устойчивость относительно других показателей.

Вышеприведенная схема определения оптимальных вариантов выбора технологических операций применяется для всех конструкций выводимого из эксплуатации ЯРОО.

Список литературы

1. НП-091-14 «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения».
2. Емец П.Е., Ковалевич О.М., Крянев А.В., Неретин В.А., Шарафутдинов Р.Б. Системный подход при финансировании мероприятий по выводу из эксплуатации ЯРОО, классифицируемых в зависимости от категории их ЯРО. Препринт МИФИ 005-2007. М.: МИФИ, 2007, 23 с.
3. Абакумова А.С., Бочкарев В.В., Крянев А.В. Обоснование выбора варианта вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, Ядерная и радиационная безопасность, № 3(87), 2018.
4. В. В. Бочкарев, Б. Д. Бриллиантов, А. В. Крянев, А. А. Бацулин, С. Г. Климанов, О. Ю. Литвиненко, Д. В. Мамай, Д. Е. Слива, Д. С. Смирнов, П. А. Стряпушкин, В. И. Терешкин, Д. Т. Ханбикова. Структура системы поддержки принятия оптимальных решений при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Вестник НИЯУ МИФИ, т. 9, №4, 2020.
5. Бочкарев В.В., Бриллиантов Б.Д., Климанов С.Г., Крянев А.В., Смирнов Д.С. Обоснование оптимальных технических и организационных решений при выводе из эксплуатации ОИАЭ с учетом обеспечения ЯРБ, Радиоактивные отходы, вып. 4, с. 60-64, 2021.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРОЕКТАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ

Васенев И.И.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), г. Москва

e-mail: vasenev@rgau-msha.ru

Аннотация В докладе приведены отличительные особенности функционально-экологического анализа антропогеннозагрязненных и деградированных почв, базовый алгоритм и сводная таблица прикладной интерпретации данных их факторной оценки. Они могут служить основой информационно-методического обеспечения нормативного прогнозирования функционально-экологического качества природно-антропогенных почв по результатам производственного экологического контроля и экологического мониторинга в проектах реабилитации территорий. Приведены примеры их использования в программе РАСКАЗ при анализе и моделировании устойчивости к загрязнению и функционально-экологического состояния почв с различными вариантами техногенного воздействия в условиях Курска. Обсуждается опыт ее применения в разных регионах России и на зарубежных объектах, перспективы для дальнейшего развития и регионально-отраслевой детализации в РФ.

Ключевые слова Экологические функции почв, функционально-экологическая оценка почв, экологический мониторинг, лимитирующие экологические факторы, проекты реабилитации территории, нормативное прогнозирование.

INFORMATION-METHODOLOGICAL SUPPORT OF NORMATIVE FORECASTING OF FUNCTIONAL- ECOLOGICAL QUALITY OF SOILS BASED ON THE RESULTS OF ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE TERRITORIES REHABILITATION PROJECTS

Vasenev I.I.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU-MTAA), Moscow, Russia

e-mail: vasenev@rgau-msha.ru

Abstract The report presents main features of the functional-ecological analysis of anthropogenic polluted and degraded soils, a basic algorithm and a summary table of the applied interpretation of the data of their factor assessment. They can serve as the basis for information-methodological support of normative forecasting of the functional-ecological quality of natural and anthropogenic soils based on the results of industrial environmental control and environmental monitoring in projects of rehabilitation of territories. Examples of their use in the RASKAZ program in the analysis and modeling of resistance to pollution and the functional-ecological state of soils with various variants of technogenic impacts in the conditions of Kursk are given. The experience of its application in different regions of Russia and at foreign facilities, prospects for future development and regional-sectoral detailing in Russia are discussed.

Key words Ecological functions of soils, functional-ecological assessment of soils, environmental monitoring, limiting ecological factors, rehabilitation projects of the territory, normative forecasting.



Для последних десятилетий характерен растущий дефицит качественных земельных ресурсов с почвами, полноценно выполняющими основные экологические функции. В условиях ускоренного роста и повышения комплексности прямого и косвенного антропогенного воздействия на почвы, широко распространенного качественного изменения последствий многолетнего накопления предыдущих воздействий, быстрого развития методов инструментального контроля и мониторинга за основными диагностическими показателями почв растет спрос на автоматизированные системы оперативного контроля и управления их функционально-экологическим состоянием с элементами нормативного прогнозирования для снижения экологических рисков землепользования при минимально необходимых и достаточных затратах.

Продолжающееся развитие отечественной нормативной базы экологической оценки почв, постепенная гармонизация ее с международными нормативами ISO, растущее понимание необходимости разработки субстантивной дифференциации и районирования нормативов по целому ряду наиболее распространенных загрязнителей (прежде всего – тяжелых металлов и нефтепродуктов), существенные различия поведения загрязнителей при разных вариантах землепользования, земледелия и наборах выращиваемых культур актуализирует разработку, развитие и предметно-целевую локализацию рамочных автоматизированных систем комплексного анализа функционально-экологического (агроэкологического) состояния почв и земель, поэтапно настраиваемых на условия конкретного региона и земельного участка.

Примером такой системы является Региональная автоматизированная система комплексной агроэкологической оценки земель (РАСКАЗ), оперативная настраиваемая на решение различных задач по оценке текущего и прогнозируемого состояния почв и земель, с выявлением иерархии лимитирующих экологических факторов и их основных диагностических параметров – для определения рациональной стратегии улучшения проблемной экологической ситуации и расчета наиболее эффективных (минимально необходимых и достаточных) мер по ее реализации.

Отличительной особенностью функционально-экологического анализа почв является сопряженная оценка их экологического состояния и функционального качества. В нашей системе оценки это достигается определением текущего фазового состояния объекта исследования на кривой или поверхности отклика включенной в анализ функции почв (настроенной на конкретный провинциально-генетический тип-подтип почв или земель) от ее основных диагностических параметров.

Сводный алгоритм комплексной оценки функционально-экологического качества/состояния антропогенно измененных почв (земель) включает базовые алгоритмы трех основных этапов оценки:

- алгоритмы частной оценки функционального качества и экологического состояния почв/земель – по отдельным фазовым переменным (диагностическим параметрам);
- алгоритмы функциональной (факторной) оценки качества почв и земель – по их функционально-диагностическим группам параметров, результатам моделирования или анализа педотрансферных функций;
- алгоритмы интегральной оценки функционально-экологического качества почв и земель – на уровне элементарного почвенного ареала и элементарной структурной единицы ландшафта, состоящей из таксономически разнородных компонентов.

Накопленный опыт работы с РАСКАЗ показал первоочередное влияние на эффективность ее работы, в качестве аналитического инструмента для выявления приоритетных мер по сохранению основных хозяйственных и экологических функций земель, пяти следующих принципиальных элементов оценки:

- целевого определения набора анализируемых функциональных (технологических) и экологических качеств почв и земель – ограниченного рамками поставленной задачи;
- использования обоснованно достаточного, но не избыточного набора реально доступных основных диагностических показателей (ОДП) почв и земель;
- выбора рациональных (достаточно, но не избыточно информативных) шкал конечной квантификации-ранжирования используемых ОДП;
- настройки эффективного алгоритма анализа модели – с установлением обоснованных зависимостей анализируемых качественных свойств почвы от отдельных почвенных характеристик, метода интегрирования и интерпретации данных;
- принятия во внимание закономерностей провинциально-генетического разнообразия почв, пространственного варьирования почвенных характеристик и особенностей почвенного покрова – соответствующих масштабу и детализации объекта.

При решении конкретных оценочно-аналитических и прогнозно-конструктивных задач набор анализируемых экологических функций (факторов) и соответствующих им диагностических параметров оценки настраивается в соответствии с задаваемыми условиями.

При этом один и тот же параметр может использоваться для оценки разных функций, и ранги оценки одного параметра – зависят от значений других параметров, что наиболее широко применяется при оценке по ОДК валового содержания тяжелых металлов в почве – в зависимости от ее гранулометрического состава и кислотности.

В рамочном варианте РАСКАЗ в качестве базового алгоритма факторной оценки функционально-экологического качества почв и земель используется формула расчета среднегармонических значений. Она позволяет максимально учитывать лимитирующее влияние параметров, находящихся в первом и втором минимуме, которые обычно и определяют текущее функционально-экологическое состояние земель.

В случае городских почв наибольшую обеспокоенность, как правило, вызывают экологические функции (факторы) санитарно-экологического состояния и устойчивости к загрязнению, на которые обращается особое внимание при оценке воздействия на окружающую среду градостроительных проектов и проектов реабилитации территорий.

При анализе и моделировании фактора устойчивости к загрязнению в качестве относительно легко регулируемых параметров первого уровня лимитирования часто выступают реакция среды и плотность сложения. Значительно сложнее повышать содержание гумуса и емкость почвенного поглощающего комплекса – особенно в почвах легкого гранулометрического состава (пески-супеси), широко распространенных на рекультивированных территориях с использованием торфо-песчаных почво-грунтов.

Среди других почвенных функций наиболее важное и лимитирующее значение, как правило, имеют морфогенетический фактор потребности в мелиорации, физический фактор условий обработки и химический фактор биопродуктивности. В качестве параметров первого лимита часто выступают эродированность, техногенное переуплотнение почв и низкая емкость поглощения почв легкого гранулометрического состава, кардинальное улучшение которых требует проведения дорогостоящих мероприятий.

Эффективность их проведения в значительной мере определяется следующим по порядку уровнем лимитирования, что необходимо учитывать при функционально-экологическом обосновании параметров проведения соответствующих мероприятий в проектах комплексной реабилитации загрязненных и/или деградированных территорий.

Применение данной системы оценки при анализе техногенно загрязненных огородных земель в микрорайоне Кожзавода и старых очистных сооружений Курска позволило почти в 10 раз сократить общую площадь первично намечаемого вывода земель из хозяйственного оборота – за счет детального учета сильной пространственной дифференциации загрязнения почв хромом и устойчивости почв к этому загрязнению.

В 2010 году на ее основе была проведена функционально-экологическая типизация земель орошаемых массивов в Намибии и реабилитируемых земель старых нефтепромыслов на Апшеронском полуострове. В 2015-2021 годах она использовалась для агроэкологической типизации проблемных участков дерново-подзолистых, серых лесных почв и черноземов с повышенным уровнем неоднородности почвенного покрова ООПТ, городских земель и сельскохозяйственных территорий. В 2015 году эта система функционально-экологической оценки почв была одобрена Международным союзом наук о почве, в 2021 году она вошла в руководство ФАО по устойчивому использованию почвенных ресурсов в Евразийском регионе и имеет хорошие перспективы для дальнейшего развития и регионально-отраслевой детализации в России.



ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДОЛГОВРЕМЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ПУНКТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Горбачева Н.В.¹, Кузьмина Н.Д.², Кулич Н.В., Яцко С.Н., Корчева Ю.А.

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

¹ email: harbachova.nv@gmail.com;

² ndkuzmina@sosny.bas-net.by

Аннотация

В работе показана эффективность методов математической теории информации для идентификации закона распределения, позволяющих наиболее адекватно аппроксимировать малую выборку измерений метеопараметров. По результатам анализов определен закон Вейбулла, с использованием которого получен прогноз годовых экстремальных осадков для района размещения пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). Расчетные исследования показали, что в наибольшей степени (по сравнению с суммарными годовыми атмосферными осадками) на защищенность грунтовых вод от радиоактивного воздействия и долговременную безопасность оказывают сорбционные свойства и проницаемость пород, слагающих зону аэрации.

Ключевые слова

Приповерхностные хранилища РАО, долговременная безопасность, защищенность грунтовых вод, атмосферные осадки, информационный подход, время транзита загрязнителя, зона влияния.

INFLUENCE OF CLIMATIC AND HYDROGEOLOGICAL FACTORS ON THE LONG-TERM SAFETY OF THE RADIOACTIVE WASTES DISPOSAL FACILITY

Harbachova N.V.¹, Kuzmina N.D.², Kulich N.V., Yatsko S.N., Korchova J.A.

The state scientific institution
«The Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny» of NAS of Belarus,
Minsk, Belarus

¹ e-mail: harbachova.nv@gmail.com;

² e-mail: ndkuzmina@sosny.bas-net.by

Abstract

Information theory method effectiveness for identifying the distribution law, which makes it possible to most adequately approximate a small sample of the meteorological parameters data, is shown in the work. The Weibull theoretical law was identify for extreme annual precipitation assessment for a region of radioactive waste disposal sites obtained in this paper. Numerical analyses of the influence zones were performed for two sites differing in hydrogeological conditions at the stage of long-term storage of radioactive wastes.

Key words

Near-surface radioactive wastes disposal, long-term safety, groundwater protection, precipitation, contaminant transit time, influence zone.

С целью выявления влияния климатических условий на долговременную безопасность ПЗРО на основании данных по максимальным годовым осадкам выполнен прогноз экстремальных годовых осадков, характер изменения которых по современным данным для Республики Беларусь указывает на нарастание экстремальности с увеличением максимальных годовых сумм осадков до 30% [1]. Рассмотрены площадки для размещения радиоактивных отходов (РАО) на захоронение, находящиеся в близких климатических регионах, но существенно отличающиеся строением и геофильтрационными свойствами защитных зон. Площадка размещения спецпредприятия по обращению с радиоактивными отходами УП «Экорес» (далее – УП «Экорес») находится вблизи города Минска. Площадка (перспективная) для размещения ПЗРО Белорусской АЭС располагается в Гродненской области на расстоянии 1,2 км в северном направлении от площадки Белорусской АЭС.

В работе показана эффективность методов математической теории информации для идентификации закона распределения, позволяющего наиболее адекватно аппроксимировать малую выборку измерений метеопараметров и получить более надежный прогноз долговременной безопасности за счет снижения степени неопределенности прогнозов экстремальных осадков [2]. В качестве информационной меры выборки использован энтропийный коэффициент (K_s). Близость энтропийного коэффициента ($K_s = 1,5$) анализируемой выборки максимальных годовых осадков за период наблюдений периода с 1981 по 2010 годы к энтропийному коэффициенту, полученному при ее аппроксимации законом Вейбулла – Гнеденко ($K_s = 1,71$), послужила основанием для использования данного закона при проведении анализа чувствительности зон влияния к прогнозным величинам экстремальных осадков. Оцененные значения годовых осадков с обеспеченностями 0,01 и 0,001% составили величину соответственно 1183 и 1275 мм/год, а превышение над среднегодовыми максимальными осадками, равными, по оценкам, 747 мм/год – не менее 35%. Оценки скорости инфильтрации влаги для указанных обеспеченностей атмосферных осадков составляют соответственно 355 и 382 мм/год.

Проведены расчеты зон влияния площадки УП «Экорес» и перспективной площадки ПЗРО Белорусской АЭС. В качестве расчетной модели переноса радиоактивного загрязнения от источника через зону аэрации в грунтовые воды, а также в направлении потока грунтовых вод к местам водопользования, использовалась обобщенная многокамерная модель перемешанной ячейки и разработанная на ее основе компьютерная программа MULTIBOX (Свидетельство о регистрации в Национальном центре интеллектуальной собственности от 15.12.2010 № 265). Показано, что на долгосрочном этапе (через 500 лет после аварийного события с полным разрушением защитных барьеров ПЗРО) эффективная годовая доза от потребления питьевой воды, загрязненной радионуклидом ^{14}C , для условий площадки УП «Экорес» превысит граничную годовую дозу 0,3 мЗв на расстоянии 2000 м [3]. Наличие слабопроницаемых пород в структуре зоны аэрации перспективной площадки ПЗРО Белорусской АЭС при сравнительно неглубоком залегании грунтовых вод обеспечивает локализацию зоны влияния в пределах 1000 м в направлении к реке Вилия. Сравнительный анализ чувствительности зон влияния к величине скорости инфильтрации загрязненной влаги показал, что в наибольшей степени (по сравнению с суммарными годовыми атмосферными осадками) на долговременную безопасность оказывают сорбционные свойства и проницаемость пород, слагающих зону аэрации.

Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» на 2021–2025 годы (НИР 3.1.02.7).

Список литературы

1. Данилович, И.С. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси / И.С. Данилович, В.Ф. Логинов // Центральназиатский журнал географических исследований. – 2021. – № 1–2. – С. 35–48.
2. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
3. Influence of Natural and Climatic Factors on Water Horizons Protection Degree in Site Evaluation for Radioactive Waste Disposal / N.V. Harbachova, [etc.] // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – 2021. – Vol. 24. – № 3. – P. 203–212.



ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА Г. МОСКВЫ

Гордеев С.К., Пташкин А.Г., Светличный Ю.А., Чегонов Н.В., Чистовский Ю.В.

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр
по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды «РАДОН»,
г. Москва, Россия

e-mail: info@radon.ru

Аннотация

В докладе приводятся результаты анализа техногенных радионуклидов (^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$), а также Σ_{β} в приземном слое воздуха Москвы в 2021 году, оцениваются коэффициенты вторичного пылевого подъема (ресуспензии). Сравниваются результаты определения объемной активности (Σ_{β} , ^{137}Cs , ^{90}Sr) в 2020 году на метеостанции «Подмосковная» и в ЦФО РФ с результатами, полученными в Москве в 2021 году.

Ключевые слова

Объемная активность техногенных радионуклидов, приземный слой атмосферы, стационарный пост радиационного контроля, коэффициент вторичного пылевого подъема.

TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN THE SURFACE AIR LAYER OF MOSCOW

Gordeev S.K., Ptashkin A.G., Svetlichnyy Y.A., Chegonov N.V., Chistovsky Y.V.

Federal State Unitary Enterprise
«United Ecological and Technological Research Center
for Radioactive Waste Treatment and Environmental Protection»,
Moscow, Russia

e-mail: info@radon.ru

Abstract

The report provides the results of analysis of technogenic radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$), as well as Σ_{β} in the surface air layer of Moscow in 2021. The resuspension coefficients for these radionuclides are estimated. Volumetric activity of radionuclides (Σ_{β} , ^{137}Cs , ^{90}Sr) at the «Podmoscovnaia» meteorological station and in the Central Federal District of the Russian Federation in 2020 are compared with the results obtained in Moscow in 2021.

Key words

Volumetric activity of technogenic radionuclides, surface air layer, stationary radiation monitoring post,

resuspension coefficient.

Загрязнение окружающей среды техногенными радионуклидами на территории Москвы происходило в 1954 – 1980 годах в период испытаний ядерного оружия в атмосфере, в 1986 г. и 2011 г. вследствие аварий на Чернобыльской и Фукусимской АЭС, а также функционирования 20 радиационно-опасных объектов на территории города и 6 в Московской области. Основным радионуклидом, формирующим техногенный радиационный фон, является Cs-137. Так же, вклад в техногенный радиационный фон вносят такие техногенные радионуклиды, как Sr-90 и Pu-239,240.

Наблюдения за содержанием радионуклидов в приземном слое атмосферы в 2021 году проводились на 8 стационарных постах радиационного контроля (СПРК), расположенных в различных городских зонах:

- 3 СПРК в лесопарковой зоне;
- 3 СПРК в промышленной зоне;
- 2 СПРК в зоне административно-жилой застройки.

Отбор образцов аэрозолей воздуха, осуществлялся с помощью фильтра ФПП-15-1,5, установленного на специальный воздухозаборник воздухофильтрующей установки «Тайфун-4». Фильтры, с осевшими на него частичками аэрозолей, спрессовывались в таблетки и направлялись на проведение радиометрического, гамма-спектрометрического и радиохимического анализов радиоактивных аэрозолей, осажденных на фильтрах ФПП-15-1,5. С помощью полученных данных о радиоактивном загрязнении воздуха и почвы были получены коэффициенты вторичного пылеподъема. Исходя из полученных коэффициентов, была проведена оценка загрязнения воздуха техногенными радионуклидами при отсутствии прямых измерений объемных активностей.

В рамках доклада представлены данные полученные на СПРК расположенных на территории города Москвы, а так же дана оценка объемной активности техногенных радионуклидов в аэрозолях воздуха в 2021 году на территории города Москвы.

Список литературы

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году. Ежегодник. – Обнинск: НПО «Тайфун», 2021.
2. Нормы радиационной безопасности НРБ – 99/2009.
3. Контрольные уровни обеспечения радиэкологической безопасности населения г. Москвы. – Москва, 2008 г.



ВОПРОСЫ ОБРАЩЕНИЯ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ НА ФГУП «ПО «МАЯК»

Zanora Yu.A., Solovskaya I.M.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение «Маяк»,
г. Озёрск, Челябинская область, Россия

e-mail: IAZanora@po-mayak.ru

Аннотация

В докладе рассматриваются правовые аспекты и аспекты безопасности обращения с промышленными отходами, содержащими техногенные радионуклиды, в рамках действующих в Российской Федерации системы обращения с отходами производства и потребления и системы обращения с радиоактивными отходами. Показано, что с правовой точки зрения данные отходы не являются радиоактивными отходами и в настоящее время идет проработка необходимой организационно-правовой и технической инфраструктуры для обращения с ними.

Ключевые слова

Радиоактивные отходы, отходы производства и потребления, техногенные радионуклиды, обращение с отходами, радиационное воздействие.

ISSUES OF INDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT CONTAINING TECHNOGENIC RADIONUCLIDES AT FSUE «MAYAK» PA»

Zanora Yu.A., Solovskaya I.M.

Federal State Unitary Enterprise «Mayak Production Association», Ozersk, Chelyabinsk region, Russia

e-mail: IAZanora@po-mayak.ru

Abstract:

The report examines the legal aspects and safety aspects of handling industrial waste containing technogenic radionuclides within the framework of the production and consumption waste management systems and radioactive waste management systems operating in the Russian Federation. It is shown that from a legal point of view, these wastes are not radioactive waste and the necessary organizational, legal and technical infrastructure for handling them is currently being worked out.

Key words

Radioactive waste, production and consumption waste, technogenic radionuclides, waste management, radiation exposure.

В настоящее время в Российской Федерации имеет место разделение промышленных отходов на два основных непересекающихся класса: отходы производства и потребления (далее – ОПП) и радиоактивные отходы (далее – РАО). Обращение с ОПП регулируется Федеральным законом от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [1] (далее – 89-ФЗ). Обращение с РАО регулируется Федеральным законом от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2] (далее – 190-ФЗ). Однако на практике существует еще один класс промышленных отходов, который не попадает под действие указанных нормативных актов – это так называемые промышленные отходы с повышенным содержанием радионуклидов (далее – ПОПСР). ПОПСР образуются в результате производственной деятельности хозяйствующих субъектов в ряде отраслей промышленности, в том числе, эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. В организациях Госкорпорации «Росатом» в период до 2025 г. планируется образование до 123 000 м³ ПОПСР. В связи с подготовкой и выводом из эксплуатации блоков АЭС, объектов ядерного топливного цикла в период до 2030 года и далее объемы ПОПСР будут только нарастать. ПОПСР в настоящее время не входят ни в систему нормирования обеспечения безопасности на объектах использования атомной энергии, ни в систему обращения с отходами производства и потребления.

На ФГУП «ПО «Маяк» в настоящее время проблема обращения с ПОПСР является достаточно актуальной, поскольку возможно образование лома и отходов металлов, которые содержат радионуклиды, но при этом не относятся к РАО. Согласно требованиям СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения» производственные отходы с эффективной удельной активностью природных радионуклидов до 1500 Бк/кг могут направляться для захоронения в места захоронения промышленных отходов без ограничений по радиационному фактору. Производственные отходы II категории с эффективной удельной активностью природных радионуклидов свыше 1500 до 10000 Бк/кг могут направляться для захоронения на специально выделенные участки в места захоронения ОПП. Однако требования к специально выделенным участкам в местах захоронения ОПП по ситуации на 2021 год не установлены.

Лом и отходы металлов, содержащие радионуклиды, подлежат передаче другим хозяйствующим субъектам на обработку и (или) утилизацию, в том числе путем переплавки, что может привести к концентрированию радионуклидов и образованию РАО на непредназначенных для этого площадках, что однозначно является серьезной проблемой.

В отношении захоронения ОПП есть еще одно важное ограничение, которое отсутствует для РАО. В соответствии с 89-ФЗ [1] захоронение отходов, в состав которых входят полезные компоненты, подлежащие утилизации, запрещается. С 01.01.2018 г. вступило в силу распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.07.2017 г. № 1589-р [3], согласно которому в настоящее время запрещены к захоронению 109 наименований видов ОПП, включая отходы бумаги и картона, лом и отходы металлов, стеклобой, отходы пленки полиэтилена и др. С 2021 г. этот перечень расширится до 182 наименований видов отходов. Следовательно, перед захоронением необходимо обеспечить раздельный сбор, обработку, утилизацию, обезвреживание отходов.

Важным аспектом обращения с ПОПСР является наличие разрешительной документации на эти отходы. Получить разрешительную документацию на обращение с отходами (лицензии, проекты нормативов образования отходов и лимитов на их размещение) возможно, только если они включены в Федеральный классификационный каталог отходов (далее – ФККО). К настоящему времени в ФККО присутствуют лишь некоторые ОПП с повышенным содержанием природных радионуклидов, например, лом и отходы черных металлов, дезактивированные, с повышенным содержанием природных радионуклидов (эффективная удельная активность природных радионуклидов не более 1500 Бк/кг) – код 7 66 146 12 20 4.

Таким образом, значительная часть ПОПСР остается вне зоны действия ФККО, что однозначно является большой нерешенной проблемой промышленных предприятий, в частности ФГУП «ПО «Маяк». Для ее решения необходимо внесение существенных изменений в нормативно-правовые документы различного уровня, масштаб которых определяется выбором окончательного статуса этих отходов. С целью принятия взвешенного, безопасного и экономически оправданного варианта представляется целесообразным провести комплексный технико-экономический анализ текущего состояния и перспектив обращения с ОНАО (в том числе при выводе ОИАЭ из эксплуатации) при разных статусах ОНАО. В отсутствие таких исследований предпочтительным представляется вариант отнесения ОНАО к РАО, как это рекомендовано стандартами МАГАТЭ и принято в ведущих странах мира, развивающих атомную промышленность и энергетику.

Список литературы

1. Об отходах производства и потребления: Федер. закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (в ред. от 25.12.2018 № 483-ФЗ).
2. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ (в ред. от 02.07.2013 № 188-ФЗ).
3. Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается: распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р.



МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КОНТРОЛЯ СООТВЕТСТВИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПАУНДА НА ОСНОВЕ РАДИОАКТИВНОЙ ОТРАБОТАВШЕЙ ИОС

Камаева Т.С., Кузнецова Н.М., Осташкина Е.Е., Савкин А.Е.

НПК-Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН»

e-mail:info@radon.ru

- Аннотация:** НПК-Сергиево-Посадским филиалом ФГУП «РАДОН» выполняется разработка методического обеспечения контроля соответствия показателям качества полимерного компаунда с включенными ОИОС, полученного с использованием опытно-промышленной установки. Значения показателей качества полимерного компаунда, полученные при наборе статистических данных, говорят о его соответствии нормативным требованиям.
- Ключевые слова:** показатели качества, критерии приемлемости, полимерный компаунд, отработавшие ионообменные смолы, методическое обеспечение.

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR MONITORING COMPLIANCE WITH QUALITY INDICATORS OF A POLYMER COMPOUND BASED ON RADIOACTIVE SPENT IER

Kamaeva T.S., Kuznetsova N.M., Ostashkina E.E., Savkin A.E.

United Ecological and Technological Research Centre for Radioactive Waste Treatment
and Environmental Protection, Federal State Unitary Enterprise (RADON FSUE)

e-mail:info@radon.ru

- Abstract** FSUE «RADON» is developing methodological support for monitoring compliance with the quality indicators of a polymer compound with included IER, obtained using a pilot plant. The values of the quality indicators of the polymer compound, obtained during the collection of statistical data, indicate its compliance with regulatory requirements.
- Key words** Quality indicators, acceptance criteria, polymer compound, spent ion-exchange resins, methodological support.

Во ФГУП «РАДОН» разработана и изготовлена опытно-промышленная установка кондиционирования отработавших ионообменных смол (ОИОС), реализующая технологию обезвреживания и включения ОИОС в полимерное связующее на основе эпоксидных смол российского производства методом пропитки.

По рекомендациям нормативных документов, для применения технологии обращения с радиоактивными отходами (РАО) и передачи кондиционированных РАО Национальному оператору необходимо подтверждение соответствия полученного продукта показателям качества и критериям приемлемости для захоронения.

С целью подтверждения выполнения нормативных требований при кондиционировании ОИОС с использованием опытно-промышленной установки выполняется разработка методического обеспечения контроля соответствия показателям качества полученного полимерного компаунда, включающего в себя следующие методики измерения:

- измерение содержания свободной жидкости в ОИОС;
- определение термической и радиационной стойкости полимерного компаунда с включенными ОИОС по показателю механической прочности (предела прочности при сжатии);
- определение радиационной стойкости полимерного компаунда по показателю изменения объема;
- определение водоустойчивости (скорости выщелачивания радионуклидов трития и цезия-137), термической и радиационной стойкости полимерного компаунда (по данному показателю).

При разработке методик применяли способ измерения содержания свободной (несвязанной) жидкости в ОИОС, основанный на определении количества (массы) воды, удаляемой из материала.

Радиационную и термическую стойкость полимерного компаунда определяли по изменению следующих показателей в результате воздействия температуры и облучения:

- механической прочности (предела прочности при сжатии);
- объема образца компаунда;
- водоустойчивости (скорости выщелачивания радионуклидов трития и цезия-137).

Определение изменения объема образцов полимерного компаунда выполняли весовым методом с использованием объемомера по массе вытесненной дистиллированной воды.

Измерения проводили для образцов без предварительной обработки, после предварительной термической обработки при температуре от 0 °С до 130 °С, а также после облучения при значениях дозы $1 \cdot 10^4$ Гр и $1 \cdot 10^6$ Гр.

Выполнен набор статистических данных и расчет величин погрешностей. В ближайшее время будет выполнена аттестация разработанных методик и передача сведений о них в Федеральный фонд обеспечения единства измерений.

Значения показателей качества полимерного компаунда, полученные при наборе статистических данных, говорят о его соответствии нормативным требованиям.

Список литературы

1. Осташкина Е.Е., Савкин А.Е., Слостенников Ю.Т. Опыт-промышленное кондиционирование отработавших ионообменных смол Международная конференция МАГАТЭ по обращению с радиоактивными отходами International Conference on Radioactive Waste Management: Solutions for a Sustainable Future, Вена, Австрия, 1-5 ноября 2021 г.
2. Осташкина Е.Е., Савкин А.Е., Слостенников Ю.Т., Суменко А.В. Опыт-промышленное кондиционирование отработавших ионообменных смол Четвертый научно-технический семинар «Проблемы переработки и кондиционирования радиоактивных отходов», 14–18 июня 2021 г.
3. НП-019-15 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности».
4. НП-093-14 «Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения».
5. РБ-155-20 «Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по порядку, объему, методам и средствам контроля радиоактивных отходов в целях подтверждения их соответствия критериям приемлемости для захоронения».
6. Осташкина Е.Е., Савкин А.Е. Радиационная стойкость органических компаундов для отверждения жидких радиоактивных отходов. Радиоактивные отходы. №3(16), 2021.
7. ГОСТ Р 52126-2003 Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания.



ТЕКУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ ЛЕТУЧИХ РАДИОНУКЛИДОВ НА КАФЕДРЕ ХВЭИРЭ

Магомедбеков Э.П.¹, Меркушкин А.О.¹, Обручиков А.В.¹, Покальчук В.С.¹, Ванина Е.А.²

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

² ФГУП «Радон», г. Москва

e-mail: magomedbekov.e.p@muctr.ru

Аннотация

Правительство РФ поставило задачу довести долю АЭС в общем энергобалансе до 25% к 2045 году. Чтобы ее выполнить, будет развернута масштабная программа по строительству АЭС. Выполнять ее предстоит параллельно с выводом из эксплуатации реакторов РБМК. Также ожидается, что переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) сыграет важную роль в устойчивом развитии ядерной энергетики за счет увеличения энергии, извлекаемой из топлива, и сокращения образования высокоактивных отходов (ВАО). Однако при переработке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) газообразные радионуклиды, включая йод, криптон, ксенон, углерод и тритий, выбрасываются в атмосферу с потоками отходящих газов. Газообразный йод, криптон и радон имеют долгоживущие изотопы, которые оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду, а также на здоровье человека.

Ключевые слова

Радиоактивные инертные газы, сорбция, адсорбенты, эффективность улавливания, коэффициент адсорбции.

CURRENT DIRECTIONS OF RESEARCH IN THE FIELD OF CONTROL OF VOLATILE RADIONUCLIDES AT THE DEPARTMENT OF HIGH ENERGY CHEMISTRY AND RADIATION ECOLOGY

Magomedbekov E.P.¹, Merkuskin A.O.¹, Obruchikov A.V.¹, Pokalchuk V.S.¹, Vanina E.A.²

¹ D. Mendeleev university of chemical technology of Russia

² RADON FSUE

e-mail: magomedbekov.e.p@muctr.ru

Abstract

The Government of the Russian Federation has set the task of bringing the share of nuclear power plants in the total energy balance to 25% by 2045 year. To fulfill it, a large-scale program for the construction of nuclear power plants will be launched. It will have to be carried out in parallel with the decommissioning of the RBMK reactors. Also, reprocessing of spent nuclear fuel (SNF) is expected to play an important role in the sustainable development of nuclear power by increasing the energy extracted from fuel, and reducing the generation of high-level waste (HLW). However, when processing spent nuclear fuel (SNF) gaseous radionuclides, including iodine, krypton, xenon, carbon and tritium are emitted into the atmosphere with the flow of exhaust gases. Gaseous iodine, krypton, and radon have long-lived isotopes, which provide adverse impact on the environment and human health.

Key words

Radioactive inert gases, sorption, adsorbents, capture efficiency, adsorption coefficient.

Газообразные радионуклиды формируют от 55% до 90% суммарной активности выбросов АЭС. Большая их часть имеет период полураспада менее нескольких суток, что позволяет значительно снизить активность газообразных выбросов, производя задержку газов перед выбросом. Исключение составляет K_r-85 с периодом полураспада 10,77 лет, способный накапливаться в атмосфере. При работе реакторов типов ГГР, ВВЭР, РБМК инертные радиоактивные газы вносят наибольший вклад в формирование эффективной дозы критической группы населения [1].

Очевидно, что контроль выбросов является важной радиоэкологической задачей на атомных станциях. Одними из наиболее эффективных для удаления газообразных радионуклидов из воздуха являются адсорбционные процессы. В настоящее время для максимального снижения их концентрации перед выбросом в атмосферу используют активированные угли различных марок. Ключевой характеристикой, определяющей способность активированного угля удерживать адсорбат, является константа Генри (или коэффициент адсорбции). Именно от неё зависит скорость движения по радиохроматографической колонне фронта адсорбированного газа.

Однако, стоит так же отметить, что среди инертных газов, радон вносит основной вклад в коллективную дозу облучения населения. По данным ВОЗ, во всём мире среднегодовая доза облучения населения складывается из медицинского облучения (21%), техногенного (1%) и природного (79%), основная часть которого (52-54%) обусловлена вдыханием воздуха, содержащего изотопы радона и продукты их распада. В Российской Федерации средняя по стране индивидуальная годовая эффективная доза облучения населения за счет всех природных источников излучения составляет около 3.4 мЗв/год, причем наибольшая ее часть также формируется за счет облучения населения изотопами радона в воздухе помещений – в среднем около 58%. При распаде радон образует ряд короткоживущих продуктов радиоактивного распада (называемых дочерними продуктами радона), которые включают полоний, свинец, висмут и полоний. Последовательное радиоактивное превращение продолжается до стабильного свинца, который является последним элементом радиоактивного семейства. Среди этих дочерних продуктов радона полоний и свинец вносят вклад в максимальную дозу облучения (более 90%) населения [2].

Таким образом, доза облучения населения от радона значительно превосходит дозы, обусловленные техногенными и медицинскими источниками ионизирующего излучения. К настоящему времени накоплен убедительный массив экспериментальных данных и результатов многолетних наблюдений, свидетельствующий об однозначной связи риска возникновения рака лёгкого с ингаляционным облучением радоном и его продуктами распада.

В последнее десятилетие кафедра химии высоких энергий и радиоэкологии стала экспертом в области оценки сорбционных свойств сорбентов и применимости их в газоочистных аппаратах атомных электростанций [3]. На базе кафедры создан и аттестован первый в России стенд, на котором проводятся стандартные испытания образцов промышленных иодселективных сорбентов по утвержденной методике.

В настоящее время ведутся работы, направленные на создание многофункционального стенда, на котором будут воссозданы реальные условия эксплуатации сорбентов в системах газоочистки АЭС в широком интервале температур, предусматривающих как штатный режим работы, так и вероятные аварийные ситуации.

Для этого будут разработаны и внедрены в установку различные типы реакторов (колоночного типа, секционированного и др.). Вариативность способа подачи реперного радиоактивного вещества позволит определять наиболее оптимальный способ подготовки исходного газ-носитель (воздух) к условиям испытаний. Также немаловажным фактором является разработка методов внесения радиоактивной метки, приготовления унифицированных счетных образцов для радиометрии. На установке предполагается исследовать материалы, способные улавливать (или задерживать) различные газообразные радионуклиды – такие как радиоактивный иод, инертные газы, углерод и даже тритий.

Список литературы

1. Пыркова А.А., Екидин А.А., Антонов К.Л. Поступление инертных радиоактивных газов в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС // Физика. Технологии. Инновации. Сборник материалов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ. 2019. С. 279.
2. Degu Belete G., Alemu Anteneh Y. General Overview of Radon Studies in Health Hazard Perspectives // Journal of Oncology. – 2021. – Т. 2021.
3. Сравнение сорбционной способности различных марок активированного угля по отношению к аргону, криптону и ксенону природного изотопного состава в статических условиях / Э. П. Магомедбеков, А. О. Меркушкин, А. В. Обручиков, Д. А. Сахаров // Теоретические основы химической технологии. – 2021. – Т. 55. – № 6. – С. 690-706. – DOI 10.31857/S0040357121060063.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ АДСОРБЦИИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЯХ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Магомедбеков Э.П.¹, Меркушкин А.О.¹, Обручиков А.В.¹, Покальчук В.С.¹, Ванина Е.А.²

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

² ФГУП «Радон», г. Москва

e-mail: magomedbekov.e.p@muctr.ru

Аннотация

В работе рассчитаны константы Генри при адсорбции инертных газов (аргон, криптон, ксенон) на активированных углях АГ-3, ВСК-5, СКТ-3, NWC 12x40 в температурном интервале от -20 до 80°C. Определена температурная зависимость констант Генри и показана ее линейность в полулогарифмических координатах. Наибольшие значения коэффициентов очистки воздушного потока от инертных радиоактивных газов и максимальное время их удержания в адсорбере могут обеспечивать кокосовые угли марок ВСК-5 и NWC 12x40.

Ключевые слова

Радиоактивные инертные газы, сорбция, адсорбенты, эффективность улавливания, коэффициент адсорбции.

DETERMINATION OF THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENTS OF ADSORPTION OF INERT GASES ON ACTIVATED CARBONS UNDER STATIC CONDITIONS

Magomedbekov E.P.¹, Merkuskin A.O.¹, Obruchikov A.V.¹, Pokalchuk V.S.¹, Vanina E.A.²

¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

² RADON FSUE

e-mail: magomedbekov.e.p@muctr.ru

Abstract

Henry's constants are calculated in the work for the adsorption of inert gases (argon, krypton, xenon) on activated carbons AG-3, VSK-5, SKT-3, NWC 12x40 in the temperature range from -20 up to 80°C. The temperature dependence of the Henry constants is determined and its linearity in semi-logarithmic coordinates. The highest values of air purification coefficients flow from inert radioactive gases and the maximum time of their retention in the adsorber can provide coconut coal grades VSK-5 and NWC 12x40.

Key words

Radioactive inert gases, sorption, adsorbents, capture efficiency, adsorption coefficient.

При нормальной эксплуатации атомных станций (АЭС) 99% дозы облучения населения от выбросов инертных радиоактивных газов (ИРГ) формируются следующими изотопами: ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe . Остальные изотопы ИРГ обеспечивают около 0.5% радиационного воздействия. Поэтому снижения активности инертных радиоактивных газов в воздушных потоках АЭС перед их сбросом в атмосферу является очевидной задачей.

Удаление ИРГ, аэрозолей и изотопов йода из радиоактивных технологических газовых сдувок на АЭС обеспечивает система спецгазоочистки (СГО). В фильтрах-адсорберах, снаряженных активированным углем, за счет сорбции и выдержки происходит высокоэффективная очистка газа от изотопов радиоактивных инертных газов (ксенон, криптон) и радиоактивных изотопов йода [1].

Известно, что изотермы адсорбции криптона и ксенона на углеродных адсорбентах имеют форму, близкую к изотерме Ленгмюра [2]. Тем не менее, можно считать, что их адсорбция в области малых давлений подчиняется закону Генри, поскольку парциальные давления этих инертных газов в воздушной смеси, направляемой в систему СГО, невелики. Для более точного определения констант Генри экспериментальные данные были обработаны с использованием уравнения Ленгмюра (1), достаточно хорошо описывающего начальный участок изотерм адсорбции и переходящего в уравнение Генри при малых давлениях адсорбтива:

$$A = \frac{A_0BP}{1 + BP}, \quad (1)$$

$$K_H = A_0B, \quad (2)$$

где A – величина адсорбции; P – давление адсорбтива; B – коэффициент, связанный с константой равновесия адсорбции; A_0 – величина адсорбции при полном заполнении монослоя; K_H – константа Генри.

Параметры уравнения (1) находили численно, методом наименьших квадратов. Предварительно, с использованием уравнения состояния идеального газа, концентрацию адсорбтива в объемной и твердой фазах приводили к одним и тем же единицам ($\text{мг}/\text{см}^3$). Рассчитанные таким образом константы Генри являются безразмерными и имеют физический смысл концентрационных констант равновесия адсорбции в области малых давлений.

При допущении о независимости энтальпии и энтропии адсорбции от температуры в некотором ее интервале, справедливо следующее выражение:

$$\ln(K_H) = a + b \frac{1}{T}, \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты уравнения линейной регрессии.

Температура газовых потоков в системах СГО АЭС может опускаться до -60°C [5], поэтому линейная аппроксимация зависимости $\ln(K_H) = f(1/T)$ имеет важное практическое значение, позволяя рассчитывать адсорбционные процессы в области параметров вне рамок экспериментальных исследований.

Основной функцией радиохроматографической колонны в системе СГО является удержание поступающих в нее ИРГ на время, необходимое для их распада до допустимых уровней активности. Поэтому главной характеристикой адсорбера, определяющей необходимое количество адсорбента, будут скорость движения фронта адсорбции по колонне и время защитного действия. Обе величины связаны с коэффициентом адсорбции через уравнение Н.А. Шилова [3]

$$\tau = \frac{K_A}{w} V_b - \tau_0, \quad (4)$$

где τ – время защитного действия; V_b – насыпной объем адсорбента; w – объемный расход газового потока на входе в колонну; τ_0 – потеря времени защитного действия, K_A – коэффициент адсорбции ($\text{м}^3/\text{м}^3$), приведенный к насыпному объему, связанный с константой Генри соотношением:

$$K_A = K_H \frac{\rho_b}{\rho_a} = K_H(1 - \varepsilon), \quad (5)$$

где ε – доля свободного объема в слое адсорбента; ρ_b – насыпная плотность адсорбента, $\text{г}/\text{см}^3$; ρ_a – кажущаяся плотность частиц сорбента, $\text{г}/\text{см}^3$.

Уравнение (4) с хорошим приближением может быть использовано для оценки минимально необходимого количества адсорбента при работе угольного адсорбера в стационарном изотермическом режиме, а также для расчета коэффициента очистки при известном объеме сорбента в адсорбере.

В результате проведенных исследований по изотермам адсорбции инертных газов (аргон, криптон, ксенон) на активированных углях АГ-3, ВСК — 5, СКТ-3, NWC 12x40 были определены константы Генри в интервале температур от -20 до +80°C в статических условиях. Также определены параметры температурной зависимости констант Генри, линейность которой позволяет прогнозировать значения K_H при температурах, выходящих за пределы экспериментально исследованного диапазона.

Список литературы

1. Определение допустимого количества фильтроциклов и оценка остаточного срока службы фильтрующего элемента фильтров-адсорберов системы спецгазоочистки, АО «Концерн Росэнергоатом», Москва, Стандарт организации СТО 1.1.1.03.004.1633-2019, 2019.
2. Нахутин И.Е., Очкин Д.В., Третьяк С.А., Декалова А.Н. Исследование адсорбции криптона и ксенона при малых парциальных давлениях на промышленных образцах активного угля // Атомная энергия. 1976. Т. 40. № 3. С. 295-298.
3. Матвейкин В.Г., Погонин В.А., Путин С.Б., Скворцов С.А. Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции. Москва: Машиностроение-1, 2007. 140 с.

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОБЛУЧЕННЫМ ГРАФИТОМ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ УРАН-ГРАФИТВЫХ РЕАКТОРОВ

Муратов О.Э., к.т.н.

Общественный совет Госкорпорации «Росатом»

muratov.box@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены проблемы вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов, связанные с накоплением облученного графита. Приведены его физико-химические свойства и, главным образом, накопление в нем долгоживущего радиоактивного ^{14}C . Рассмотрены способы обращения с графитовыми РАО и показана целесообразность внесения в нормативную базу изменений об их выделении в отдельный класс.

Ключевые слова

Уран-графитовые реакторы, облученный графит, радиоактивный ^{14}C , обращение с графитовыми РАО.

THE PROBLEMS OF DECOMMISSIONING OF URANIUM-GRAPHITE REACTORS

Abstract

The problems of decommissioning of uranium-graphite reactors associated with accumulation of irradiated graphite are considered. The physicochemical properties of ^{14}C and its accumulation during operation of uranium-graphite reactors are given. The methods of handling graphite radwaste are considered and the expediency of making changes to regulatory framework on their allocation to a separate class are shown.

Key words

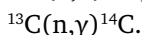
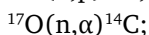
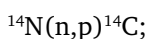
Uranium-graphite reactors, irradiated graphite, radioactive ^{14}C , handling of graphited radwaste.



За все время развития ЯЭ в мире было построено 123 УГР, и в настоящее время накоплено ~200 тыс. т облученного графита. Облученный графит не приобретает никаких свойств для возможного полезного применения и относится к ТРО. Учитывая физико-химические свойства и радионуклидный состав облученного графита, главной проблемой вывода из эксплуатации УГР является его надежная иммобилизация.

Сразу после останова реактора активность графита определяется ^{60}Co , ^{55}Fe и др. КЖН, а после 50-летней выдержки остаточная активность будет определяться долгоживущими ^{14}C ($T_{1/2} = 5730$ лет и ^{36}Cl ($T_{1/2} = 301300$ лет)). Углерод является структурной основой живых организмов, и ^{14}C включается в круговорот углерода в биосфере.

Радиоактивный ^{14}C постоянно образуется в атмосфере под действием космического излучения путем захвата нейтронов по реакциям:



Преобладающей является первая реакция ввиду малой распространенности исходных нуклидов ^{17}O и ^{13}C с малыми сечениями захвата нейтронов. Скорость образования космогенного ^{14}C составляет 1-1,5 ПБк/год и его среднее содержание в биосфере – 227 Бк/кгС. Общее количество космогенного ^{14}C 8,5 ЭБк, который распределен в атмосфере, на поверхности земли и океане.

До начала 1950-х гг. накопление техногенного ^{14}C было незначительно, а его бурный рост начался с проведением атмосферных ядерных испытаний, достигнув пика в 1963 г., когда после их запрета начался спад.

В России было построено 13 ПУГР, 11 РБМК-1000, 4 ЭГП-б, 2 АМБ и АМ, из которых продолжают эксплуатироваться 8 РБМК-1000 и 3 ЭГП-б. Удельная активность реакторного графита, включающего графитовые блоки и сменные детали, варьируется в пределах $4,1 \cdot 10^6 - 1,2 \cdot 10^7$ Бк/г.

По активности большая часть облученного графита (40,2 тыс. т, графитовые блоки) относится к 2 классу. Втулки и кольца (16,8 тыс. т) – это РАО 3 класса. Небольшая часть графита с просыпями ЯМ (3 тыс. т.) – также относится к 2 класс.

Проблема обращения с облученным графитом не решена нигде в мире, и рассматриваются четыре возможных варианта обращения с облученным реакторным графитом, каждый из которых имеет значительные неопределенности:

1. Захоронение на месте:

- необходимо обоснование длительной безопасности инженерных барьеров;
- неприменимо для энергетических реакторов, т.к. образуются особые РАО, что противоречит требованиям 190-ФЗ.

2. Захоронение в глубинных геологических формациях:

- значительные финансовые затраты;
- создание объекта захоронения, в настоящее время в мире отсутствуют ППЗРО.

3. Захоронение в ППЗРО:

- значительные затраты на НИОКР;
- отсутствие промышленной технологии.

4. Кондиционирование:

- ограничения по выбросам ^{14}C ;
- отсутствие промышленной технологии.

В мире ведутся многочисленные работы по исследованию различных способов кондиционирования графита: дезактивация, сжигание, включение в инертную матрицу и др. Однако, ни один способ не обеспечивает эффективного решения проблемы.

При дезактивации удаляется только поверхностное загрязнение, активность графитовых блоков снижается только с 10^6 до 10^5 Бк, и графит остается РАО 2 класса. Кроме того, образуются вторичные РАО, и необходимо оценивать их количество, состав и класс.

С целью сокращения объема захораниваемых графитовых РАО, исследовалось их сжигание. Было установлено, что соотношение графита к золе составляет ~160, но повышается класс радиоактивной золы. Образующийся радиоактивный $^{14}\text{CO}_2$ может улавливаться методом щелочной промывки с применением водной суспензии $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В результате образуется нерастворимый CaCO_3 , однако, его объем в ~6 раз превышает объем сжигаемого графита. Кроме того, для исключения выбросов установка должна быть оборудована системой фильтрации для улавливания остаточных радиоактивных газов и аэрозолей.

Таким образом, отсутствуют эффективные решения по переработке графитовых РАО, и в мире принято консервативное решение – временное хранение в течение 85 лет.

Поэтому наиболее предпочтительным является прямое захоронение облученных графитовых блоков. Графит представляет собой плотную матрицу, скорость выщелачивания ^{14}C и ^{36}Cl не превышает 10^{-6} , а трансуранов (Pu, Am, Cm) – 10^{-4} г/см²·сут, и, соответственно, является хорошей матрицей для захоронения.

Учитывая большие объемы облученного графита и высокую стоимость глубинного захоронения, предлагается рассмотреть возможность выделения его в отдельный класс РАО для размещения в ППЗРО, т.к. в настоящее время ДЖН ^{14}C и ^{36}Cl не включены в перечень нуклидов подлежащих захоронению в ППЗРО.

Возможность захоронения в ППЗРО основано на следующих оценках. Интегральная активность ^{14}C в биосфере составляет 10^{19} Бк, а во всех РБМК-1000 – $3,1 \cdot 10^{16}$ Бк. Поэтому даже мгновенный выброс ^{14}C из ППЗРО не окажет влияния на биосферу.

Размещение графитовых РАО в ППЗРО является перспективным направлением, и для его реализации необходимо:

- изменить нормативную базу;
- обосновать безопасность приповерхностного захоронения графитовых РАО;
- разработать специальные контейнеры

В настоящее разработаны и направлены на согласование изменения в ПП-1069, позволяющие перевод графитовых РАО 2 класса в класс 3. Проведенные НИОКР по исследованию распределения радионуклидов в облученном графите и исследования геологических условий являются исходными данными для начала проектирования и обоснования безопасности приповерхностного захоронения графитовых РАО.



ПОДХОДЫ ПО ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ БАРЬЕРНЫХ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

**Павлюк А.О., Беспала Е.В., Ушаков И.А., Кабанов Д.В., Силаева Е.Н.,
Гусева Н.В., Мышкин В.Ф.**

Томский политехнический университет, г. Томск

e-mail: Pavlyuk17@tpu.ru

Аннотация

В работе представлены основные методические и экспериментальные подходы по реализации первых этапов по оценке радиационной стойкости глиносодержащих материалов, которые в настоящее время планируется применять в качестве инженерных барьерных материалов при захоронении радиоактивных отходов. Глиносодержащие материалы обладают уникальными свойствами, которые предотвращают выход радионуклидов, что позволяет обеспечивать радиационную безопасность окружающей среды на весь период потенциальной опасности. В задачу исследований входит экспериментальное подтверждение сохранения этих свойств в процессе их длительного облучения.

Ключевые слова

Радиационная стойкость, глиносодержащие материалы, инженерные барьерные материалы, облучение, радиоактивные отходы.

APPROACHES TO ASSESSING THE RADIATION RESISTANCE OF BARRIER CLAY-CONTAINING MATERIALS

**Pavlyuk A.O., Bespala E.V., Ushakov I.A., Kabanov D.V., Silaeva E.N.,
Guseva N.V., Myshkin V.F.**

Tomsk Polytechnic University, Tomsk

e-mail: Pavlyuk17@tpu.ru

Abstract

The paper presents the main methodological and experimental approaches for the implementation of the first stages of assessing the radiation resistance of clay-containing materials, which are currently planned to be used as engineering barrier materials for radioactive waste disposal. Clay-containing materials have unique properties that prevent the release of radionuclides, which makes it possible to ensure the radiation safety of the environment for the entire period of potential danger. The task of research is to experimentally confirm the preservation of these properties during their long-term irradiation.

Key words

Radiation resistance, clay-containing materials, engineering barrier materials, irradiation, radioactive waste.

В качестве инженерных барьеров безопасности (ИББ) применяются барьерные глиносодержащие материалы (БГМ), обладающие уникальными свойствами, предотвращающие выход радионуклидов, что позволяет обеспечивать радиационную безопасность окружающей среды на весь период потенциальной опасности.

При создании пунктов хранения радиоактивных отходов (ПХРО) рассматриваются различные варианты размещения БГМ, включающие как непосредственно засыпку в конструкции выводимых из эксплуатации ОИАЭ разных типов (промышленные уран-графитовые ядерные реакторы, пункты хранения РАО и др.) так и засыпку БГМ в качестве буферного материала в контейнеры с РАО или межконтейнерное пространство для обеспечения дополнительной защиты от распространения радионуклидов, добавление в матрицу при переработке РАО и др.

Практически во всех перечисленных случаях БГМ будут подвергаться длительному облучению, как в процессе прямого контакта радиоактивных конструкций и БГМ, так и в случаях проникновения радионуклидов в барьерный материал в процессе диффузии. Период, в течение которого необходимо чтобы сохранялись защитные свойства БГМ, различен и зависит от типа выводимого из эксплуатации ОИАЭ. При этом для отходов, содержащих долгоживущие трансурановые радионуклиды, он может составлять 1000 и более лет в зависимости уровней активности и нуклидного состава РАО.

При анализе влияния излучения также необходимо учитывать не только временной период облучения, но и различия по степени воздействия на материалы разных типов излучения (гамма, нейтронное, бета и/или альфа-излучение). Так же важное значение будет иметь влияние температуры [1], что наиболее актуально для глубинного захоронения.

В зарубежных работах [2,3] отмечается, что при определенных условиях радиационное воздействие может приводить к изменению свойств БГМ, из-за образования дефектов и разрушения структуры, что соответственно может привести к потере основных защитных свойств (сорбционная способность и др.). Таким образом, способность сохранения свойств в условиях длительного радиационного воздействия является одним из важных критериев возможности применения БГМ. Состав БГМ может существенно отличаться и соответственно должен быть подобран специально под каждый тип выводимого ОИАЭ с учетом радиационной стойкости.

В настоящее время в Томском политехническом университете, на базе которого располагаются облучательные установки различных типов (ускорители, ядерный реактор с облучательными каналами и др.), начаты предварительные экспериментальные исследования по анализу изменения свойств БГМ при воздействии излучения разных типов (гамма, бета, альфа и нейтронное излучение).

В рамках проекта запланировано выполнение следующих этапов:

- определение требований по радиационной стойкости барьерных материалов в зависимости от вариантов применения и типа ОИАЭ (максимальная поглощённая доза и др.);
- выполнить экспериментальные работы по облучению БГМ;
- выполнение моделирования изменения свойств БГМ;
- оценить влияние облучения на изменение ключевых свойств БГМ с применением существующих методик;
- разработать новые методические подходы по облучению БГМ, определения поглощенной дозы в БГМ и др.;
- разработать рекомендации для выполнения дальнейших НИОКР по увеличению воздействия уровней поглощенной дозы до 100 МГр и более на БГМ, предназначенных для использования при захоронении РАО 1 и 2 классов, а также
- разработать подходы по снижению негативного радиационного влияния на ИББ (при необходимости).

В докладе представлены основные методические и экспериментальные подходы по реализации первых этапов по оценке радиационной стойкости инженерных барьерных материалов.

Список литературы

1. Cailun Wang, V. F. Myshkin, V. A. Khan, A. D. Poberezhnikov, A. P. Baraban. Effect of Temperature on the Diffusion and Sorption of Cations in Clay Vermiculite. ACS Omega 2022, 7, 14, 11596–11605. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06059>.
2. Fourdrin, C.; Allard, T.; Monnet, I.; Menguy, N.; Benedetti, M.; Calas, G. (2010). Effect of Radiation-Induced Amorphization on Smectite Dissolution. Environmental Science & Technology, 44(7), 2509–2514. doi:10.1021/es903300r.
3. Th. Allard; G. Calas (2009). Radiation effects on clay mineral properties, 43(2), 0–149. doi:10.1016/j.clay.2008.07.032.



ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И ПОДХОДЫ ПО ДЕМОНТАЖУ ОСТАНОВЛЕННЫХ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ

А.О. Павлюк, Е.В. Беспала, Е.Н. Силаева

Томский политехнический университет, г. Томск

e-mail: Pavlyuk17@tpu.ru

Аннотация

В докладе представлены основные технические решения и подходы, разработанные и реализованные зарубежными специалистами по демонтажу уран-графитовых реакторов (GLEEP, DIORIT, WAGR, BGRR, HTGR и др.). Данный опыт может быть полезен при планировании работ по демонтажу российских реакторов разных типов.

Ключевые слова

Уран-графитовый реактор, демонтаж, вывод из эксплуатации, облученный графит.

APPROACHES TO ASSESSING THE RADIATION RESISTANCE OF BARRIER CLAY-CONTAINING MATERIALS

Pavlyuk A.O., Bespala E.V., Silaeva E.N.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk

e-mail: Pavlyuk17@tpu.ru

Abstract

The report presents the main technical solutions and approaches developed and implemented by foreign experts on the dismantling of uranium-graphite reactors (GLEEP, DIORIT, WAGR, BGRR, HTGR, etc.). This experience can be useful when planning the dismantling of Russian reactors of various types.

Key words

Uranium-graphite reactor, dismantling, decommissioning, irradiated graphite.

В настоящее время в мире насчитывается более 100 энергетических, промышленных и исследовательских уран-графитовых реакторов. Значительная часть уран-графитовых реакторов (УГР) была построена в Российской Федерации, Франции, Великобритании, США. Относительно небольшое количество в Литве, Италии, Германии, Японии, Китае, Испании, Украине, Северной Корее. К настоящему времени полностью завершены работы по демонтажу только небольшой части УГР.

В докладе представлены основные технические решения и подходы, разработанные и реализованные по демонтажу уран-графитовых реакторов (GLEEP, DIORIT, WAGR, BGRR, HTGR и др.). Отмечается, что на объектах были опробованы различные подходы демонтажа (как на воздухе, так и под водой) и оборудование для выполнения работ. Подходы определялись с учетом особенностей конструкции реакторов (горизонтальное и вертикальное расположение кладки), а также активности конструкций, зависящей от мощности, периода эксплуатации, времени выдержки и присутствия фрагментов топлива. В настоящее время полученный опыт используется при планировании и корректировке планов демонтажа других зарубежных УГР.

В докладе также рассмотрена текущая ситуация и планы по демонтажу других типов реакторов, а также проблемы, связанные с опасными факторами и рисками. Представлены результаты реализации проектов МАГАТЭ по обращению с графитом. Выполнен сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта извлечения графитовых блоков из кладок и дальнейшего обращения с ними.

УСКОРИТЕЛЬНАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Петров В.Г., Кузьменкова Н.В., Рожкова А.К., Калмыков С.Н.

Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва

e-mail: vladimir.g.petrov@gmail.com

Аннотация:

Ускорительная масс-спектрометрия (УМС) является чрезвычайно чувствительным аналитическим инструментом, который позволяет определять ультранизкие концентрации элементов и соотношения их изотопов. В случае радионуклидов, такие данные позволяют получить информацию об источнике загрязнения: природные источники, глобальные выпадения (в результате испытаний ядерного оружия), поступления в результате эксплуатации атомных электростанций. Такая информация позволяет определить вклад предприятий атомной отрасли в текущую радиоэкологическую обстановку и отделить его от вклада других источников. В докладе представлены современные данные об использовании метода УМС для решения задач радиоэкологического мониторинга.

Ключевые слова:

Ускорительная масс-спектрометрия, ультранизкие концентрации, актиниды, продукты деления, изотопный состав, источники загрязнения, антропогенный фактор.

ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY FOR RADIOECOLOGICAL MONITORING ISSUES

Petrov V.G., Kuzmenkova N.V., Rozhkova A.K., Kalmykov S.N.

Chemistry Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: vladimir.g.petrov@gmail.com

Abstract

Accelerator mass spectrometry (AMS) is an extremely sensitive analytical tool that allows the determination of ultra-low concentrations of elements and their isotopic ratios. In the case of radionuclides, such data provide information on the source of contamination: natural sources, global fallout (as a result of nuclear weapons tests), releases from the operation of nuclear power plants. Such information makes it possible to determine the contribution of nuclear industry plants to the current radioecological situation, and to separate it from the contribution of other sources. The report presents modern data on the use of the AMS method for solving issues of radioecological monitoring.

Key words

Accelerator mass spectrometry, ultralow concentrations, actinides, fission products, isotopic composition, contamination sources, anthropogenic factor.



Одной из актуальных задач радиозологии является определения труднодетектируемых радионуклидов в объектах окружающей среды. Такие радионуклиды (в частности, радионуклиды нептуния, плутония, америция, иода, технеция и др.) могут являться индикаторами влияния антропогенного фактора на наземные геосистемы. В частности, определение содержания таких радионуклидов в объектах окружающей среды вокруг атомных электростанций представляет интерес с научной точки зрения для изучения возможных путей поступления и переноса радионуклидов. Для этого используются чувствительные методы измерений, способные отличить вклад от глобальных выпадений, обусловленных ядерными испытаниями в атмосфере и крупными авариями на АЭС (Чернобыль, Фукусима), от возможного непосредственного воздействия АЭС. Проведение таких измерений необходимо для оценки радиозологической обстановки и обеспечения охраны здоровья людей и других живых организмов. Более того, это помогает снизить уровень негативного восприятия риска радиационной опасности среди населения, которое способно анализировать объективные и поддающиеся проверке научные данные.

Ускорительная масс-спектрометрия (УМС) является мощным методом для проведения таких исследований. УМС обладает беспрецедентной чувствительностью для обнаружения радионуклидов путем подсчета одиночных ионов, что дает информацию об источнике поступления этих радионуклидов: природные источники, глобальные выпадения (в результате испытаний ядерного оружия), поступления в результате эксплуатации атомных электростанций [1–8]. Такая информация позволяет определить вклад предприятий атомной отрасли в текущую радиозологическую обстановку и отделить его от вклада других источников. Чувствительность УМС позволяет измерять содержания и изотопные отношения антропогенных актинидов (^{236}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu) ниже обычных значений, обусловленных глобальными выпадениями. По соотношению $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ можно определить присутствие облученного урана, в то же время соотношение $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ дает дополнительную информацию о составе топлива, обогащении урана и выгорании.

Определение ультранизких концентраций радионуклидов требует разработки специальных методических подходов для их выделения. Для этого разрабатываются как методики совместного концентрирования актинидов и продуктов деления, так и методики для дальнейшего селективного выделения того или иного элемента из полученного концентрата.

В рамках доклада будут представлены современные данные об использовании метода УМС для определения содержания радионуклидов в объектах окружающей среды и о методических подходах для селективного выделения актинидов и продуктов деления. Также будут представлены практические данные об исследовании грунтов, пресной и морской воды в Дальневосточном регионе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-43-00025).

Список литературы

1. Berkovits D. et al. ^{236}U in uranium minerals and standards // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2000. – Vol. 172, – № 1–4. – P. 372–376.
2. De Cesare M. et al. Actinides AMS at CIRCE and ^{236}U and Pu measurements of structural and environmental samples from in and around a mothballed nuclear power plant // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2013. – Vol. 294. – P. 152–159.
3. Hotchkis M.A. et al. Measurement of ^{236}U in environmental media // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2000. – Vol. 172, – № 1–4. – P. 659–665.
4. Sakaguchi A. et al. First results on ^{236}U levels in global fallout // Science of The Total Environment. – 2009. – Vol. 407, – № 14. – P. 4238–4242.
5. Steier P. et al. Analysis and application of heavy isotopes in the environment // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2010. – Vol. 268, – № 7–8. – P. 1045–1049.
6. Petraglia A. et al. Ultrasensitive Radionuclide Analysis in Water and Sediments for Environmental Radiological Assessment near the Decommissioning Garigliano Nuclear Power Plant (Italy) // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12, – № 16. – P. 8033.
7. Hou X. et al. Determination of Ultralow Level ^{129}I / ^{127}I in Natural Samples by Separation of Microgram Carrier Free Iodine and Accelerator Mass Spectrometry Detection // Analytical Chemistry. – 2010. – Vol. 82, – № 18. – P. 7713–7721.
8. Rozhkova A.K. et al. Simultaneous separation of actinides and technetium from large volumes of natural water for their determination // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2022. – Vol. 331, – № 5. – P. 2037–2044.

РАСЧЕТ КОНТРОЛЬНЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Росновская Н.А.^{1,2}, Крышев А.И.¹

¹ Научно-производственное объединение «Тайфун», г. Обнинск, Российская Федерация

² Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Российская Федерация

e-mail: rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Аннотация Значения удельных активностей содержания техногенных радионуклидов в воде и компонентах морской среды, полученные по результатам российско-норвежского мониторинга, позволяют рассчитать коэффициенты накопления, распределения и контрольные уровни, обеспечивающие приемлемый экологический риск. Были получены коэффициенты накопления радионуклидов в морской биоте, которые сравнивали с мировыми значениями по данным МАГАТЭ. Коэффициенты накопления ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr в рыбе составили 93, 262, 12 л/кг соответственно; в моллюсках: 51, 1180, 21 л/кг; в морских растениях: 69, 732, 19 л/кг; в морских млекопитающих: 63, 222, 14 л/кг. Коэффициент распределения ^{137}Cs между водой и донными отложениями составил 426 л/кг; по $^{239+240}\text{Pu}$ 189610 л/кг; по ^{90}Sr 443 л/кг. Рассмотрена динамика изменения коэффициентов накопления в рыбе Баренцева моря с 1992 по 2020 год. Тренда повышения или понижения на графике не наблюдается, что указывает на установление равновесия между компонентами морской среды. Контрольные уровни содержания ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr в морской воде для рыбы по данным мониторинга составили: 878; 1; 4370 Бк/л; для моллюсков: 5530; 2; 14500 Бк/л; для водных растений: 920; 0,4; 1360 Бк/л; для морских млекопитающих: 115; 0,1; 439 Бк/л. Таким образом, контрольные уровни радионуклидов в морской воде составили: ^{137}Cs – 115; $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1; ^{90}Sr – 439 Бк/л.

Ключевые слова Арктика, вода, донные отложения, биота, коэффициент накопления, коэффициент распределения, контрольный уровень.

CALCULATION OF CONTROL LEVELS OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN THE WATER OF THE BARENTS SEA

N.A. Rosnovskaya^{1,2}, A.I. Kryshev¹

¹ Research and Production Association «Typhoon», Obninsk, Russian Federation

² Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russian Federation

E-mail: rosnovskaya@rpatyphoon.ru

Abstract The values of specific activities of the content of technogenic radionuclides in water and components of the marine environment, obtained from the results of Russian-Norwegian monitoring, allow us to calculate the accumulation coefficients, distributions and control levels that provide an acceptable environmental risk. The coefficients of accumulation of radionuclides in marine biota were obtained, which were compared with world values according to the IAEA data. The accumulation coefficients of ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr in fish were 93, 262, 12 l/kg, respectively; in shellfish: 51, 1180, 21 l/kg; in marine plants: 69, 732, 19 l/kg; in marine mammals: 63, 222, 14 l/kg. The distribution coefficient of ^{137}Cs between water and bottom sediments was 426 l/kg; by $^{239+240}\text{Pu}$ 189610 l/kg; ^{90}Sr 443 l/kg. The dynamics of changes in the accumulation coefficients in the fish of the Barents Sea from 1992 to 2020 is considered. There is no upward or downward trend on the graph, which indicates the establishment of an equilibrium between the components of the marine environment. Control levels of ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr in sea water for fish according to monitoring data were: 878; one; 4370 Bq/l; for shellfish: 5530; 2; 14500 Bq/l; for aquatic plants: 920; 0.4; 1360 Bq/l; for marine mammals: 115; 0.1; 439 Bq/l. Thus, the control levels of radionuclides in sea water were: ^{137}Cs — 115; $^{239+240}\text{Pu}$ — 0.1; ^{90}Sr — 439 Bq / l.

Key words Arctic, water, bottom sediments, biota, accumulation coefficient, distribution coefficient, control level.



За последнее столетие Арктический регион России подвергался сильному воздействию со стороны различных источников радиоактивного загрязнения. Поступление техногенных радионуклидов в Баренцево море происходило в результате испытаний ядерного оружия в 20 веке; переноса с течениями сбросов предприятий Великобритании и Франции; затопления в Арктических морях ядерно- и радиационно-опасных объектов; атмосферных выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.

С 2006 года ФГБУ НПО «Тайфун» проводится российско-норвежский мониторинг. Для корректной интерпретации данных мониторинга необходимо сравнивать их с критериями оценки радиационной обстановки. В качестве таких критериев удобно использовать контрольные уровни содержания радионуклидов в воде, с которыми могут сопоставляться данные, полученные в ходе мониторинга.

В настоящий момент уже были разработаны рекомендации по оценке радиационно-экологического воздействия на окружающую среду, в которых представлены мировые значения контрольных уровней по данным МАГАТЭ. В нашей работе произведен расчет локальных показателей контрольных уровней. Создан массив данных о содержании техногенных радионуклидов в компонентах экосистемы Баренцева моря в 1992 – 2020 гг. Основой массива данных являлись результаты многолетнего российско-норвежского мониторинга, проводившегося в период с 2006 по 2020 года. Данные за более ранний период были взяты из научной литературы.

В качестве референтных организмов были выбраны: рыба – треска, двустворчатый моллюск – мидия, морское млекопитающее – гренландский тюлень, водное растение – фукус двухрядный. Полученные коэффициенты перехода радионуклидов из воды в морскую биоту сравнили с мировыми значениями из рекомендаций [1], основанных на данных МАГАТЭ [2].

Коэффициенты перехода ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr в рыбе составили 93, 262, 12 л/кг соответственно; в моллюсках: 51, 1180, 21 л/кг; в морских растениях: 69, 732, 19 л/кг; в морских млекопитающих: 63, 222, 14 л/кг. Большинство коэффициентов перехода коррелируют со значениями из рекомендаций [1]. Коэффициент распределения ^{137}Cs между водой и донными отложениями составил 426 л/кг; по $^{239+240}\text{Pu}$ 189610 л/кг; по ^{90}Sr 443 л/кг.

Рассмотрена динамика изменения коэффициентов перехода из воды в рыбу Баренцева моря с 1992 по 2020 год. Тренда повышения или понижения на графике не наблюдается, что указывает на установление равновесия между компонентами морской среды.

Контрольные уровни содержания ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr в морской воде для рыбы по данным мониторинга составили: 878; 1; 4370 Бк/л; для моллюсков: 5530; 2; 14500 Бк/л; для водных растений: 920; 0,4; 1360 Бк/л; для морских млекопитающих: 115; 0,1; 439 Бк/л. Таким образом, контрольные уровни радионуклидов в морской воде составили: ^{137}Cs – 115; $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1; ^{90}Sr – 439 Бк/л.

Список литературы

1. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Рекомендации. Р 52.18.820–2015. Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 2015. 60 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПО ВРЕМЕННОМУ ОТКЛЮЧЕНИЮ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ В ЕМКОСТЯХ-ХРАНИЛИЩАХ РАДИОАКТИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ

***Н.П. Старовойтов, В.А. Казаков, Р.Э. Абдулвагидов, В.А. Дудкин,
П.В. Козлов, А.А. Мирошниченко, С.В. Кустов***

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Производственное объединение «Маяк», г. Озёрск, Россия

Ключевые слова Емкости-хранилища, радиоактивные суспензии, осадки, температура, отключение охлаждения, разогрев.

FINDINGS OF THE EXPERIMENTS FOCUSED ON A TEMPORARY SHUTDOWN OF THE COOLING SYSTEM IN STORAGE TANKS WITH RADIOACTIVE SUSPENSIONS



Особую проблему на ФГУП «ПО «Маяк» представляют емкости-хранилища высокоактивных суспензий, образовавшихся в результате применения осадительных технологий при переработке облученного топлива ядерных реакторов, которые активно функционировали в 1968 – 1986 гг.

Особенностью хранения суспензий является расслаивание содержимого емкостей с постепенным накоплением и уплотнением осадка на дне, что изменяет теплофизический режим их эксплуатации. Основное количество активности локализуется на себе осадки. МЭД и объемная активность бета-излучающих радионуклидов в осветленных растворах в емкостях-хранилищах значительно (на 1–2 порядка) меньше, чем в уплотненных осадках.

В результате уплотнения осадков при длительном хранении одновременно с увеличением объемной активности снижается их подвижность, что приводит к значительному увеличению донных температур вследствие замедления конвективных потоков. Увеличение температуры в донных слоях уплотненного осадка сверх регламентного значения имело место в 1986 г. в неохлаждаемых емкостях.

Для улучшения условий теплопередачи и стабилизации температурного режима хранения суспензий по рекомендациям специалистов центральной заводской лаборатории в емкостях-хранилищах проведена обработка осадка концентрированным раствором гидроксида натрия. После подачи гидроксида натрия на дно под слой осадка в зоны с повышенными температурами произошло разрыхление плотных слоев суспензии вследствие растворения одного из основных компонентов осадка – амфотерного гидроксида алюминия, а также частичное разложение ферроцианидного комплекса и выход радионуклида цезия-137 в раствор.

Щелочная обработка суспензий привела к уменьшению высоты слоя плотного осадка, что привело к снижению температуры во всех зонах контроля, в т. ч. и на дне емкостей-хранилищ.

С мая 2006 года по 2010 г. охлаждаемые емкости-хранилища № 9-12 были подвергнуты распульповке путем обработки плотных осадков раствором гидроксида натрия с целью их перевода в более безопасное подвижное состояние.

Исходя из анализа результатов замеров высоты плотного слоя осадка, полученных в октябре 2010 г., был сделан вывод, что процессы распульповки в охлаждаемых емкостях-хранилищах прошли не полностью из-за недостаточной температуры, при которой в щелочной среде происходит процесс растворения осадка. Поэтому считалось, что отключение охлаждения емкостей, приводящее к некоторому безопасному повышению температуры осадков, должно быть полезным для увеличения скорости их растворения.

В 2012 г. были проведены опытные операции по временному отключению системы охлаждения на четырех охлаждаемых емкостях-хранилищах радиоактивных суспензий с целью приведения их в более стабильное и безопасное состояние. Было принято решение ограничить максимальную температуру разогрева осадков в опытных операциях – 95,0 °С, при максимальной регламентной температуре 130,0 °С.

Результатом проведения опытных операций по отключению системы охлаждения стало снижение высот осадков от 10 до 30%. В настоящее время значения высот стабильны. Растворение осадков прошло в большей степени за счет их разогрева.

После опытного выключения системы охлаждения в емкостях № 9, 11, 12 наблюдался стационарный температурный период в течение приблизительно 8 суток, что указывает на инерционность системы. Впоследствии, наблюдалось устойчивое снижение температуры с средней скоростью 0,3 / 0,5 / 0,4 °С/сут., соответственно.

В емкости № 10 наблюдалось повышение температуры в первые несколько суток после включения охлаждения:

– в июле, разогрев в емкости № 10 продолжался в течение 8 суток, после включения охлаждения до 91,2 °С. На 9-е сутки началось устойчивое падение температуры со средней скоростью 0,3 °С/сут.;

– в октябре разогрев продолжался в течение 4 суток после включения охлаждения до максимального значения 95,0 °С. Затем была отмечена устойчивая тенденция к снижению температуры.

Повышение температуры осадка после включения охлаждения в течение нескольких суток объясняется физико-химическими свойствами осадка, а также химическими экзотермическими реакциями.

В данной работе было показано, что отключение охлаждения емкостей, приводящее к повышению температуры осадков, позволяет увеличить скорость выхода (растворения) соединений металлов и их радионуклидов из осадка и перераспределению по всему объему (распульповка).

Данные 2020 – 2022 года показали, что высота осадков остается стабильной либо уменьшается. В емкостях № 9, 11, 12 температуры стабильны при выключенной системе охлаждения и не превышают 70 °С. В емкости № 10 охлаждение периодически включается.

На основании проведенной работы сделан вывод, что емкости-хранилища радиоактивных суспензий находятся во взрывопожаробезопасном состоянии.

АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ГРУНТОВ ПРИКОНТУРНЫХ ЗОН ХРАНИЛИЩ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

Ванина Е.А., Ильев А.А., Титков В.И.

НПК – Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН» г. Сергиев Посад

e-mail: titkovradon@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрен опыт ФГУП «РАДОН» по применению системы поддержания экологической безопасности хранилищ приповерхностного типа, основанной на контроле состояния инженерных барьеров и поддержании их эффективности путем восстановления целостности цементной матрицы, включающей радиоактивные отходы (РАО). Одним из путей повышения экологической безопасности хранилищ РАО является использование технологии модификации грунтов приконтурной зоны. Коэффициент фильтрации грунтов был снижен со средних значений 10^{-2} до значений $10^{-4} - 10^{-5}$ м / сут, что сопоставимо с коэффициентом фильтрации суглинков естественного сложения. Это позволяет констатировать создание противодиффузионного экрана, препятствующего миграционным процессам.

Ключевые слова

Эксплуатация хранилищ, инженерные барьеры, экологическая безопасность, модификация грунтов.

ANALYSIS OF TECHNOLOGY EXPERIENCE MODIFICATIONS OF GROUND ZONES NEAR SURFACE STORAGE

Vanina E.A., Ilyev A. A., Titkov V.I.

Federal State Unitary Enterprise (RADON FSUE)

e-mail: EAVanina@radon.ru

Abstract

The article describes the experience of the Federal State Unitary Enterprise RADON in the application of a system for maintaining environmental safety of subsurface storage facilities, based on monitoring the state of engineering barriers and maintaining their effectiveness by restoring the integrity of the cement matrix, including RW. One of the ways to improve the environmental safety of RW storage facilities is to use the technology for modifying the soils of the marginal zone. The soil filtration coefficient was reduced from average values of 10^{-2} to values of $10^{-4} - 10^{-5}$ m / day. This is comparable with the filtration coefficient of natural addition loams, and this allows us to state the creation of an impervious screen that impedes migration processes.

Key words

Storage operation, engineering barriers, environmental safety, soil modification.



В ФГУП «РАДОН» накоплен значительный опыт по внедрению технологического процесса модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа. В основе технологии модификации – нагнетание под давлением через систему технологических скважин в породы приконтурной зоны модифицирующего раствора. Этот раствор, проникая в породы, взаимодействует с ними и обеспечивает снижение их коэффициента фильтрации, что исключает возможность выхода радионуклидов в окружающую среду и приводит к повышению эффективности естественного барьера. Однако анализ опыта применения данной технологии не производился.

Цель работы – анализ опыта применения технологии модификации грунтов приконтурных зон хранилищ приповерхностного типа.

Основными задачами работы: критический обзор существующих технологий модификации грунтов, анализ результатов лабораторных и опытно-промышленных работ, подготовка рекомендаций по выбору перспективного модификатора для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ, эксплуатируемых на территории промплощадки ФГУП «РАДОН».

Критический обзор существующих технологий модификации производился по литературным источникам [1–16]. Лабораторные работы производились на специальной лабораторной установке – физической модели процесса модификации, позволяющей моделировать процесс закачки модифицирующих растворов в технологические скважины. Опытно-промышленные работы производились в приконтурных зонах хранилищ РАО НПК ФГУП «РАДОН» путем сооружения технологических скважин, закачки в скважины модифицирующих растворов и проведения комплекса гидрогеологических исследований для определения степени снижения коэффициента фильтрации модифицированных грунтов.

В результате критического обзора существующих технологий модификации сформулированы требования, предъявляемые к технологическим растворам, применяемым для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ. К моменту проведения работ по модификации грунтов указанным выше требованиям наиболее полно соответствовали раствор хлористого натрия и модификатор грунта LBS.

Результаты лабораторных работ показали, что наибольшей эффективностью действия обладает технологический раствор модификатора грунта LBS оптимальной концентрации равной 150 л/м³. Данные результаты полностью подтверждаются результатами опытно-промышленных работ. В тоже время стоимость 1 м³ данного технологического раствора достаточно высока. Причиной высокой стоимости технологического раствора является высокая стоимость модификатора грунта LBS.

Анализ рынка модификаторов показывает, что в настоящее время в России производится акриловая полимерная дисперсия «Акрилан 103», имеющая стоимость в 11 раз ниже модификатора грунта LBS. По технической характеристике полимерная дисперсия «Акрилан 103» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к технологическим растворам, применяемым для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ. Изложенное выше позволяет рекомендовать полимерную дисперсию «Акрилан 103» в качестве перспективного модификатора для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ, эксплуатируемых на территории промплощадки ФГУП «РАДОН».

Выводы

В процессе работы выполнен критический обзор существующих технологий модификации грунтов, разработаны требования, предъявляемые к технологическим растворам, применяемым для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ.

По результатам лабораторных и опытно-промышленных работ установлено, что наибольшей эффективностью действия обладает технологический раствор полимерного модификатора грунта LBS оптимальной концентрации равной 150 л/м³, однако стоимость 1 м³ данного технологического раствора достаточно высока вследствие высокой стоимости полимерного модификатора грунта LBS.

Установлено, что в настоящее время в России производится полимерная дисперсия «Акрилан 103» по стоимости в 11 раз ниже стоимости полимерного модификатора грунта LBS и полностью соответствующая требованиям, предъявляемым к технологическим растворам, применяемым для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ. Изложенное выше позволяет рекомендовать полимерную дисперсию «Акрилан 103» в качестве перспективного модификатора для модификации грунтов приконтурных зон хранилищ, эксплуатируемых на территории промплощадки ФГУП «РАДОН».

Список литературы

1. Адамович А.Н. Закрепление грунтов и противофильтрационные завесы в гидротехническом строительстве. М.: Энергия, 1980.
2. Бабаскин Ю.Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. Минск, УП «Технопринт», 2002.
3. Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов. М.: Транспорт, 1987.
4. Блескина Н.А., Федоров Б.С. Глубинное закрепление грунтов синтетическими смолами. М.: Стройиздат, 1980.
5. Волоцкой Д.В. Основы глубинного закрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1978.
6. Гончарова Л.В. Основы искусственного укрепления грунтов. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1973.
7. Долматов Б.И., Ласточкин В.С. Искусственное засоление грунтов в строительстве. Л.-М. Стройиздат, 1966.
8. Жилин Г.Н., Калганов В.Ф. Закрепление слабых грунтов в условиях Ленинграда. Л., Стройиздат, 1967.
9. Опыт-но-фильтрационные работы. Под редакцией Р.М. Шестакова и Д.Н. Башкатова. М., «Недра», 1974.
10. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). М.: Стройиздат, 1986.
11. Соколович В.Е. Новые способы закрепления лесовых грунтов. Днепропетровск, 1975.
12. Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. М.: Стойиздат, 1980.
13. Соколовский А.Н. Борьба с фильтрацией осолонцеванием грунтов при постройке водоемов, каналов и плотин. М. Сельхозгиз, 1952.
14. Фурсов Л.В. Инъектирование и инъекционные растворы. С-П.: Из-во Политехнического ун-та, 2010.
15. Фурсов Л.В. Инъекционные противофильтрационные завесы. С-П.: Из-во Политехнического ун-та, 2011.
16. Химическое укрепление грунтов в аэродромном и дорожном строительстве. Под ред. Н.Ф. Мищенко. М.: Транспорт, 1967.



ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТА ДЛЯ АНИОННЫХ ФОРМ РАДИОАКТИВНОГО ИОДА НА ОСНОВЕ СИЛИКАГЕЛЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ХЛОРИДОМ СЕРЕБРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Тюпина Е.А., Прядко А.В.

Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева (РХТУ им. Д.И. Менделеева),
Москва, Россия

e-mail: tk1972@mail.ru

Аннотация

В данной работе рассмотрена модификация силикагеля хлоридом серебра путём нанесения металлического серебра восстановлением гидразином и последующего хлорирования нанесённого серебра хлоридом железа (III). Показано, что модифицированный силикагель обладает устойчивостью и высокими сорбционными свойствами по отношению к иодид-анионам.

Ключевые слова

Хранилища РАО, инженерные барьеры безопасности, радиоактивный иод, силикагель, хлорид серебра.

OBTAINING THE SORBENT FOR ANIONIC SPECIES OF RADIOACTIVE IODINE, BASED ON SILICA AEROGEL MODIFIED WITH SILVER CHLORIDE WITH USE OF IRON (III) CHLORIDE

Tyupina E.A., Pryadko A.V.

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

e-mail: tk1972@mail.ru

Abstract

This paper discusses the modification of silica aerogel with silver chloride via applying metallic silver by hydrazine reduction and subsequent conversion of applied silver into silver chloride with use of iron (III) chloride. Modified silica aerogel was shown to have durability and high sorption properties towards iodide anions.

Key words

Nuclear waste repositories, engineering safety barriers, radioactive iodine, silica aerogel, silver chloride.

Наиболее рациональной стратегией захоронения радиоактивных отходов (РАО) признано их размещение в зависимости от класса в приповерхностных и глубинных хранилищах, в которых предусмотрены инженерные барьеры безопасности (ИББ) на основе бентонитовых глин, способные обеспечивать изоляцию упаковок РАО от подземных вод и удерживать находящиеся в катионных формах радионуклиды в пределах хранилища в случае разрушения матрицы и разгерметизации контейнеров, но не способные предотвратить миграцию анионов радионуклидов, таких как радиоактивный йод. Включение в состав ИББ материала, сорбирующего радиоид в анионных формах, позволит обеспечить безопасность окружающей среды от данного радионуклида. Наиболее эффективными для фиксации радиоиода являются соединения серебра, например, хлорид серебра AgCl , который взаимодействует с иодид-анионами с образованием нерастворимого иодида серебра AgI . Перспективным материалом основы серебросодержащего сорбента является силикагель, обладающий развитой поверхностью и находящий различное применение в ядерной промышленности. Существует ряд методов нанесения на поверхность пористых материалов серебра в различных химических формах. В данной работе разработан способ модификации силикагеля хлоридом серебра через стадию металлического серебра и исследована сорбционная способность модифицированного материала по отношению к иодид-ионам.

Модификацию силикагеля марки КСКГ хлоридом серебра в количестве 7% по серебру от массы навески материала проводили в два этапа. В ходе первого этапа на поверхность силикагеля наносили металлическое серебро, для чего пропитывали навеску силикагеля в течение 24 часов раствором нитрата серебра, количество которого соответствовало заданному содержанию серебра на материале, затем навеску сушили при 90°C в течение 12 часов и воздействовали на силикагель раствором гидразин-сульфата в аммиачной среде. В ходе предварительных экспериментов было установлено, что оптимальным для восстановления серебра на силикагеле является стехиометрическое количество гидразин-сульфата в присутствии аммиака при $\text{pH}=13$, в этих условиях реакция протекает мгновенно. По окончании реакции силикагель снова высушивали при 105°C в течение 12 часов. Рентгенофазовый анализ (РФА) полученного материала показал наличие металлического серебра, что подтверждает протекание реакции восстановления, а также малорастворимого сульфата серебра образующегося вследствие применения гидразина в форме сульфата. В ходе второго этапа нанесённое на материал серебро переводили в форму хлорида AgCl , воздействуя на силикагель раствором хлорида железа (III) при стехиометрическом соотношении реагентов и концентрации FeCl_3 18 г/л в течение часа. Оптимальные условия реакции определяли, исследуя непосредственное взаимодействие слоя 10 мг металлического серебра с растворами хлорида железа (III) различных концентраций и определяя количество непрореагировавшего серебра. Исследование полученного материала методом РФА показало полный перевод нанесённого серебра в форму AgCl .

Сорбционные свойства силикагеля с нанесённым хлоридом серебра подтверждали, исследуя сорбцию микроколичеств иода-131 в форме иодид-анионов исходным и модифицированным силикагелем из дистиллированной воды при $T:Ж = 1:100$ и комнатной температуре. Через 1; 2; 4; 6 и 24 часа после начала эксперимента систему центрифугировали при 8000 об/мин в течение 10 минут, отбирали пробу жидкой фазы, определяли скорость счёта ^{131}I в пробе и рассчитывали степень сорбции радиоиода. Согласно полученным данным, исходный силикагель обладает низкими сорбционными свойствами по отношению к иодид-анионам: в первый час степень сорбции достигает 40%, а в течение суток снижается до 15%, что говорит о непрочной фиксации ионов иода на силикагеле. Напротив, после модификации силикагеля хлоридом серебра равновесная степень сорбции составляет 91 – 93%, при этом сорбционное равновесие устанавливается в течение 1 часа и дальнейшей десорбции не происходит.

Для определения устойчивости полученного сорбента в различных средах на образцы силикагеля с нанесённым хлоридом серебра в течение 1 суток воздействовали дистиллированной водой, модельными водами Нижнеканского кристаллического массива, 1М растворами KNO_3 , K_2SO_4 , KCl и 1 – 3М HNO_3 , после чего определяли долю растворённого серебра титрованием по методу Фольгарда. В ходе проведённых исследований десорбция ионов серебра в жидкой фазе не происходила, что свидетельствует об устойчивости полученного материала в различных возможных условиях эксплуатации.

Таким образом, в результате исследований был разработан сорбент, характеризующийся высокими сорбционными свойствами по отношению к иодид-анионам, более низким содержанием серебра по сравнению с известными сорбентами и высокой устойчивостью в различных средах. Полученный материал может быть включён в состав бентонитовых ИББ для предотвращения миграции радиоактивного иода за пределы хранилищ РАО, что позволит обеспечить безопасность биосферы от данного радионуклида.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-29-00607.



ДЕЛАЕМ МИР ЧИЩЕ И БЕЗОПАСНЕЕ

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Объединенный эколого-технологический
и научно-исследовательский центр по обезвреживанию
РАО и охране окружающей среды»
(ФГУП «РАДОН»)

119121, Москва, 7-й Ростовский пер, 2/14
тел.: +7 (495) 545-57-67
E-mail: info@radon.ru
www.radon.ru

