

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Тарігулієв Айдин Фарад Огли

УДК 502/504

**ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ У КОНТЕКСТІ
СТІЙКОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА
RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF THE
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOCIETY**

Спеціальність 101 "Екологія"

Автореферат
дисертаційної роботи на здобуття ступеня магістра

Київ – 2018

Робота виконана на кафедрі інженерної екології Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Науковий керівник – доктор педагогічних наук, кандидат хімічних наук,
професор, професор кафедри інженерної екології
Кофанова Олена Вікторівна

Рецензент – к.хім.н., доцент, доцент
кафедри загальної та неорганічної хімії
Підгорний Андрій Вадимович

Захист відбудеться 29 травня 2018 р. о 10-00 на засіданні ДЕК КПІ ім. Ігоря Сікорського за адресою 03056, Україна, м. Київ, проспект Перемоги, 37, ауд. 201-22.

Вчений секретар
державної атестаційної комісії
кандидат технічних наук, асистент

Л. І. Євтєєва

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие современного общества практически невозможно без использования радиоактивных веществ (РАВ) или материалов, их содержащих. Урбанизация, активно развивающаяся практически во всех странах мира, требует увеличения потребления энергии, и поэтому в настоящее время энергию деления ядер используют не только в промышленности и сельском хозяйстве, но и в военном деле, медицине, научных исследованиях и т.д.

По мнению экспертов, к 2030 г. почти две трети населения мира будет жить в городах, и при этом урбанизация окажет значительное давление на инфраструктуру, природные и энергетические ресурсы общества. Истощение месторождений полезных ископаемых, необходимость замены невозобновляемых углеродных источников энергии приводит к повышенному интересу к использованию ядерной энергии. Актуальность проблемы обусловлена также теми негативными последствиями, которые могут быть опасными для всего человечества при радиоактивном загрязнении окружающей среды.

Таким образом, увеличение объемов производства ядерной энергии, а также использование радиоактивных изотопов в различных областях науки, техники и технологии требует разработки методов оценки и прогнозирования последствий распространения РН различными путями - воздушным, водным и др.

Исследованию способов и методов экологически безопасного обращения с отходами посвящены работы многих ученых, а именно: Т. Г. Иващенко, Г. В. Прибытько, И. Ю. Денисенко, О. И. Василенко, М. А. Скачек, Л. И. Маркитанова, И. А. Андришин, В. П. Миронов и др.

В связи с вышесказанным **целью магистерской диссертации** является разработать и научно обосновать экологически безопасные способы обращения с отходами производства, загрязненными радионуклидами, как природного, так и техногенного происхождения.

Объект исследования: процессы утилизации и дезактивации радиоактивных отходов производства с помощью контейнерного метода захоронения, а также использования растительных организмов для биосорбции радионуклидов.

Предмет исследования – способы и методы консервации, захоронения и дезактивации РАО производства, в том числе и с использованием поглощения РН растениями.

В связи с целью магистерской диссертации в работе поставлены такие **задачи исследования:**

1. Проанализировать литературные источники и выяснить современное состояние проблемы обращения с радиоактивными отходами.
2. С позиций обеспечений устойчивого развития проанализировать экологически безопасные способы обращения с радиоактивными отходами.
3. На основе опыта обращения с радиоактивными отходами с учетом специфики климата и географических условий Республики Азербайджан предложить экологически безопасный и эффективный способ дезактивации отходов, загрязненных радионуклидами.

4. Разработать математические модели загрязнения тяжелыми и легкими радионуклидами и с их помощью проверить поля распространения радиоактивных примесей в воздушном пространстве при штатном выбросе РН в ОС, при утечке из контейнера, а также при аварийном выбросе радионуклидов, в том числе и при разгерметизации курганов захоронения РН.

5. Предложить вид растений, пригодный для биоаккумуляции РН при их захоронении траншейным способом, укрепления почвы курганов, а также для биосорбции РН при разгерметизации могильников.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели и задач исследования использованы теоретические и эмпирические методы.

Теоретические методы – метод анализа и синтеза при обобщении литературного материала, а также при рассмотрении законодательной базы стран мира.

Метод *моделирования* был использован для анализа адекватности предложенных моделей на основе решения уравнения турбулентной диффузии (в частных производных), а также создания математических моделей рассеивания радионуклидов в атмосферном воздухе при попадании их в окружающую природную среду.

Эмпирические методы были использованы при исследовании действия радионуклидов на организм человека, а также при рассмотрении рисков, связанных с попаданием в окружающую среду радиоактивных веществ (изотопов).

Нормативную базу исследования составляли законы Азербайджана, Украины, директивы Европейской Комиссии, а также статистические материалы, представленные на сайте Государственной службы статистики Азербайджана.

Научная новизна заключается в том, что в исследовании

- с помощью созданных математических моделей (на основе уравнения турбулентной диффузии) установлены условия и последствия распространения радиоактивных примесей в воздушной среде, обусловленных негерметичностью контейнеров для захоронения РАО, рассмотрены последствия и условия загрязнения РН водных объектов;

- предложена биосорбция РН растениями, обосновано использование *Alhagi pseudalhagi* как биосорбента и биоиндикатора радиоактивного загрязнения курганов-могильников, а также ее использование для укрепления склонов кургана и уменьшения степени эрозии почвы.

Практическое значение исследования заключается в том, что теоретически исследованы механизмы процессов переноса радиоактивных примесей (как легких, так и тяжелых) в воздушной среде, разработаны математические модели распространения РН в случае штатного выброса и при аварийных ситуациях, в том числе и при разгерметизации контейнеров захоронения радиоактивных отходов.

С помощью прогноза последствий радиоактивного загрязнения воздушной среды, водных объектов и прилегающих территорий предложен биологический способ поглощения РН, который основан на биопоглощении РН конкретными растительными организмами.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были представлены в виде тезисов докладов на международной и всеукраинской конференциях, а именно:

1. X Международной научно-технической конференции "Энергетика. Экология. Человек" (26 апреля 2018 г., г. Киев.) - подготовлены тезисы доклада на тему: "Система радіаційної безпеки при поводженні з небезпечними радіоактивними відходами на спецкомбінатах Азербайджанской Республики".

2. Восемнадцатой Всеукраинской научно-методической конференции "Проблемы охраны труда, промышленной и гражданской безопасности" (16-17 мая 2018 г., г. Киев) - опубликованы тезисы доклада на тему: "Экологический риск образования и жизненного цикла радиоактивных отходов в природе".

Структура та объем работы. Магистерская работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников – 83, рисунков, таблиц, демонстрационных плакатов.

Объем работы составляет 109 страниц основного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы магистерской работы, сформулирована цель, а также задачи, объект и предмет исследования. Описаны методы исследования, научная новизна и практическое значение полученных в работе результатов, показаны сведения об апробации результатов исследования, о структуре магистерской работы.

В **первом разделе работы «Экологическая характеристика загрязнения окружающей среды радионуклидами, влияние радиоактивных химических элементов на организм человека»** рассмотрены природные и техногенные источники образования РАО. Представлена классификация РАО (табл. 1) [19]:

- низкоактивные;
- среднеактивные;
- высокоактивные.

В США выделяют еще и трансурановые РАО – отходы, загрязненные α -излучающими трансурановыми РН с периодами полураспада более 20 лет и концентрацией более 100 нКи/г вне зависимости от формы их нахождения или источника происхождения (за исключением высокоактивных РАО).

Таблица 1

Классификация жидких и твёрдых радиоактивных отходов [19]

Удельная (объёмная) активность, Бк/кг (Бк/л)			
Категория отходов	β -, γ -излучающие РН	α -излучающие РН (исключая трансурановые)	Трансурановые РН
Низкоактивные	Менее 10^6	Менее 10^5	Менее 10^4
Среднеактивные	От 10^6 до 10^{10}	От 10^5 до 10^{10}	От 10^4 до 10^8
Высокоактивны	Более 10^{10}	Более 10^9	Более 10^8

е			
---	--	--	--

Одним из основных критериев классификации является тепловыделение. В частности, у низкоактивных РАО оно мало, у среднеактивных оно достаточно существенно, но отвод тепла не требуется. И у высокоактивных РАО тепловыделение настолько велико, что их необходимо охлаждать.

Контролируемое ИИ не представляет особого риска для здоровья человека. Различные излучения как природного, так и техногенного происхождения используются во многих областях науки, техники и технологий. В то же время, ИИ обладает способностью производить ионизацию атомов, с которыми оно взаимодействует, благодаря своей высокой энергии, что приводит к изменению химической структуры молекул, в том числе и биомолекул в клетках организмов. Изменения, которые будут происходить в клетках, зависят от дозы и времени облучения, вида ИИ, возраста человека, геологических факторов и т.д.

При низких дозах облучения клетки могут и не погибнуть, однако возможны изменения молекул ДНК – генетические мутации. Некоторые из мутаций могут способствовать развитию рака или проявлению наследственных генетических заболеваний. Эти эффекты называют стохастическими, вероятностными по своей природе. Это означает, что увеличение дозы облучения не обязательно приводит к увеличению серьезности эффекта, а повышает вероятность того, что эффект будет иметь место.

В зависимости от воздействия радиации на организм принято выделять соматические (телесные) эффекты, которые возникают у конкретного индивида, который подвергся облучению, и генетические, связанные с повреждением генетического аппарата и проявляющиеся в следующем или последующих поколениях.

Таким образом, воздействие ионизирующего излучения на живые организмы и окружающую нас природу чрезвычайно разнообразны. Они могут иметь положительный эффект и эффекты отрицательные. Кроме того, воздействие радиации через генетические мутации и эффекты может проявляться не только на нынешнем поколении, но и передаваться следующим поколениям.

Во втором разделе «Риски радиоактивного загрязнения нефтедобывающих предприятий при выходе радионуклидов на поверхность» показаны экологические риски, возникающие при выходе РН на поверхность при добыче нефти (на примере Комплексной транспортно-производственной базы (КТПБ) "Нефть Дашлары" ("Нефтяные Камни")), а также при обращении с загрязненным технологическим оборудованием.

Радиационный контроль отходов производства, а также грунта укрепленного техногенного (ГУТ) осуществляли по эффективной активности естественных РН. Исследования выполнялись в соответствии с «Методикой выполнения измерений удельной активности радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr в пробах продукции промышленных предприятий, предприятий сельского хозяйства и объектов окружающей среды» с использованием спектрометра-радиометра γ - и β -излучений МКГБ-01, дозиметра рентгеновского и γ -излучения ДКС-АТ1123.

При проведении экологического мониторинга и экологического контроля на КТПБ радиационным исследованиям были подвергнуты следующие объекты:

- водная среда – определяли удельную активность природных и техногенных РН;
- нефтесодержащие воды – определяли эффективную активность γ -излучения природных РН;
- грунт техногенный укрепленный (ГУТ);
- почва на территории КТПБ.

Мониторинговые исследования проводили в соответствии с технической программой «Производственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля Комплекса транспортно-производственной базы» (рис. 1–3, 2015–2017 гг.). Наблюдения показали снижение УА от весеннего к летнему периоду, что связано со снижением количества взвешенных частиц (РМ) в воде в весенний период. Осенью РМ увеличивается за счет возрастания содержания органических взвешенных веществ. Пространственное распределение РН по акватории не имело определенных закономерностей и характеризовалось неоднородностью распределения.

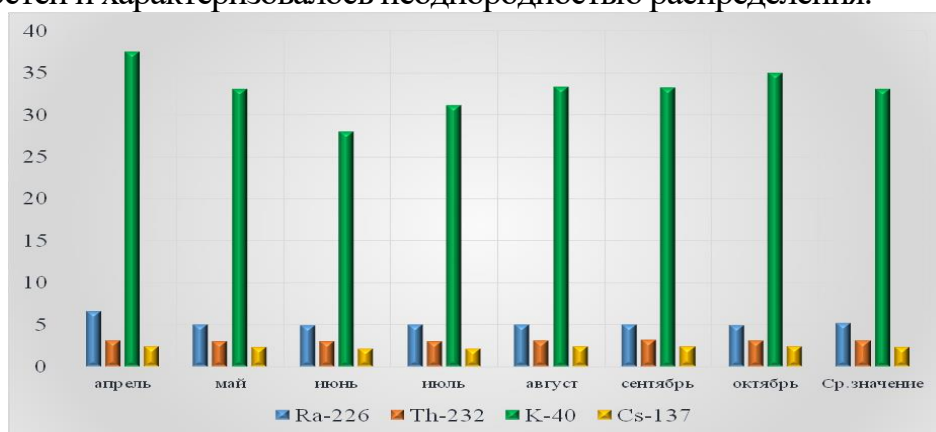


Рис. 1 – Сезонная динамика РН в Каспийском море в районе КТПБ, Бк/л.

В процессе мониторинговых исследований проводился радиационный контроль образцов почвы, отобранных на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), а также на участке временного складирования ГУТ и в непосредственной близости от парка резервуаров и установки УБР.

Результаты комплексных мониторинговых исследований показаны на рис. 4–7.

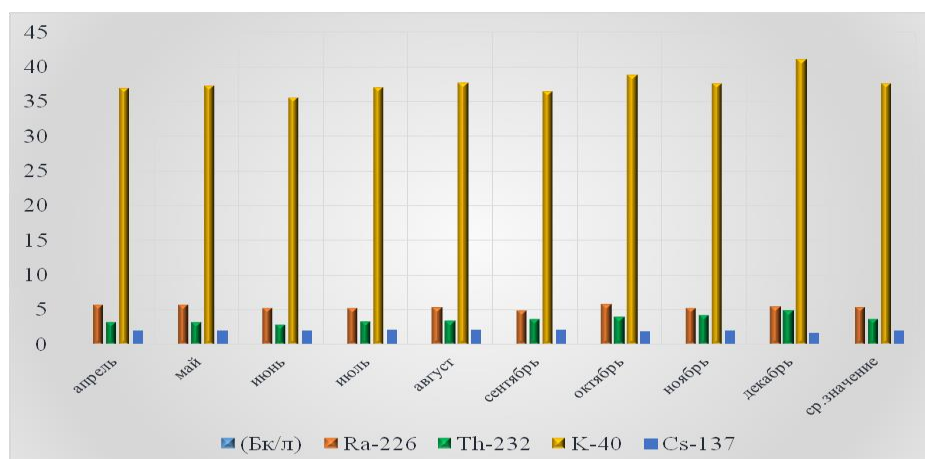
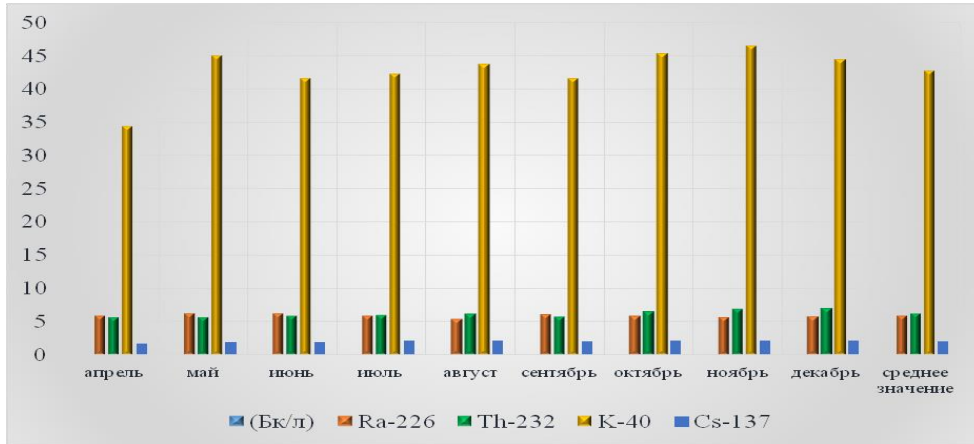
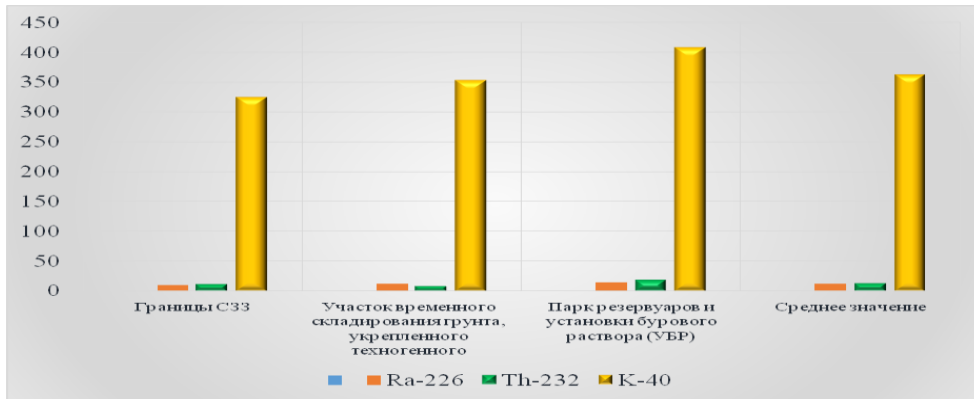
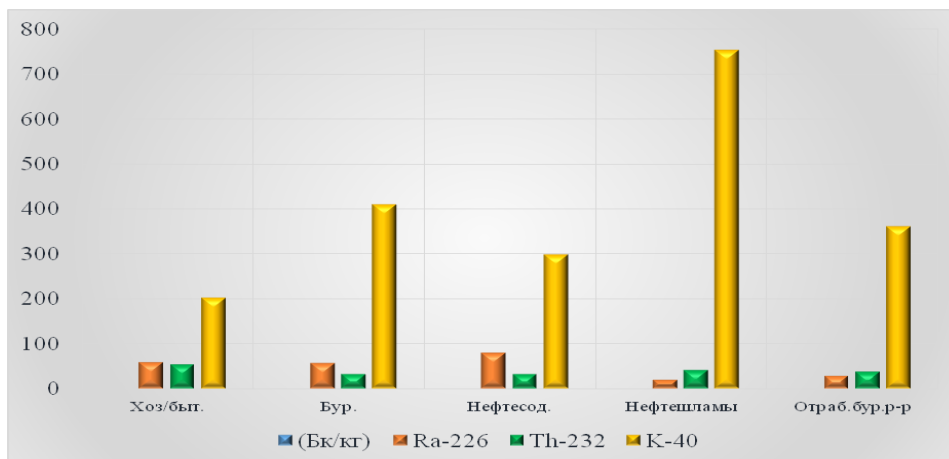


Рис. 2 –Сезонная динамика УА_{РН} в воде в период с апреля по декабрь 2016г., Бк/лРис. 3 – Сезонная динамика УЭА_{РН} в водах Каспия с апреля по декабрь 2017 г., Бк/л.Рис. 4 – УЭА_{РН} в образцах ГУТ, Бк/кгРис. 5– УЭА_{РН} в отходах производства в 2016 г.; Бк/кг

Таким образом, в результате экологического мониторинга установлено, что при условии выполнения природоохранных мероприятий возможна благоприятная ситуация относительно отсутствия радиоактивного загрязнения в районе КТПБ и на прилегающей территории. Однако контроль экологической обстановки в районе базы является обязательным для обеспечения устойчивого развития нефтедобывающей промышленности в районе Каспийского моря.

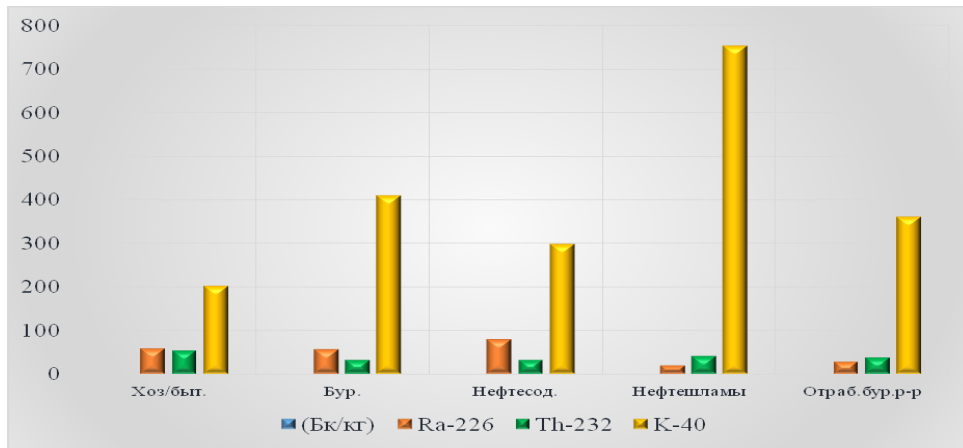


Рис. 6 – Динамика УЭА_{РН} в отходах производства; Бк/кг.

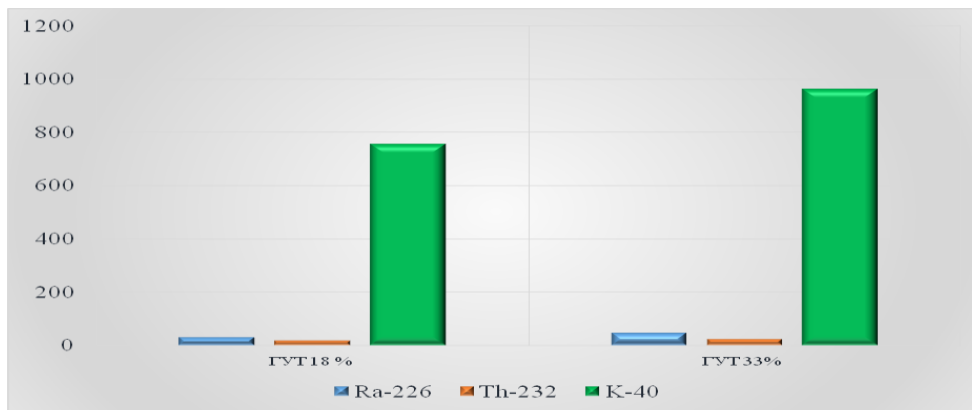


Рис. 7 – УЭА_{РН} в образцах ГУТ в 2017 г., Бк/кг.

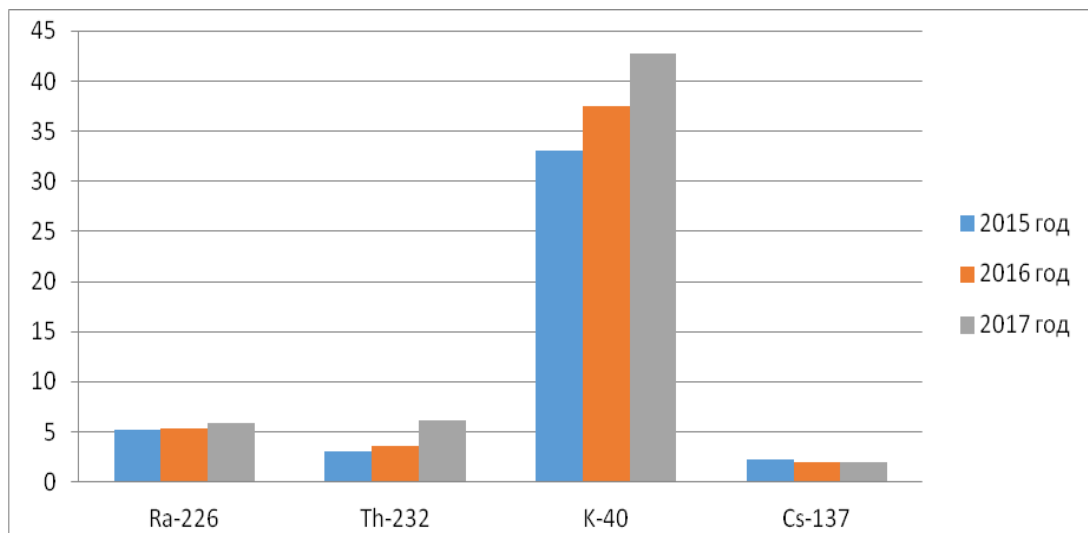


Рис. 8 – Динамика активности РН в водах Каспия в районе КТПБ за период 2015–2017 гг., Бк/л.

При изучении трехлетней динамики активности РН в водах Каспия в районе КТПБ выявлено постепенное возрастание показателей радиоактивного загрязнения с 2015 по 2017 гг. Сравнительный анализ УЭА_{РН} за три года показан на рис. 8. Удельная эффективная активность РН в отходах производства показана на рис 9, а результаты для ГУТ – на рис. 10.

В третьем разделе «Экологически безопасные системы хранения (захоронения) отходов, загрязненных радионуклидами» рассматривается контейнерный способ захоронения РАО, который считается наиболее надежным способом защиты от РАО. За счет реакций распада радиоактивных изотопов РАО постепенно теряют свою "радиоактивность" и перестают быть опасными. Однако, при таком захоронении РАО необходимыми условиями:

1. защита людей от радиоактивного воздействия;
2. охрана природной среды от неконтролируемого радиоактивного загрязнения;
3. защита от трансграничного заражения;
4. при обращении с РАО необходимо помнить о последующих поколениях, поскольку захоронение РАО не должно приводить к чрезмерной нагрузке на них;
5. важной составляющей является правовая основа безопасного обращения с РАО, причем, как в национальных рамках, так и в международном аспекте;
6. не менее важным является контроль не только за объемами образования РАО, но и за их безопасным содержанием;

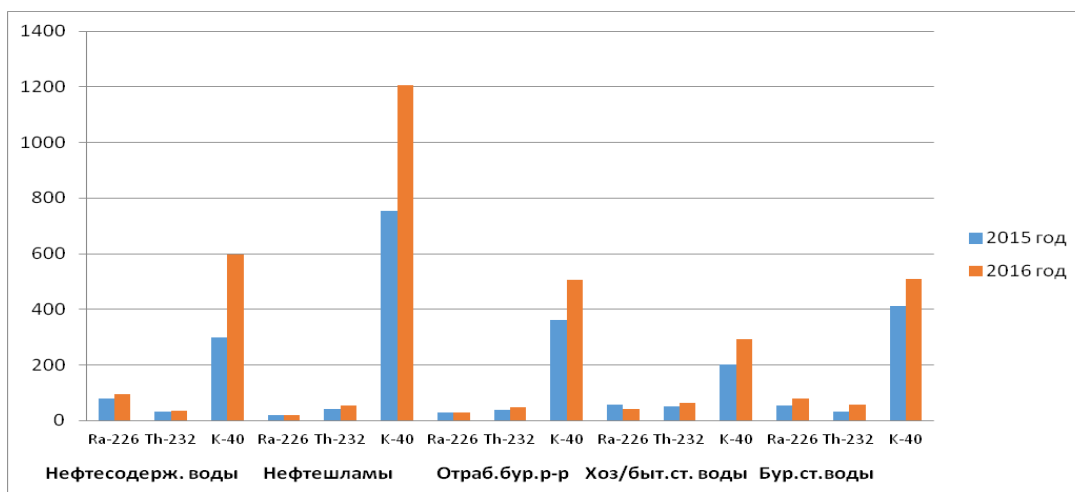


Рис. 9 – Динамика активности РН в отходах производства, Бк/кг.

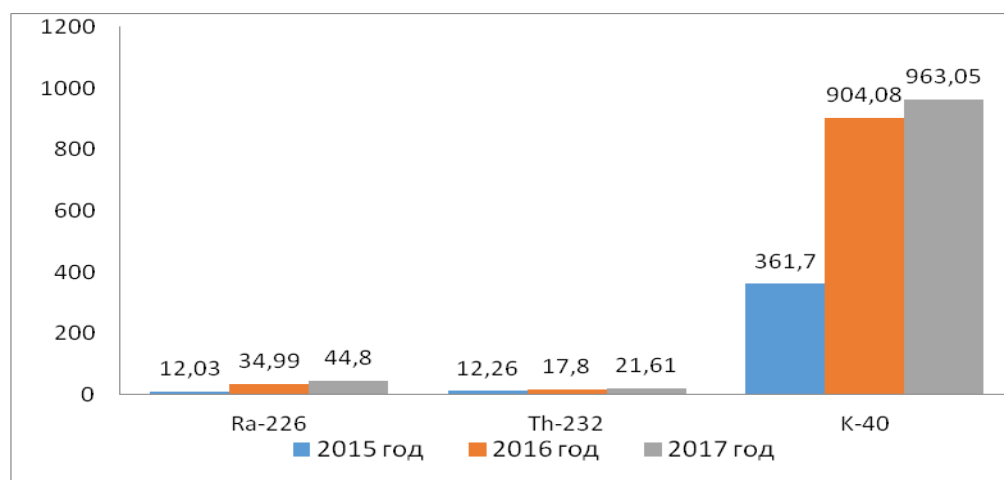


Рис. 10 – Динамика активности РН в ГУТ, Бк/кг.

7. необходимо продолжать изучение процессов, которые происходят в природной ОС под воздействием радиоактивных веществ, а также в закрытых контейнерах при их захоронении и хранении;

8. оборудование, установки, контейнеры и все составляющие процессов утилизации, дезактивации и захоронения РАО должны иметь повышенную надежность и минимизировать наступление чрезвычайных ситуаций, причем как во время самих технологических процессов, так и в отдаленном будущем. На рис. 11 показана схема безопасного хранения РАО, а на рис. 12 – последовательные этапы мониторинга экологически опасных объектов РАО.



Рис. 11 – Схема экологически безопасного хранения РАО [44].

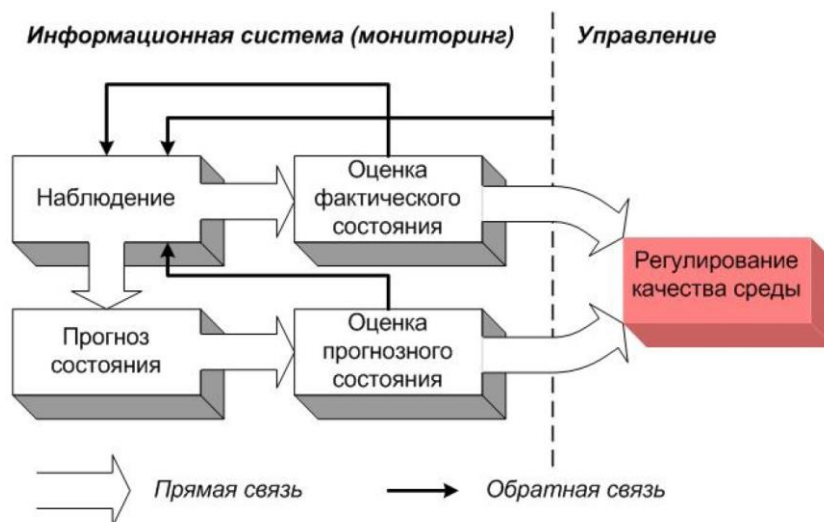


Рис. 12 – Последовательные этапы мониторинга экологически опасных объектов РАО [43].

В четвертом разделе «Моделирование радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов» обосновано построение математических моделей распространения "тяжелых" и "легких" радиоактивных примесей в воздушном пространстве при возникновении утечек радиоактивных

веществ, разгерметизации контейнеров для захоронения или курганов-могильников РАО. На рис. 13 показано развитие чрезвычайной ситуации, связанной с утечкой радиоактивных веществ в связи с разгерметизацией контейнера для захоронения РАО.

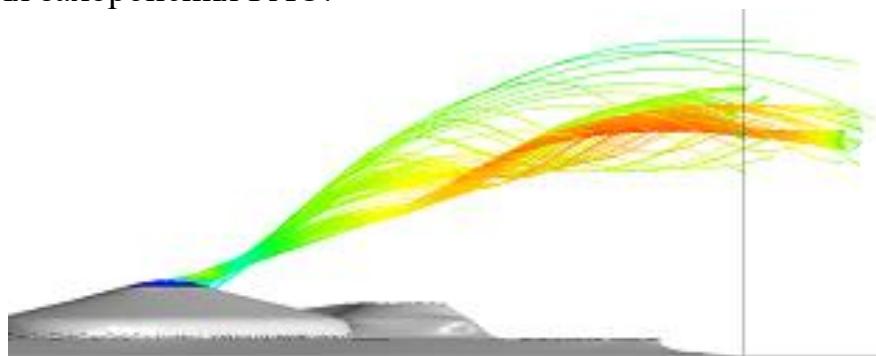
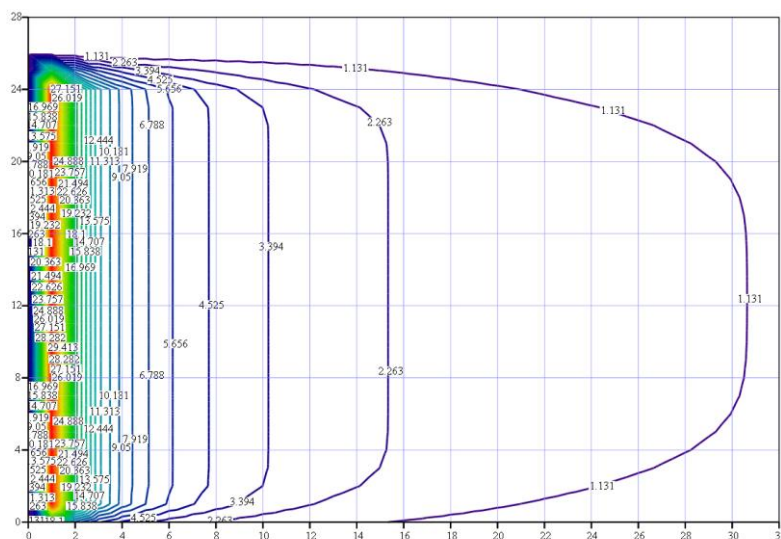


Рис. 13 – Схема утечки РАВ из разгерметизированного контейнера для захоронения или кургана [55].

Согласно построенным в среде MathCad моделям для различных метеоусловий, в частности, скорости и направления ветра, на рис. 14–15 представлены результаты расчетов, которые соответствуют гауссовой модели [49, 56] при скорости ветра 10 м/с и наиболее распространенные для выбранной для исследования местности направлениях ветра.



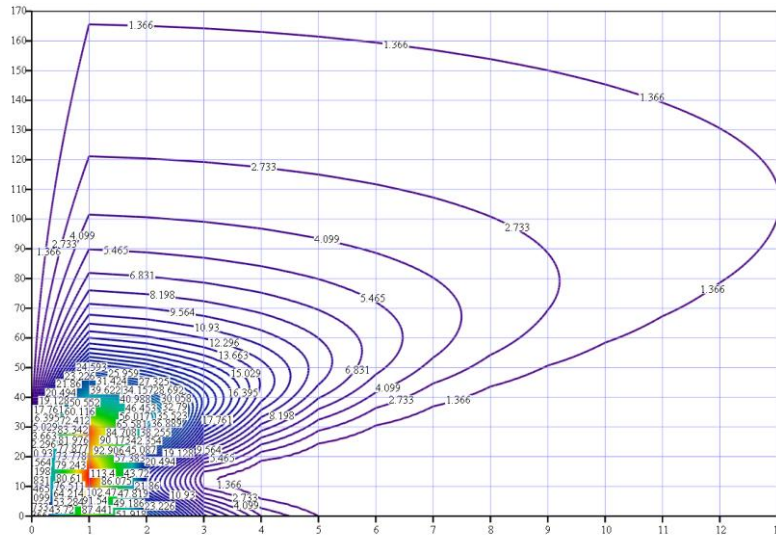


Рис. 15 – Дисперсия "легкой" радиоактивной примеси при скорости ветра 10 м/с.

Таким образом, расчеты на основе гауссового распределения радиоактивной примеси в атмосферном воздухе показывают, что в случае чрезвычайной ситуации, связанной с разгерметизацией контейнера, или при аварии на РОО распространение РН будет осуществляться в зависимости от метеорологических условий и свойств подстилающей поверхности на расстояние до нескольких сот км от источника заражения (при граничном приближении открытой местности, покрытой высокой травянистой растительностью). В связи с тем, что неподалеку от источника выброса может оказаться природный или искусственный водный объект, рассмотрены также модели распространения РН в водной среде.

В пятом разделе «Поглощение радионуклидов растительными организмами, ослабление техногенной нагрузки на окружающую среду биосорбцией радионуклидов» представлено обоснование использования *Alhagi pseudalhagi* для укрепления почв на склонах курганов, а также для биосорбции и биоиндикации радиоактивного излучения.

В общем случае основными формами состояния РН в растворах являются истинные растворы (ионно-молекулярно-дисперсное состояние РН) и их коллоидное состояние (псевдо- и истинные радиоколлоиды). Биопоглощение этих двух разновидностей форм существования РН в природных и грунтовых растворах сильно отличаются. Что касается истинных растворов, биопоглощение происходит, в основном, за счет попадания в растение РН с водными растворами питательных веществ. Механизм попадания радиоколлоидов в органы и ткани растений до сих пор еще не ясен. Согласно одной из теорий (Ф. Панет), радиоколлоиды – агрегаты (мицеллы), состоящие из труднорастворимых соединений ХЭ, например, его гидроксиды, образующиеся, например, в результате гидролиза и проникающие за счет потребления растениями воды. Согласно другой точки зрения (Р. Зигмонди, О. Ган, М. Кюри), образование радиоколлоидов связывают с адсорбцией РАВ на коллоидных или более крупных частицах загрязнений, которые также способны проникать в организм растения. В газовой фазе РАИ также могут существовать в различных формах.

В почвах РН содержатся не только в поверхностном слое, но и находятся в глубине грунта. Как отмечалось, концентрация определенного изотопа в почве зависит от протекания транспортных и миграционных процессов с участием РН, которые, в свою очередь, определяются такими факторами, как:

- тип почвы;
- гранулометрический состав почвы;
- ее агрохимические свойства;
- водно-физические свойства почвы и т. д.

Считается, что основным фактором, который определяет протекание сорбции РН, это механический и минералогический составы почвы. Миграция РН, как правило, протекает в верхнем слое почвы толщиной 0–5 см. Поэтому на процессы миграции РН большое влияние оказывает количество атмосферных осадков, которые выпадают в той или иной местности.

Биоаккумуляция РН также определяется биологическими особенностями растений, хотя, например, при прочих равных условиях в растения, растущих на кислых почвах, РН будут поступать в больших количествах, чем для других видах почв. Следовательно, кислотность грунта является важным фактором миграции РН из почвы в растение. Из биологических особенностей растений при поглощении РН можно отметить следующие [69–72]:

- растения с низким содержанием калия обладают слабой способностью аккумулировать цезий. Аналогичная закономерность наблюдается и при поглощении стронция;
- бобовые культуры способны аккумулировать больше цезия, чем злаки. Аналогично их поведение и по отношению к стронцию.

Значительная территория Азербайджанской Республики располагается в зоне субтропического пояса. Географически территория могильника РАО расположена в климатической зоне полупустынь и сухих степей, на территории Азербайджанской Республики с минимальным среднегодовым количеством выпадения атмосферных осадков. Засушливое лето не позволяет использовать для укрепления склонов кургана многие травянистые растения и некоторые виды кустарников. Из-за нехватки влаги происходит увядание растительности, последующее ее высыхание и, как следствие, насаждения не могут выполнять свою защитную роль биогеохимического барьера. Подведение систем орошения в условиях объекта-могильника РАО также является неприемлемым.

Таким образом, учитывая климатические условия Азербайджанской Республики, а также то обстоятельство, что именно бобовые являются одними из наилучших биосорбентов РН, нами выбран оптимальный вариант – биопоглощение РН из почвы и почвенных растворов верблюжьей колючкой обыкновенной (*Alhagi pseudalhagi*), которая непривередлива к климатическим условиям и легко приживается даже в пустынном климате, а также в степях. Она относится к царству - растения; подцарству - сосудистые растения; суперподразделению - растения семени; подразделению - цветущие растения; класс - двудольные; порядок - бобовоцветные; семейство - бобовые.

Для исследования выбраны два кургана, образовавшихся в результате захоронения РАО в могильниках траншейного типа. Согласно выбранной

стратегии, на склонах первого кургана (Курган А) была высажена верблюжья колючка, а на склонах второго кургана (Курган Б) проводились мероприятия по лишению почвенного покрова растительности. Внешний слой обоих курганов представлял собой серый солончаковый тип почвы, который характеризуется высоким содержанием растворимых в воде солей, в частности, Na_2SO_4 , NaHCO_3 , MgCl_2 , NaCl , CaCO_3), подавляющих рост большинства видов растений.

Гамма-спектрометрический анализ проводился в период с 1 мая 2016 г. по 1 мая 2018 г. Ежемесячно производился отбор проб с вершины кургана (проба № 1), с середины склонов (пробы № 2, № 3, № 4 и № 5) и у основания кургана (пробы № 6, № 7, № 8 и № 9). Также проводился замер толщины почвенного слоя кургана. Всего было сделано три замера для каждого могильника – в начале исследования, в середине (в мае 2017 г.) и по завершению исследования. Результаты гамма-спектрометрического анализа проб курганов А и Б представлены на графиках рис. 16–19. В связи с тем, что на момент исследования вероятностные концентрации ^{137}Cs были ниже чувствительности гамма-спектрометра, параллельно проводили анализ по количеству радиоактивного изотопа ^{40}K (рис. 20–21)



Рис. 16 – Средние значения концентрации изотопа ^{40}K в кургане А и Б

Также в процессе исследования определялись и анализировались потери почвенного слоя на склонах обоих курганов в результате эрозии. Условия нахождения курганов были близки между собой – оба захоронения РАО подвергались равноценному воздействию природных явлений (дождь, снег, иней, ветер, жара, засуха). В качестве первичных данных измерялась толщина почвенного слоя каждого из курганов, а также анализировалась их динамика (табл. 2).

Таким образом, анализ почвенного покрова показал, что захоронение РАО траншейного типа (Курган Б) без растительного покрова подвергалось более интенсивной эрозии почвы. Отсутствие растений на склонах могильника привели к размыванию и выветриванию верхнего слоя почвы, в результате чего зафиксировано распространение РН за внешний периметр склонов.

Установлено, что в долгосрочной перспективе эрозионные процессы могут привести к локальным повреждениям поверхности кургана, что может привести к повреждению нижних изоляционных слоев могильника и, как следствие, к его разгерметизации и выбросу РАИ в ОС.



Рис. 17 – Средние значения концентрации изотопа ^{40}K в кургане А и Б



Рис. 18 – Средние значения концентрации изотопа ^{137}Cs в кургане А и Б



Рис. 19 – Средние значения концентрации изотопа ^{137}Cs в кургане А и Б (2017–2018 гг.).

Анализ данных по Кургану А дают возможность сделать вывод о том, что защита кургана могильника растением Верблюжья колючка обыкновенная (*Alhagi pseudalhagi*) позволила не только обеспечить механическую защиту вершины и склонов кургана, но и провести биоаккумуляцию радиоактивных изотопов. При этом специализированный уход за растениями не потребовался, что позволило сэкономить средства на уход за каким-либо другим, более чувствительным к природным условиям растением. Кроме того, *Alhagi pseudalhagi* может быть использована как биоиндикатор утечек РН, причем, как у поверхностных слоев почвы, так и за счет развитой корневой системе – глубинных ее слоев.

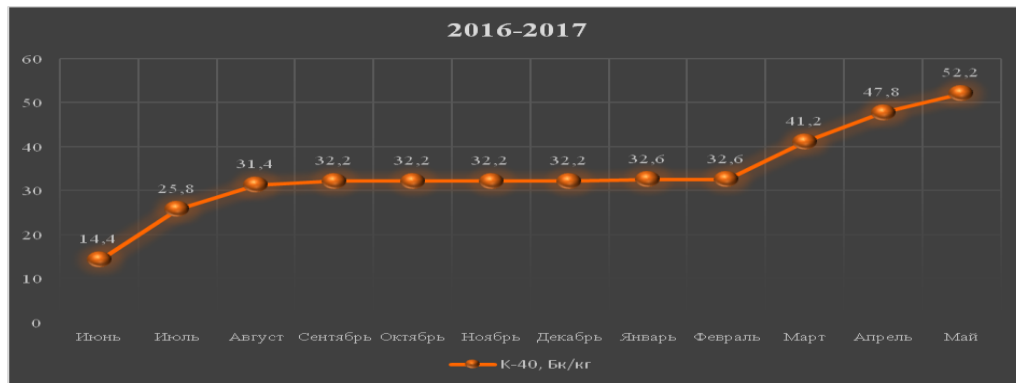
Рис. 20 – Средние значения концентрации изотопа ^{40}K в растенияхРис. 21 – Средние значения концентрации изотопа ^{40}K в растениях

Таблица 5.2

Изменение толщины потери слоя почвы в результате эрозии
(май 2016 г. – май 2018 г.)

Место измерения толщины почвы	Средняя потеря почвы, см	
	Курган А	Курган Б
Вершина	0,3	1,6
Северный склон	0,7	2,4
Восточный склон	0,5	2,2
Южный склон	1	4,7
Западный склон	0,6	2,3

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ литературных источников показал, что проблема влияния радионуклидов и радиационно-загрязненной окружающей среды на природу и живые организмы, в том числе и на здоровье человека, является сложной и комплексной. Особенно это относится к проблеме повышения вероятности заболеваемости людей, живущих на территориях с природным или техногенным повышенным радиационным фоном, а также к защите персонала, работающего в сфере обращения с радиоактивными отходами. Важной

составляющей проблемы является также изучение адаптационных механизмов организма человека, разработка мер по уменьшению воздействия радиации на здоровье людей и все составляющие биосферы.

2. Состояние радиоактивных химических элементов характеризуется их положением в периодической системе Д. И. Менделеева, степенью окисления, химической и физико-химической формами существования в природе и в техногенной среде, степенью дисперсности вещества в жидкой и/или газовой фазах, положением атомов химического элемента в кристаллической решетке твердой фазы и др., что, в основном, и определяет химическое и физико-химическое поведение веществ, содержащих радиоактивный химический элемент (элементы), в том числе и их токсичность.

3. Установлено, что при нынешних условиях захоронения радиоактивных отходов полностью не исключена возможность выхода на поверхность несорбируемых и слабосорбируемых радионуклидов. Поскольку при малых концентрациях, равновесных с концентрацией природных стабильных изотопов в почвенных породах, радионуклиды практически не сорбируются, то существует принципиальная возможность создания искусственных биогеохимических барьеров, способных предотвратить дальнейшее распространение радиоактивных изотопов в окружающей среде и/или перевести их в неопасное для окружающей среды и здоровья человека состояние.

4. Математические модели распространения радионуклидов в водной среде и атмосферном воздухе позволяют дополнить результаты мониторинговых наблюдений, а также рассчитать и спрогнозировать последствия радиоактивного заражения в результате аварийных ситуаций или штатных сбросов (выбросов) радиоизотопов.

В работе рассмотрены математические модели распространения радионуклидов при штатном и аварийном выбросах в результате разгерметизации контейнеров для захоронения радиоактивных веществ на основе уравнения турбулентной диффузии; при определенных упрощающих допущениях рассчитаны опасные зоны загрязнения вышедшими в атмосферу радионуклидами (на примере "тяжелой" и "легкой" примесей). С помощью созданных математических моделей установлены условия и последствия распространения радиоактивных примесей в воздушной среде, обусловленных негерметичностью контейнеров для захоронения РАО, рассмотрены последствия и условия загрязнения РН водных объектов

5. Для укрепления склонов кургана и уменьшения степени эрозии почвы предложена биосорбция РН растениями; обосновано использование *Alhagi pseudalhagi* как биосорбента и биоиндикатора радиоактивного загрязнения курганов-могильников радиоактивных отходов. Экспериментально установлено позитивное влияние высадки *Alhagi pseudalhagi* на склонах курганов, что дало возможность без дополнительных капиталовложений укрепить почву склонов, и снизить скорость распространения РН за счет их биосорбции *Alhagi pseudalhagi*, которая также выполняет роль биоиндикатора локального загрязнения территории и позволяет с помощью мониторинговых исследований содержания радионуклидов в растениях делать выводы о состоянии изоляции и/или разгерметизации курганов.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

1. X Международной научно-технической конференции "Энергетика. Экология. Человек" (26 апреля 2018 г., г. Киев.) - подготовлены тезисы доклада на тему: "Система радіаційної безпеки при поводженні з небезпечними радіоактивними відходами на спецкомбінатах Азербайджанской Республики".

2. Восемнадцатой Всеукраинской научно-методической конференции "Проблемы охраны труда, промышленной и гражданской безопасности" (16-17 мая 2018 г., г. Киев) - опубликованы тезисы доклада на тему: "Экологический риск образования и жизненного цикла радиоактивных отходов в природе".

АНОТАЦІЯ

Тарігулієв Айдин Фарад Огли Поводження з радіоактивними відходами у контексті стійкого розвитку суспільства. – На правах рукопису.

Магістерська дипломна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 101 Екологія. – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, 2018.

Мета дослідження полягає в розробці та науковому обґрунтуванні способів екологічно безпечного поводження з радіоактивними відходами як природного, так і техногенного походження.

Об'єкт дослідження: процеси утилізації та дезактивації радіоактивних відходів виробництва за допомогою контейнерного методу захоронення, а також використання рослинних організмів для біосорбції радіонуклідів.

Предмет дослідження - способи і методи консервації, поховання і дезактивації радіоактивних відходів виробництва, в тому числі і з використанням біопоглинання РН рослинами.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що

- за допомогою створених математичних моделей (на основі рівняння турбулентної дифузії) встановлено умови та наслідки розповсюдження радіоактивних домішок у повітряному середовищі, обумовлених негерметичністю контейнерів для захоронення РАО, розглянуто наслідки та умови забруднення РН водних об'єктів;

- запропоновано біосорбцію РН рослинними організмами, обґрунтовано використання *Alhagi pseudalhagi* як біосорбента і біоіндикатора радіоактивного забруднення курганів-могильників, а також її застосування для укріплення схилів кургану та зменшення рівня ерозії ґрунту.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що теоретично вивчено й проаналізовано механізми процесів перенесення радіоактивних домішок (як легких, так і важких) у повітряному середовищі, розроблено математичні моделі розповсюдження РН у випадку штатного викиду та при аварійних ситуаціях, у тому числі й при розгерметизації контейнерів захоронення радіоактивних відходів. За допомоги прогнозу наслідків радіоактивного забруднення повітряного середовища, водних об'єктів та прилеглих територій запропоновано

біологічний спосіб поглинання РН, що базується на біопоглинанні РН конкретними рослинними організмами.

Ключові слова: радіонуклід, ядерна енергія, атомна енергія, радіоактивний ізотоп, радіоактивне забруднення, розповсюдження радіонуклідів

АННОТАЦІЯ

Таригулієв Айдын Фарад Огли Обращение с радиоактивными отходами в контексте устойчивого развития общества. – На правах рукописи.

Магистерская дипломная работа на соискание степени магистра по специальности 101 Экология. – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", г. Киев, 2018.

Цель исследования заключается в разработке и научном обосновании способов безопасного обращения с радиоактивными отходами как природного, так и техногенного происхождения.

Объект исследования: процессы утилизации и дезактивации радиоактивных отходов производства с помощью контейнерного метода захоронения, а также использование растительных организмов для биосорбции радионуклидов.

Предмет исследования - способы и методы консервации, захоронения и дезактивации радиоактивных отходов производства, в том числе и с использованием биопоглощения РН растениями.

Научная новизна исследования заключается в том, что в исследовании

- с помощью созданных математических моделей (на основе уравнения турбулентной диффузии) установлены условия и последствия распространения радиоактивных примесей в воздушной среде, обусловленных негерметичностью контейнеров для захоронения РАО, рассмотрены последствия и условия загрязнения РН водных объектов;

- предложена биосорбция РН растениями, обосновано использование *Alhagi pseudalhagi* как биосорбента и биоиндикатора радиоактивного загрязнения курганов-могильников, а также ее использование для укрепления склонов кургана и уменьшения степени эрозии почвы.

Практическое значение исследования заключается в том, что теоретически исследованы механизмы процессов переноса радиоактивных примесей (как легких, так и тяжелых) в воздушной среде, разработаны математические модели распространения РН в случае штатного выброса и при аварийных ситуациях, в том числе и при разгерметизации контейнеров захоронения радиоактивных отходов.

С помощью прогноза последствий радиоактивного загрязнения воздушной среды, водных объектов и прилегающих территорий предложен биологический способ поглощения РН, который основан на биопоглощении РН конкретными растительными организмами.

Ключевые слова: радионуклід, ядерная энергия, атомная энергия, радиоактивный изотоп, радиоактивное загрязнение, распространение радионуклидов

ABSTRACT

Tariquiev A. Radioactive waste management in the context of the sustainable development of society. – Manuscript.

Thesis for the master's degree, specialty 101 – Ecology. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". – Kyiv, 2018.

The purpose of the study is to develop and scientifically substantiate the methods of environmentally safe treatment of radioactive waste both of natural and anthropogenic origin.

The object of research: the processes of utilization and decontamination of radioactive waste of the production cycle by the container disposal method, as well as by the use of plants for the biological absorption of radionuclides.

The subject of research – conservation methods, waste disposal and decontamination of radioactive waste of the production cycle, including biological absorption of radionuclides by plants.

The scientific novelty of the research: for the first time by the help of created mathematical models (based on the turbulent diffusion equation), conditions and consequences of the radioactive impurities propagation in the air were determined; the consequences and conditions of pollution of the water objects by radionuclides were considered.

The practical significance of the study: the mechanisms of processes for the transport of radioactive impurities (both light and heavy) in the air have been theoretically studied and analyzed, and mathematical models of the propagation of radionuclides in the case of normal emissions and in emergency situations, including depressurisation of containers for radioactive waste disposal, have been developed. With the help of the prediction of the consequences of radioactive contamination of the air, water bodies and neighboring areas, a biological method for the absorption of radionuclides was proposed, based on the bio-absorption of radionuclides by specific plant organisms.

Key words: radionuclide, nuclear energy, atomic energy, radioactive isotope, radioactive contamination, dispersion of radionuclides