



*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2014-04

Preprint IBRAE-2014-04

**И. И. Линге, М. Н. Савкин, И. Л. Абалкина, В. И. Дорогов,  
С. С. Уткин, В. А. Иванов, М. В. Ведерникова, В. С. Панченко,  
О. Г. Мызникова, Л. А. Курындина, И. И. Крышев, В. В. Бочкарев,  
М. А. Непейиво, А. Е. Щадилов, В. С. Репин, Ю. Г. Мокров,  
О. А. Кочетков, В. Г. Барчуков**

## **РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ОТНЕСЕНИЯ РАО К ОСОБЫМ РАО**

Линге И. И., Савкин М. Н., Абалкина И. Л., Дорогов В. И., Уткин С. С., Иванов В. А., Ведерникова М. В., Панченко В. С., Мызникова О. Г., Курьндина Л. А., Крышев И. И., Бочкарев В. В., Непейпиво М. А., Щадилов А. Е., Репин В. С., Мокров Ю. Г., Кочетков О. А., Барчуков В. Г. РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ОТНЕСЕНИЯ РАО К ОСОБЫМ РАО. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2014-04. Москва: ИБРАЭ РАН, 2014. — 29 с. — Библиогр.: 46 назв. — 138 экз.

#### Аннотация

В работе сформулированы и обоснованы уточнения и изменения ранее разработанных основных подходов к проведению оценок коллективных эффективных доз облучения, обобщенных рисков потенциального облучения, затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов и с захоронением радиоактивных отходов в месте их нахождения, а также оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения радиоактивных отходов в месте их нахождения для целей обоснования отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам.

Основанием для уточнения методологии послужил опыт ее использования на пилотных объектах хранения радиоактивных отходов в рамках проведения первичной регистрации РАО, предложения специалистов регулирующих органов, научных учреждений и эксплуатирующих организаций по совершенствованию подходов в прагматическом направлении. Уточнения соответствуют нормативным правовым актам, в том числе, федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, санитарным правилам в области обеспечения радиационной безопасности, законодательству Российской Федерации об охране окружающей среды.

В целом разработанные подходы с уточнениями представляют собой методическую основу для реализации постановления Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов». Они же могут стать основой в ходе рассмотрения обосновывающих материалов в федеральных органах исполнительной власти.

©ИБРАЭ РАН, 2014

Linge I. I., Savkin M. N., Abalkina I. L., Dorogov V. I., Utkin S. S., Ivanov V. A., Vedernikova M. V., Panchenko V. S., Myznikova O. G., Kuryndina L. A., Kryshev I. I., Bochkarev V. V., Nepeypivo M. A., Shchadilov A. E., Repin V. S., Mokrov Yu. G., Kochetkov O. A., Barchukov V. G. EVOLUTION OF APPROACHES USED TO JUSTIFY RW ASSIGNMENT TO THE CATEGORY OF SPECIAL RW. Preprint № ИБРАЭ-2014-04. Moscow: Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAN), 2014. — 29 p.

#### Abstract

The paper lays down and substantiates the refinements and modifications to previously developed basic approaches to assessing collective effective doses, generalized risks of potential exposure, costs associated with radioactive waste retrieval and in-situ disposal, as well as the total extent of environmental hazard in case of radioactive waste disposal in-situ to justify radioactive waste attribution to special RW.

Methodology refinement is based on the experience of its application at pilot radioactive waste storage facilities during RW initial registration and proposals on how to improve the approaches pragmatically introduced by experts from regulatory bodies, scientific institutions and operating organizations. These refinements are consistent with laws and regulations, including federal norms and rules in the field of atomic energy use, sanitary rules for radiation safety, and Russian legislation on environmental protection.

On the whole, the developed approaches and refinements constitute a methodological basis allowing the implementation of the Decree of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012, № 1069 “On criteria for solid, liquid and gaseous waste attribution to radioactive waste, criteria for radioactive waste attribution to special or retrievable waste, criteria for retrievable waste classification”. These also can become a basis during the review of supporting materials by federal executive bodies.

©Nuclear Safety Institute, 2014

## Развитие подходов к обоснованию отнесения РАО к особым РАО

*И. И. Линге, М. Н. Савкин, И. Л. Абалкина, В. И. Дорогов, С. С. Уткин, В. А. Иванов,  
М. В. Ведерникова, В. С. Панченко, О. Г. Мызникова*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
115191, Москва, ул. Большая Тульская, 52  
тел.: (495) 952-24-21 факс: (495) 958-11-51, эл. почта: pbl@ibrae.ac.ru

*Л. А. Курьндина*

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
123995 г. Москва, ул. Большая Грузинская, 4/6  
тел.: (499) 254 56 22, факс: (499) 254 43 10, эл. почта: minprirody@mnr.gov.ru

*И. И. Крышев*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТАЙФУН»  
249038, Калужская область, Обнинск, ул. Победы, 4  
тел.: (48439) 71540, факс: (48439) 40910, эл. почта: post@typhoon.obninsk.ru

*В. В. Бочкарев, М. А. Непейново, А. Е. Щадилов*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И  
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»  
107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5  
тел.: (499) 264-00-03, факс: (499) 264-28-59, эл. почта: secnrs@secnrs.ru

*В. С. Репин*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА П. В. РАМЗАЕВА»  
197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8  
тел.: (812) 233-53-63, факс: (812) 233-53-63, эл. почта: lvv1939@rambler.ru

*Ю. Г. Мокров*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ «МАЯК»  
456780, Челябинская область, Озерск, пр. Ленина, 31  
тел. (3530) 2 50 11, факс (35130) 2 38 26, эл. почта: mayak@po-mayak.ru

*О. А. Кочетков, В. Г. Барчуков*

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
БИОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИМЕНИ А. И. БУРНАЗЯНА»  
123182, г. Москва, ул. Живописная д. 46, корпус 8  
тел. (495) 190 95 00, факс (495) 190 85 75, эл. почта: fmbs-fmba@bk.ru

## Содержание

Список использованных сокращений .....	4
1 Введение .....	5
2 Регулирующие требования и принятые концепции .....	7
3 Расчетный период и период потенциальной опасности РАО .....	12
4 Возможное влияние изменений федеральных и санитарных норм и правил на отнесение РАО к особым РАО .....	20
4.1 Дозовое квотирование .....	20
4.2 Уточнение размеров СЗЗ .....	21
4.3 Оценка нерадиационных характеристик особых РАО .....	22
4.4 Группировка хранилищ РАО при разработке альтернативных сценариев .....	22
4.5 Обоснование отнесения к пункту размещения/консервации РАО .....	23
4.6 К вопросу учета факторов инфляции и дисконтирования .....	24
5 Заключение .....	27
Литература .....	27

## Список использованных сокращений

- АЭХК — ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат»  
ГХК — ФГУП «Горно-химический комбинат»  
ЖРО — жидкие радиоактивные отходы  
ИБРАЭ РАН — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук  
ИДК — индивидуальный дозиметрический контроль  
КИРО — комплексное инженерное и радиационное обследование  
МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии  
МАЭД — мощность амбиентного эквивалента дозы  
МЗУА — минимально значимая удельная активность  
МКРЗ — Международная комиссия по радиологической защите  
МСЗ — ОАО «Машиностроительный завод»  
НЗХК — ОАО «Новосибирский завод химконцентратов»  
НИЦ — Национальный исследовательский центр  
НО РАО — ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами»  
НРБ — нормы радиационной безопасности  
ОАО — открытое акционерное общество  
ОНРАО — очень низкоактивные радиоактивные отходы  
ОРПО — обобщенный риск потенциального облучения  
ОСПОРБ — основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности  
ПЗРО — пункт захоронения радиоактивных отходов  
ПЗУА — предельное значение удельной активности  
ПК — пункт консервации  
ПО «Маяк» — ФГУП «Производственное объединение «Маяк»  
ПО «ЭХЗ» — ОАО «Производственное объединение «Электрохимический завод»  
ПП — постановление Правительства Российской Федерации  
ППГХО — ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение»  
ПХРО — пункт хранения радиоактивных отходов  
РАО — радиоактивные отходы  
РосРАО — ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО»  
САО — среднеактивные отходы  
СГУК РВ и РАО — система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов  
СЗЗ — санитарно-защитная зона  
СПОРО — санитарные правила обращения с радиоактивными отходами  
СХК — ОАО «Сибирский химический комбинат»  
ТКВ — Теченский каскад водоемов  
ТРО — твердые радиоактивные отходы  
УЭХК — ОАО «Уральский электрохимический комбинат»  
ФБУ «НТЦ ЯРБ» — Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»  
ФГБУ «НПО «Тайфун» — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун»  
ФГУП — Федеральное государственное унитарное предприятие  
ФЗ — федеральный закон  
ФМБА России — Федеральное медико-биологическое агентство  
ЧМЗ — ОАО «Чепецкий механический завод»  
ЯРБ — ядерная и радиационная безопасность  
ЯРОО — ядерно и радиационно опасный объект  
ЯТЦ — ядерный топливный цикл

# 1 Введение

Федеральным законом от 11.07.2011г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее – 190-ФЗ [1]) было введено разделение РАО на удаляемые и особые РАО (статья 4):

*«...1) удаляемые радиоактивные отходы — радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения;*

*2) особые радиоактивные отходы – радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения».*

Законодательное введение категории особых РАО позволило приступить к реализации принципиально новой стратегии обращения с накопленными РАО с учетом специфики образования ядерного наследия и государственной ответственности в сфере обращения с РАО, исходя из принципа минимизации рисков и затрат при выборе оптимального варианта обращения с РАО. Первым этапом в этой деятельности является первичная регистрация накопленных РАО, в результате которой часть РАО будет отнесена к особым РАО [2].

Конкретизация, введенных в 190-ФЗ, понятий «рисков, связанных с радиационным воздействием и иных рисков» была дана в Постановлении Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (далее – ПП № 1069) [3].

Укрупненные формулировки критериев в ПП № 1069 создали ряд неясностей в их трактовке с позиций современной системы радиационной защиты, что потребовало разработки специального методологического подхода [4]. В разработке подхода приняли участие ведущие специалисты Госкорпорации «Росатом»; ФГУП «ПО «Маяк»; ФГБУ «НПО «Тайфун»; органов регулирования безопасности при использовании атомной энергии и их научных организаций, в том числе: Минприроды России, ФБУ «НТЦ ЯРБ» Ростехнадзора, ФБУН научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Основная роль в разработке обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым РАО отводится эксплуатирующей организации, которая имеет информацию по своему пункту хранения РАО. Каждый пункт хранения РАО может иметь свою специфику, однако, разумная унификация процедуры подготовки обосновывающих материалов позволит избежать неверных решений по отнесению РАО к особым РАО.

Предложенная унифицированная структура обоснования по форме изложения аналогична структуре отчетов по обоснованию безопасности, включает оценку принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения, крупноблочное описание альтернативных вариантов захоронения, сравнительную оценку критериальных параметров ПП № 1069 и заключение о выборе принципиального варианта захоронения РАО.

Так как процедура обоснования и принятия решения многоступенчата, в разработанном подходе была принята во внимание различная мотивация вовлеченных и заинтересованных сторон. Например, заинтересованность эксплуатирующих организаций в отнесении РАО к особым РАО заключается, главным образом, в получении бюджетных ресурсов на повышение безопасности пунктов хранения при их консервации и снижении будущих расходов на содержание этих пунктов хранения. Регулирующие органы должны получить гарантии учета требований законодательства Российской Федерации в области использования атомной энергии, охраны окружающей среды, радиационной безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия, выполнения требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии и рекомендаций признанных международных организаций. Органы государственного управления – убедиться в том, что принятая стратегия обращения с федеральной собственностью является наиболее рачительной и безопасной. Американские специалисты, столкнувшиеся со сходной проблемой комплексной оценки экологических и радиологических рисков, сформулировали следующие принципы обоснования стратегического решения [5]:

- прозрачности (Transparency) – полной ясности аргументов;
- простоты (Clarity) – изложения аргументов в форме доступной для понимания всеми заинтересованными сторонами;

- последовательности (Consistency) – соответствия методических подходов, используемых в государственной системе обращения с РАО, подходам, которые применяются для решения других аналогичных задач органами государственного управления и регулирования в области обеспечения радиационной безопасности;
- разумности (Reasonableness)– убедительности аргументов с точки зрения здравого смысла.

Применение указанных принципов, кратко называемых ТССР-принципами, достаточно строго структурировано и унифицировано правилами Агентства по охране окружающей среды США. Подход американских специалистов учитывает научные, политические, правовые и нормативные, технологические, экономические, социальные факторы и общественное мнение, которые пошагово (сценарная разработка, анализ, оценка рисков и издержек, синтез) рассматриваются и оцениваются с целью принятия решения, даже при наличии существенных неопределенностей и недостатка информации. Подобный подход был использован при разработке рекомендаций по подготовке обоснования отнесения РАО к особым РАО.

Проектирование и строительство большинства пунктов хранения накопленных РАО осуществлялось на основе критериев безопасности 50÷70-х годов, которые не совпадают с современными регулирующими требованиями. В последующие периоды эксплуатации пунктов хранения РАО реализовывались меры по их безопасной эксплуатации, лицензируемой в установленном порядке. Однако для некоторых объектов сохранялись определенные недостатки, обусловленные:

- недостаточным инвентарным учетом размещения РАО;
- отсутствием установленных сроков службы инженерных барьеров и систем и т. д.

Кроме того каждый пункт хранения имеет свои особенности и иногда обладает уникальностью. Поэтому для решения поставленной задачи в разработанном подходе были приняты некоторые упрощения:

- принято, что текущее состояние системы обеспечения радиационной безопасности персонала, включая трудозатраты и дозозатраты персонала при обращении с РАО, и радиационной безопасности населения, включая размеры СЗЗ, хозяйственную деятельность и демографическую ситуацию в районе размещения ЯРОО, сохраняются неизменными и на отдаленную перспективу на этапах консервации и захоронения РАО;
- предложены унифицированные крупноблочные сценарии для двух вариантов обращения с РАО: захоронения РАО в месте их нахождения и удаления РАО;
- использован общий подход к оценке периода потенциальной опасности на основе сравнения удельной активности РАО с ПЗУА;
- установлен консервативный подход к оценке коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат на работы в соответствии со сценарием захоронения РАО в месте их нахождения и реалистичный подход к оценке варианта удаления РАО. Тем самым достигается убедительность предпочтения варианта обращения с РАО в месте их нахождения при сравнении точечных оценок критериальных параметров для альтернативных вариантов.

На основе разработанного подхода [4] была создана первая версия научно-технического пособия для эксплуатирующих организаций и проведена апробация методологии на пилотных объектах — пунктах размещения ЖРО и ТРО.

В марте 2014 года Госкорпорацией «Росатом» было организовано совещание в ИБРАЭ РАН, в котором приняли участие представители организаций отрасли (ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», ОАО «ТВЭЛ», ОАО «УЭХК», ОАО «АЭХК», ОАО «НЗХК», ОАО «МСЗ», ОАО «СХК», ОАО «ЧМЗ», ОАО «ПО "ЭХЗ", ФГУП «РосРАО», ФГУП «РАДОН», ОАО «АТОМРЕДМЕТЗОЛОТО», ОАО «ППГХО», ФГУП «НО РАО», Минобороны России), специалисты регулирующих органов (ФБУ «НТЦ ЯРБ», Ростехнадзор, Минприроды России, ФМБЦ им А.И.Бурназяна), ФГБУ «НПО «Гайфун».

На совещании был конкретизирован перечень пунктов хранения РАО, претендующих на признание особыми, и обсуждены перспективы подготовки соответствующих обоснований в контексте графика проведения первичной регистрации РАО и условий их размещения. Основной проблемной темой, установленной в ходе обсуждения, стала тема долгоживущих радионуклидов природного происхождения, в том числе уран-238, в отношении которого выработанные подходы [4], не определяли понятного алгоритма действий.

Цель настоящей публикации заключается в разъяснении уточнений и изменений ранее разработанных принципов, подходов, допущений и процедур, которые рекомендуется использовать для сравнительного анализа радиологических рисков и затрат при обращении с РАО как с особыми РАО или как с удаляемыми РАО.

## 2 Регулирующие требования и принятые концепции

Согласно ПП № 1069:

«1. К особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа, использования ядерных зарядов в мирных целях или вследствие ядерной и (или) радиационной аварии на объекте использования атомной энергии, жидкие радиоактивные отходы, размещенные в поверхностных водоемах — хранилищах радиоактивных отходов общим объемом более 25000 куб. м, введенных в эксплуатацию до вступления в силу Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также донные отложения таких водоемов-хранилищ, соответствующие следующим критериям:

а) рассчитанные в соответствии с регулирующими обращение с радиоактивными отходами федеральными нормами и правилами, а также санитарными правилами в области обеспечения радиационной безопасности коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности радиоактивных отходов и риск потенциального облучения, связанные с удалением радиоактивных отходов, превышают коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности и риск потенциального облучения, связанные с захоронением радиоактивных отходов в месте их нахождения;

б) расходы, связанные с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение), рассчитанные в соответствии с методикой определения состава затрат, утверждаемой Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом», превышают совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения таких радиоактивных отходов в месте их нахождения, рассчитанный в соответствии с законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды, и расходы на захоронение таких радиоактивных отходов в месте их нахождения (включая расходы на перевод пункта хранения радиоактивных отходов в пункт захоронения радиоактивных отходов, его эксплуатацию и закрытие, на обеспечение безопасности в течение всего периода потенциальной опасности радиоактивных отходов);

в) пункт хранения радиоактивных отходов и его санитарно-защитная зона размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохранных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации».

На рис.1 приведена структура критериев, установленных ПП № 1069, которая демонстрирует различную природу ограничений, направленных на обеспечение радиационной безопасности настоящего и будущих поколений и охрану окружающей среды.

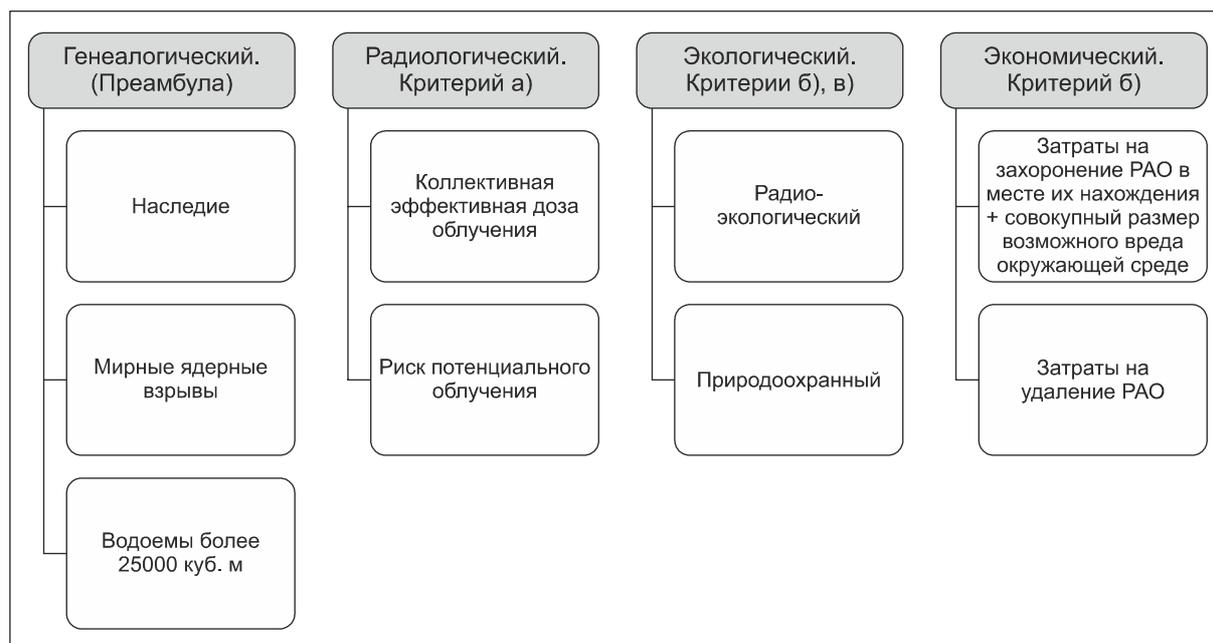


Рисунок 1 — Логическая схема критериев отнесения РАО к особым РАО [3]

Рисунок 1 иллюстрирует следующее:

Во-первых, номенклатура критериев ПП № 1069 не учитывает «иных рисков» нерадиационной природы при категорировании РАО на особые и удаляемые РАО.

Во-вторых, в качестве количественных показателей «рисков, связанных с радиационным воздействием», установлены коллективная эффективная доза облучения, обобщенный риск потенциального облучения (далее – ОРПО) и совокупный размер возможного вреда окружающей среде за весь период потенциальной опасности РАО.

В-третьих, качественный критерий заключался в обязательном требовании размещения пункта хранения РАО и его СЗЗ вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохраных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации. Таким образом, введенные ПП № 1069 критерии представляли собой дополнительные регулирующие требования к действующим федеральным и санитарным нормам и правилам в области обеспечения радиационной безопасности. Специфика этих дополнительных требований состоит в том, что они относятся не к референтным видам, – лицам из критической группы населения и персоналу РОО, а к популяции настоящего и будущих поколений.

Неопределенности долгосрочных оценок критериальных параметров доз, рисков и затрат весьма велики. Они усугубляются отсутствием проектных решений и эксплуатационного опыта обращения с особыми и удаляемыми РАО на этапах консервации и захоронения для многих пунктов размещения РАО. МКРЗ полагает, что относиться к прогнозным оценкам доз и рисков на сотни лет следует скорее, как к индикаторам защиты для принятой схемы захоронения, а не точной мере радиологического и радиэкологического вреда человеку и окружающей среде.

Рассматривая с этой позиции ПП № 1069, назначением сравнительной оценки альтернативных вариантов захоронения является получение убедительного доказательства безопасности и экономической эффективности выбранной стратегии обращения с накопленными РАО для лиц, принимающих решение, и общества.

Приступая к разработке методологического подхода, направленного на реализацию положений №1 90-ФЗ и ПП № 1069, были проанализированы действующие отечественные регулирующие требования и нормы, перспективы их развития в направлении гармонизации с современными международными рекомендациями и стандартами. Принцип минимизации рисков и затрат при оценке альтернативных вариантов захоронения РАО, в основном, представляет собой объединение целей и принципов радиационной безопасности:

- принципа обоснования практической деятельности, который сформулирован в п.2.2 НРБ-99/2009 следующим образом: *«запрещение всех видов деятельности по использованию источников при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением»* [6];
- принципа защиты настоящего и будущего поколений, который применительно к РАО сформулирован в п.3.29 Основополагающих принципах безопасности: *«Обращение с РАО должно быть организовано таким образом, чтобы оно не вело к созданию неоправданных проблем для будущих поколений, т.е. поколения, производящие отходы должны изыскивать и применять рациональные и экологически приемлемые методы долгосрочного обращения с отходами...»* [7].

В новых рекомендациях МКРЗ и нормах МАГАТЭ [8, 9] обращение с РАО может рассматриваться либо в рамках ситуации планируемого облучения, когда этапы обращения с отходами, включая захоронение, являются составной частью технологии использования атомной энергии, либо в рамках ситуации существующего облучения, в случае, если эта ситуация *«уже сложилась к тому моменту, когда было принято решение о введении ее контроля, включая воздействие естественного фона, остаточное облучение от деятельности в прошлом или от радиационных аварий...»*. Фактически подразделение РАО на особые и удаляемые РАО в №190-ФЗ согласуется с этим базовым упрощением современной международной системы радиационной защиты и, следовательно, концепцией граничных доз и референтных уровней, которые следует использовать в указанных ситуациях облучения. Характерным примером ситуации существующего облучения является ситуация на ТКВ ФГУП ПО «Маяк». Однако и для этого очевидного случая, согласно ПП № 1069, необходимо выполнять обоснование отнесения РАО к особым РАО.

В целях контроля облучения населения от захоронений РАО, в том числе для планируемого захоронения долгоживущих РАО, МКРЗ в своих Публикациях 76 и 81, изданных в 1997 и 1998 годах, рекомендовало значение граничной дозы для лиц из населения, не превышающую 0,3 мЗв/год. Это значение было подтверждено в Рекомендациях 2007 года [8], в Санитарных правилах 2.6.1.2622-10 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности на объектах хранения газового конденсата в подземных резервуарах, образованных с применением ядерно-взрывной технологии», в Санитарных правилах 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах про-

ведения (1965-1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях». Однако, в ОСПОРБ-99, СПОРО-2002, ОСПОРБ-99/2010 [10,11,12] были установлены более строгие дозовые ограничения:

*«Годовая эффективная доза облучения критической группы населения при всех видах обращения с радиоактивными отходами до их захоронения не должна превышать 0,1 мЗв. Годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет радиоактивных отходов после их захоронения не должна превышать 0,01 мЗв»* (п. 3.12.19 ОСПОРБ-99/2010 в редакции 2013 г. [12]).

Следовательно, санитарные правила устанавливают требование непревышения уровня пренебрежимо малого индивидуального пожизненного риска  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> после захоронения РАО. Коллективная эффективная доза применяется для обоснования расходов на защиту при реализации принципа оптимизации, что слабо связано с задачей отнесения РАО к тому или иному варианту захоронения РАО [6].

ПП № 1069 не содержит радиологических критериев, относящихся к индивидууму, и годовым интервалам облучения, а оперирует коллективной эффективной дозой за весь период потенциальной опасности. Очевидно расхождение ПП № 1069 с НРБ-99/2009 в части оценки безопасности конечного состояния ПЗРО, так как после перевода пункта размещения или пункта консервации РАО в ПЗРО, с одной стороны, он перестает представлять радиационную опасность (доза не должна превышать 0,01 мЗв/год), а с другой стороны, ПП № 1069 запрещает размещать радиационно безопасный ПЗРО в определенных зонах (критерий в). Эта несоответствие регулирующих требований было проанализировано и стремление к их непротиворечивому сочетанию стало основной целью при разработке методологического подхода реализации ПП № 1069.

Один из предложенных подходов при разработке методологии заключался в применении монетарного подхода для количественной оценки рисков и затрат. Таким путем предполагалось исключить спорные ситуации для ПЗРО, возникающие при невыполнении одного из критериев ПП № 1069. Этот подход был отвергнут в связи с тем, что примат экономической целесообразности по сравнению с радиационной безопасностью и применение упрощенного метода оптимизации «затраты-выгода (cost-benefit analysis)» для стратегического планирования неприемлемы. Учитывая существенно большие затраты на захоронение по сравнению с монетарной стоимостью радиологического и радиозоологического ущерба для любого ПХРО объемом более 300-1000 м<sup>3</sup>, захоронение на месте всегда будет предпочтительнее варианта захоронения удаляемых РАО [13], что противоречит отечественным и международным регулирующим документам [14-19].

Другой предложенный подход был направлен на минимизацию расчетов по обоснованию отнесения РАО к особым РАО. Для этого предлагалось исключить из анализа однотипные этапы обращения с особыми и удаляемыми РАО, например, проведение КИРО, создание инфраструктуры в месте нахождения РАО, и рассматривать только те этапы обращения с РАО, которые вносят наибольший вклад в риски и затраты [20]. Отмечая рациональность такого подхода, специалисты регулирующих органов отметили неполное соответствие расчетных критериальных параметров критериям ПП № 1069.

Наконец, базовый подход, принятый к реализации, предполагает полный анализ критериальных показателей для сценария захоронения в месте нахождения РАО. Допущения, принятые при расчете критериальных показателей, включали следующее:

#### 1. Коллективная доза:

- 1.1. Коллективные эффективные дозы облучения персонала и коллективные эффективные дозы облучения населения рассчитываются отдельно.
- 1.2. Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения, проводится для всех работ, на которых формируется доза персонала, согласно сценарию захоронения РАО в месте их нахождения.
- 1.3. Для обоснования отнесения РАО к особым РАО достаточно, чтобы коллективная эффективная доза облучения персонала, оцененная для ряда работ, предусмотренных сценарием удаления РАО, достоверно превышала полученную оценку коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения.
- 1.4. Оценка и сравнение коллективных эффективных доз облучения населения, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения и удалением РАО, не проводится, если в течение всего периода потенциальной опасности после захоронения РАО в месте нахождения годовая эффективная доза облучения критической группы населения не превышает 10 мкЗв [6, 10]. Основанием для такого вывода могут служить проектные материалы, отчет по обоснованию безопасности и другие научно-технические документы. В этом случае индивидуальный пожизненный риск не будет превышать уровня пренебрежимо малого риска  $10^{-6}$  [6].
- 1.5. Для проведения оценки коллективной эффективной дозы облучения персонала могут использоваться:
  - технологические данные и результаты оценки индивидуальных доз персонала, содержащиеся в проекте консервации при их наличии;
  - регламенты проведения аналогичных работ на данном объекте, данные КИРО и результаты ИДК персонала группы А, задействованного в этих работах (Форма № 1-ДОЗ [21]);

- данные и результаты, полученные на других пунктах хранения РАО, при выполнении аналогичных работ;
  - контрольный уровень дозы, установленный администрацией РОО.
- 1.6. В целях убедительного доказательства безопасности при отнесении РАО к особым РАО рекомендуется проводить консервативную (завышенную) оценку дозы облучения для сценария захоронения РАО в месте их нахождения путем использования верхних оценок трудозатрат при выполнении отдельных операций и радиационной обстановки на рабочих местах.
  - 1.7. Принимается, что на любом этапе обращения с РАО соблюдение установленных дозовых ограничений для персонала достигается на основе эксплуатационных требований, а не путем сменности персонала. Это условие отвечает принципу оптимизации радиационной защиты (принципу ALARA) и соответствует положению МАГАТЭ: «Численность необходимого персонала следует определять только на основе эксплуатационных требований, и ее не следует увеличивать с тем, чтобы обеспечить соблюдение установленных пределов облучения».
2. Обобщенный риск потенциального облучения:
    - 2.1. При проведении работ по обращению с РАО на этапах до захоронения принимаются следующие граничные значения годового обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением): персонал –  $2 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>; население –  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> [6].
    - 2.2. Под величиной риска понимается математическое ожидание последствий облучения персонала и населения [22].
    - 2.3. Так как в отличие от НРБ-99/2009 в ПП № 1069 установлены интегральные показатели риска потенциального облучения, должны быть оценены средние дозы у лиц, вовлеченных в возможные аварийные ситуации, и численность этих лиц.
    - 2.4. Причинами радиационных аварий, могут быть внешние воздействия на объект, вследствие природных и антропогенных чрезвычайных ситуаций, а также технологические аварии на этапах обращения с РАО.
    - 2.5. В качестве исходных данных рекомендуется пользоваться проектом консервации пункта хранения (в случае, если проект разработан), отчетом по обоснованию радиационной безопасности объекта, материалами, использованными для определения категории потенциальной опасности радиационного объекта.
    - 2.6. Для длительных этапов эксплуатации пунктов консервации РАО и ПЗРО (сотни лет) в соответствии с международными нормами предлагается к ситуациям потенциального облучения относить события, которые происходят с вероятностью 1 раз в 100 лет и ниже (менее  $10^{-2}$  год<sup>-1</sup>). Более частые аварийные события и облучение от них должны рассматриваться в рамках аварийного облучения. Аварии с вероятностью:
      - от  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> до  $10^{-2}$  год<sup>-1</sup> относятся к проектным авариям,
      - от  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> до  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> – к гипотетическим авариям,
      - менее  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> можно не принимать во внимание при оценке ОРПО.
  3. Совокупный размер возможного вреда окружающей среде:
    - 3.1. Под совокупным размером возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения в рамках проведения обоснования по отнесению РАО к особым РАО понимается оцененная в денежном эквиваленте гибель объектов живой природы вследствие радиационного воздействия.
    - 3.2. Оценка производится на основе расчета мощностей доз облучения референтных объектов живой природы на территории воздействия пункта хранения РАО и сравнении полученных значений с критериями сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечения радиозэкологической безопасности.
    - 3.3. В качестве такого консервативного критерия экологически безопасного уровня облучения объектов природной среды принимается значение 1 мГр/сут для организмов животного мира, и 10 мГр/сут для организмов растительного мира [23,24,25]. Непревышение этих уровней позволяет утверждать об отсутствии возможного вреда окружающей среде. В случае превышения этих уровней консервативно предполагается гибель объектов живой природы и производится расчет вреда окружающей среде.
    - 3.4. В качестве референтных объектов определены следующие: трава, сосна, мышь, олень, улитка, змея, дождевой червь, водные растения, моллюски, рыба пелагическая и придонная, утка, пчела.
    - 3.5. Оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде производится в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды [26-32].

4. Расходы, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения:
  - 4.1. Изменение стоимости отдельных видов работ по обращению с РАО со временем за счет инфляции путем учета единой и неизменной со временем процентной ставки не учитывается.
  - 4.2. В условиях неопределенности предлагается использовать консервативные (завышенные) оценки расходов для варианта обращения с особыми РАО. Т.к. этапы обращения с удаляемыми РАО зачастую более длительные, чем с особыми РАО, то этот консервативный подход для сравнения затрат соблюдается в полной мере в методике расчета затрат в текущих ценах.
  - 4.3. Оценки затрат проводятся с учетом разработанного проекта консервации пункта хранения РАО, в случае его отсутствия на основе опыта предприятий отрасли при проведении работ по консервации аналогичных пунктов хранения.
5. Расходы, связанные с удалением РАО:
  - 5.1. Оценка затрат, связанных с удалением РАО, проводится в соответствии с «Методикой определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение)» [33].
  - 5.2. Оценка затрат выполняется пошагово и прекращается в том случае, если уже оцененные затраты на удаление позволят достоверно превышать расходы, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения, и совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения.
  - 5.3. Оценку предлагается начинать с наиболее легко оцениваемых и дорогостоящих операций в следующем порядке:
    - затраты на захоронение РАО,
    - затраты на кондиционирование РАО,
    - затраты на транспортировку РАО к пункту захоронения и т.д.

Уточнения и изменения базового подхода [4], приведенные ниже в настоящем препринте касаются:

- установления расчетного периода потенциальной опасности РАО;
- пояснений по применению концепций исключения, изъятия и освобождения (Exclusion/Exemption/Clearance) при оценке коллективной эффективной дозы облучения;
- уточнения диапазонов значений ОРПО, значимых для отнесения РАО к особым РАО;
- условия рассмотрения мест нахождения РАО в рамках общего обоснования.

В основе предлагаемых уточнений находится правовой принцип «deminimis non curat lex—закон не распространяется на пустяки», который негласно является основой в международной системе радиологической защиты для ограничения регулирования радиационной безопасности «снизу». Этот принцип предлагается расширить на обобщенный риск потенциального облучения, совокупный размер возможного вреда окружающей среде.

В таблице 2.1 дана сводка предлагаемых граничных условий при расчете критериальных показателей, которые более подробно ниже.

**Таблица 2.1 Усечение диапазона значений количественных параметров**

Параметр	Концепция усечения	Граничное значение
Период потенциальной опасности	Горизонт научного прогноза, иммобилизация РАО со временем	1000 лет — техногенные радионуклиды 300 лет — природные радионуклиды
Коллективная доза персонала	Незначимый МАЭД на рабочем месте	0,3 мкЗв/ч
Коллективная доза населения	Освобождение от контроля	10 мкЗв/год
ОРПО персонала	Граничный ОРПО до захоронения Диапазон вероятностей событий, приводящих к потенциальному облучению после захоронения	$2 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ $R=10^{-2} \text{ год}^{-1} - 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
ОРПО населения	Граничный уровень ОРПО до захоронения	$R=1,0 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$
Совокупный размер возможного вреда окружающей среде	Пороговое действие излучения Пороговый уровень мощности дозы облучения биоты	Фауна — $1 \text{ мГр/сут}^{-1}$ Флора — $10 \text{ мГр/сут}^{-1}$

### 3 Расчетный период и период потенциальной опасности РАО

Отправным пунктом обоснования принятия решения об отнесении РАО к особым РАО является анализ гидрогеологических условий в месте размещения РАО, существующих естественных и инженерных барьеров безопасности и проектируемых барьеров, которые будут созданы в процессе консервации ПХРО. Этот анализ с оценками миграции радионуклидов из ПХРО в окружающую среду и уровней облучения человека должен подтвердить безопасность населения на весь период потенциальной опасности РАО. Согласно Федеральному закону № 190-ФЗ и НП-055-04 [1, 14] период потенциальной опасности РАО определен, как срок, в течение которого уровни радиоактивности РАО, снижаются до показателей, при которых не требуется радиационный контроль.

Наиболее консервативная оценка периода потенциальной опасности ТРО, которая была использована в базовом подходе [4], исходила из критериев ПП № 1069 [3], устанавливающих границу РАО в форме предельных значений удельной активности радионуклидов ( $ПЗУA_i$ ), ниже которой РАО принципиально перестают быть таковыми. Для смеси радионуклидов период потенциальной опасности  $T$  – это срок, по истечении которого сумма отношений максимальных удельных активностей радионуклидов ( $УA_i(T)$ ) в отходах к их предельным значениям ( $ПЗУA_i$ ) не превышает 1, т.е.:

$$\sum_i \frac{УA_i(T)}{ПЗУA_i} \leq 1 \quad (3.1)$$

Этот подход предлагалось использовать как для короткоживущих радионуклидов (включая цезий-137), так и долгоживущих радионуклидов, включая примордиальные радионуклиды, к которым относятся уран-235, торий-232 и уран-238. Однако практическое использование этого консервативного подхода в эксплуатирующих организациях, где накопленные в хвостохранилищах или могильниках ТРО, содержат природные радионуклиды, приводило к абсурдному выводу: ОНРАО (согласно ОСПОРБ-99/2010), относящиеся к 6 классу для удаляемых РАО, сохраняют свою потенциальную опасность миллионы лет, и в течение этого периода должны находиться под радиационным контролем. Причину следует искать в чрезмерно завышенных требованиях российских норм и правил в отношении дозового квотирования по сравнению с международными стандартами. В разделе 2 настоящего препринта указывались различия в значениях граничных доз в терминах МКРЗ и МАГАТЭ и квот от предела дозы в терминах НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 от 10 до 300 мкЗв/год.

Распространение концепции дозового квотирования, которое в НРБ-99/2009 применяется только для техногенного облучения, на природные источники, исходя из их «ведомственной» принадлежности атомной промышленности, не является изобретением отечественного санитарного нормирования. Подобный подход особого рассмотрения всех этапов ЯТЦ, включая добычу урановых руд и обращение с их отходами, характерен и для стандартов МАГАТЭ. Более рациональная позиция предлагается МКРЗ, в которой ограничение облучения от природных источников относят к ситуации существующего облучения. В отношении РАО, содержащих природные радионуклиды, предлагается использовать в качестве критерия отнесения к РАО повышенные уровни удельной активности, характерные, например, для урановых месторождений.

Следует также учитывать, что сценарии облучения, принятые для обоснования уровней изъятия в документах МАГАТЭ [9, 17] (соответственно МЗУА в НРБ-99/2009), исходили из наиболее неблагоприятных условий внешнего и внутреннего облучения от источников ограниченной массы (массой около тонны). Из совокупности оценок удельной активности радионуклидов, приводящих к годовой дозе 10 мкЗв, были выбраны наиболее низкие значения удельной активности, которые и были зафиксированы в форме уровней изъятия. Теперь значения МЗУА перенесены на РАО в форме ПЗУА в ПП № 1069 без учета влияния природных и инженерных барьеров безопасности на снижение доз облучения населения в сравнении с постулированными консервативными сценариями облучения. Для типового сценария эволюции системы захоронения РАО определяющим является удельная активность радионуклидов в источниках водоснабжения вблизи ПХРО в воде и ее сравнение с уровнем вмешательства УВ (Приложение 2а НРБ-99/2009).

Для смеси нескольких природных и техногенных радионуклидов в воде никакие мероприятия по снижению радиоактивности в питьевой воде не требуются при условии:

$$\sum_i \frac{A_i}{УВ_i} \leq 1 \quad (3.2)$$

Таким путем может быть очерчен ареал распространения радионуклидов, соответствующий ожидаемой эффективной дозе за счет потребления населением питьевой воды, равный 0,1 мЗв/год, но не

0,01 мЗв/год, как это установлено в ОСПОРБ-99/2010 для этапа после захоронения РАО. А это расхождение критериев радиационной безопасности населения может оказаться существенным при расчете размеров СЗЗ и проверке соблюдения природоохранного критерия в) ПП № 1069 (см. рис. 1).

Для рассмотрения коллизии, связанной с соблюдением дозовых ограничений [6] и с безусловным освобождением от радиационного контроля и учета источников [10] требуется рассмотреть основные сценарии эволюции системы захоронения радиоактивных отходов в месте их нахождения, как «... *последовательностей связанных между собой событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов, определяющих эволюцию системы захоронения РАО, миграцию радионуклидов в окружающую среду и уровни облучения человека [14]*».

В федеральном законе № 190-ФЗ (статья 17) четко разграничиваются понятия обычного радиационного контроля и периодического радиационного контроля после его закрытия: «*Организация, эксплуатирующая пункт захоронения радиоактивных отходов, проводит радиационный контроль в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения, установленных для такого пункта захоронения, с учетом его последующего закрытия и необходимости проведения периодического радиационного контроля на период потенциальной опасности размещенных в нем радиоактивных отходов*».

На этапах КИРО, создания инженерных барьеров безопасности, консервации пункта размещения РАО и эксплуатации ПХРО радиационный контроль, включая радиометрический и дозиметрический контроль, проводится по программе, сходной с радиационным контролем при нормальной эксплуатации источника. Данные такого радиационного контроля могут служить основанием для проведения реконструкции барьеров безопасности и других корректирующих действий.

После закрытия ПЗРО периодический радиационный контроль предназначен для долговременного мониторинга миграции радионуклидов и не предполагает корректирующих действий, т.е. дополнительных затрат на радиационную безопасность. При этом периодический радиационный контроль также в качестве такого корректирующего действия не рассматривается. Более того, в законе № 190-ФЗ (статья 13, п. 5) указывается, что: «*После закрытия пункта захоронения радиоактивных отходов и истечения периода потенциальной опасности размещенных в нем радиоактивных отходов орган государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами по согласованию с органами государственного регулирования безопасности принимает решения о прекращении периодического радиационного контроля на территории размещения такого пункта захоронения и о внесении соответствующих изменений в кадастр пунктов хранения радиоактивных отходов*» [1].

В статье также описана процедура установления требований к проведению периодического радиационного контроля после закрытия пунктов захоронения радиоактивных отходов. Предусмотрено, что требования и порядок его проведения устанавливаются органом государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами по согласованию с органами государственного регулирования безопасности.

Сегодня можно предположить, что при рациональном подходе периодический радиационный контроль будет проводиться в нескольких ключевых точках, характеризующих миграцию радионуклидов, с выполнением пробоотбора и контрольных замеров с увеличивающейся скважностью 10 лет, потом 50 лет, затем 100 и более лет. Можно даже предположить, что проектом преобразования пункта консервации в ПЗРО будет обосновано отсутствие необходимости его ведения вообще, другими словами, завершения периода потенциальной опасности.

Выработка требований к организации периодического радиационного контроля и условия его отмены определяется следующими долговременными процессами и явлениями:

- радиоактивным распадом;
- деградацией барьеров безопасности;
- снижением концентраций радионуклидов вследствие их выноса за пределы защитных барьеров.

В простом случае, для короткоживущих радионуклидов, включая цезий-137, когда период потенциальной опасности РАО, размещенных в рассматриваемом пункте хранения, находится в диапазоне прогнозируемых социально-экономических процессов, в качестве расчетного периода используется период потенциальной опасности РАО, учитывающий только радиоактивный распад:

$$YA_i(T) = YA_i^0 \exp\left(-\frac{T \ln 2}{(T_{1/2})_i}\right), \quad (3.3)$$

где  $(T_{1/2})_i$  — период полураспада  $i$ -го радионуклида;  $YA_i^0$  — средняя удельная активность  $i$ -го радионуклида на дату расчета.

В табл. 3.1 приведены значения периода потенциальной опасности отдельных радионуклидов с периодом полураспада менее 100 лет для *различных значений кратности снижения удельной активности от начальной до ПЗВА*.

**Таблица 3.1 Период потенциальной опасности (годы) отдельных радионуклидов в зависимости от необходимой кратности снижения начальной удельной активности до уровня ПЗУА**

Радионуклид	T <sub>1/2</sub> , лет	Кратность снижения удельной активности радионуклидов, (VA <sub>i</sub> <sup>0</sup> /ПЗУА <sub>i</sub> )								
		5	10	50	100	500	1 000	10 000	100 000	1 000 000
<sup>3</sup> H	1,23·10 <sup>1</sup>	2,86·10 <sup>1</sup>	4,09·10 <sup>1</sup>	6,94·10 <sup>1</sup>	8,17·10 <sup>1</sup>	1,10·10 <sup>2</sup>	1,23·10 <sup>2</sup>	1,63·10 <sup>2</sup>	2,04·10 <sup>2</sup>	2,45·10 <sup>2</sup>
<sup>22</sup> Na	2,6	6,04	8,64	1,47·10 <sup>1</sup>	1,73·10 <sup>1</sup>	2,33·10 <sup>1</sup>	2,59·10 <sup>1</sup>	3,46·10 <sup>1</sup>	4,32·10 <sup>1</sup>	5,18·10 <sup>1</sup>
<sup>60</sup> Co	5,27	1,22·10 <sup>1</sup>	1,75·10 <sup>1</sup>	2,97·10 <sup>1</sup>	3,50·10 <sup>1</sup>	4,73·10 <sup>1</sup>	5,25·10 <sup>1</sup>	7,00·10 <sup>1</sup>	8,76·10 <sup>1</sup>	1,05·10 <sup>2</sup>
<sup>63</sup> Ni	9,60·10 <sup>1</sup>	2,23·10 <sup>2</sup>	3,19·10 <sup>2</sup>	5,42·10 <sup>2</sup>	6,38·10 <sup>2</sup>	8,61·10 <sup>2</sup>	9,57·10 <sup>2</sup>	1,28·10 <sup>3</sup>	1,59·10 <sup>3</sup>	1,91·10 <sup>3</sup>
<sup>90</sup> Sr	2,91·10 <sup>1</sup>	6,76·10 <sup>1</sup>	9,67·10 <sup>1</sup>	1,64·10 <sup>2</sup>	1,93·10 <sup>2</sup>	2,61·10 <sup>2</sup>	2,90·10 <sup>2</sup>	3,87·10 <sup>2</sup>	4,83·10 <sup>2</sup>	5,80·10 <sup>2</sup>
<sup>137</sup> Cs	3,02·10 <sup>1</sup>	7,01·10 <sup>1</sup>	1,00·10 <sup>2</sup>	1,70·10 <sup>2</sup>	2,01·10 <sup>2</sup>	2,71·10 <sup>2</sup>	3,01·10 <sup>2</sup>	4,01·10 <sup>2</sup>	5,02·10 <sup>2</sup>	6,02·10 <sup>2</sup>
<sup>152</sup> Eu	1,33·10 <sup>1</sup>	3,09·10 <sup>1</sup>	4,42·10 <sup>1</sup>	7,51·10 <sup>1</sup>	8,84·10 <sup>1</sup>	1,19·10 <sup>2</sup>	1,33·10 <sup>2</sup>	1,77·10 <sup>2</sup>	2,21·10 <sup>2</sup>	2,65·10 <sup>2</sup>
<sup>192</sup> Ir	7,40·10 <sup>1</sup>	1,72·10 <sup>2</sup>	2,46·10 <sup>2</sup>	4,18·10 <sup>2</sup>	4,92·10 <sup>2</sup>	6,64·10 <sup>2</sup>	7,38·10 <sup>2</sup>	9,83·10 <sup>2</sup>	1,23·10 <sup>3</sup>	1,48·10 <sup>3</sup>
<sup>238</sup> Pu	8,77·10 <sup>1</sup>	2,04·10 <sup>2</sup>	2,91·10 <sup>2</sup>	4,95·10 <sup>2</sup>	5,83·10 <sup>2</sup>	7,86·10 <sup>2</sup>	8,74·10 <sup>2</sup>	1,17·10 <sup>3</sup>	1,46·10 <sup>3</sup>	1,75·10 <sup>3</sup>
<sup>241</sup> Pu	1,44·10 <sup>1</sup>	3,34·10 <sup>1</sup>	4,78·10 <sup>1</sup>	8,13·10 <sup>1</sup>	9,57·10 <sup>1</sup>	1,29·10 <sup>2</sup>	1,44·10 <sup>2</sup>	1,91·10 <sup>2</sup>	2,39·10 <sup>2</sup>	2,87·10 <sup>2</sup>
<sup>243</sup> Cm	2,85·10 <sup>1</sup>	6,62·10 <sup>1</sup>	9,47·10 <sup>1</sup>	1,61·10 <sup>2</sup>	1,89·10 <sup>2</sup>	2,56·10 <sup>2</sup>	2,84·10 <sup>2</sup>	3,79·10 <sup>2</sup>	4,73·10 <sup>2</sup>	5,68·10 <sup>2</sup>

Период потенциальной опасности для смеси радионуклидов можно оценить с помощью таблицы 3.1. В составе РАО выбираются радионуклиды, по которым необходимо добиться больших кратностей снижения активности. Для них оценивается период потенциальной опасности. Если у нескольких радионуклидов периоды потенциальной опасности примерно совпадают, то в качестве верхней оценки периода потенциальной опасности РАО используется наибольшее значение периода потенциальной опасности для отдельного радионуклида, увеличенное на один – два периода полураспада радионуклида с большим периодом полураспада. Более точно оценка периода потенциальной опасности за счет радиоактивного распада может быть выполнена с использованием программных средств, например, «Mathcad», «Excel» и др.

Из данных таблицы 3.1 следует, что для радионуклидов с периодами полураспада менее 100 лет период потенциальной опасности РАО, как правило, не превышает 1000 лет. Инженерные барьеры ПЗРО (пункта консервации) могут обеспечить изоляцию короткоживущих радионуклидов от окружающей среды на весь срок их потенциальной опасности.

Однако при рассмотрении вопросов обеспечения безопасности захоронения долгоживущих радионуклидов следует учитывать, что роль инженерных барьеров безопасности ограничена первыми сотнями лет от закрытия пункта захоронения (консервации). За рамками этого периода изолирующая роль этих барьеров может быть утрачена за счет их деградации. В этих условиях важным фактором уменьшения активности в пункте хранения может стать миграция в среде, вследствие которой активность перераспределяется в пространстве, что влечет за собой уменьшение ее удельной величины в теле РАО.

Оценка уменьшения активности РАО с учетом миграции проведена с использованием классического уравнения адвекции-диффузии для точечного источника с учетом распада и на основе численных решений с использованием программного комплекса MODFLOW [34].

Аналитическое решение определяется по формуле:

$$VA_i^m(T) = \frac{A_i^0 \cdot e^{-\lambda_i T}}{4\pi D_i T / \theta_i^{ef}}, \quad (3.4)$$

где  $VA_i^m(T)$  — удельная активность  $i$ -радионуклида в матрице ПХРО с учетом распада и миграции, Бк/кг;  $A_i^0$  — суммарная активность, содержащаяся в хранилище РАО, Бк;

$$A_i^0 = VA_i^0 \cdot V_0, \quad (3.5)$$

где  $V_0$  — объем хранилища РАО, м<sup>3</sup>;

$\lambda_i$  — постоянная распада радионуклида, 1/год;

$D_i = D_i^{dif} + D_i^{disp}$  — коэффициент гидродисперсии, м<sup>2</sup>/год;

$D_i^{dif}$  — коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/год;

$D_i^{disp}$  – коэффициент дисперсии, м<sup>2</sup>/год;  
 $\theta^{ef}$  – эффективная пористость среды:

$$\theta_i^{ef} = \theta \cdot R_i = \theta \cdot \left( 1 + \frac{\rho \cdot K_{di}}{\theta} \right), \quad (3.6)$$

где  $\theta$  – активная пористость среды;  
 $R_i$  – коэффициент задержки радионуклида в среде для  $i$ -го радионуклида;  
 $K_{di}$  – коэффициент распределения радионуклида между подвижной и неподвижной фазой, м<sup>3</sup>/кг;  
 $\rho$  – объемная плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

Получим

$$YA_i^m(T) = \frac{YA_i^1(T)}{K_m}, \quad (3.7)$$

где  $YA_i^1(T)$  – удельная активность  $i$ -радионуклида на момент времени  $T$  с учетом только радиоактивного распада.

Таким образом, учет миграции вносит дополнительный множитель (кратность снижения удельной активности за счет миграции) в расчетную формулу для активности:

$$K_m = \frac{4\pi D_i T}{\theta_i^{ef} V_0} = \frac{4\pi D_i T}{(\theta + \rho \cdot K_{di}) V_0}. \quad (3.8)$$

В табл.3.4, 3.6 приведены значения этого коэффициента для различных сред и различных радионуклидов, с учетом значений параметров в табл. 3.2, 3.3, 3.5. Значение коэффициента молекулярной диффузии принято равным  $3,65 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/год.

Коэффициент дисперсии:

$$D_i^{disp} = \alpha_L \cdot v, \quad (3.9)$$

где  $\alpha_L$  – продольная дисперсивность, м;  
 $v$  – скорость фильтрации, м/год, которая определяется как

$$V = K_\phi \cdot I / n_a, \quad (3.10)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации отложений, м/сут;  
 $I$  – градиент напора подземных вод;  
 $n_a$  – активная пористость.

Величину продольной дисперсивности принимаем равной 0,17 длины миграции (скорость фильтрации на время расчета) или 10 м для численных расчетов с помощью MODFLOW.

Для расчета скорости фильтрации берем значение градиента напора равным 0,003, а коэффициент фильтрации приведен в табл. 3.2. Объемную плотность грунта оценим, как 1600 кг/м<sup>3</sup>.

Объем хранилища для оценок выбран равным 10000 м<sup>3</sup>.

**Таблица 3.2 Параметры расчета для различных грунтов.**

Параметр	Условное обозначение	Единица измерения	Почва			
			пески	супесь	суглинок	глина
Градиент напора подземных вод	$I$	б/р	0,003	0,003	0,003	0,003
Коэффициент фильтрации отложений	$K_\phi$	м/сут	1	0,05	0,01	0,001
Активная пористость	$n_a$	б/р	0,2	0,14	0,1	0,06
Скорость фильтрации	$v$	м/год	1,09575	0,054788	0,0109575	0,001096

**Таблица 3.3 Коэффициенты распределения радионуклидов ( $K_d$ ) для различных грунтов (в г/см<sup>3</sup>)**

Элемент	Почва				
	Песчаная	Суглинок	Глина	Богатая органическим веществом	Карбонатная
Уран	35 (0,03-2200)	15 (0,2-4500)	1600 (46-3,95·10 <sup>5</sup> )	410 (33-7350)	–
Америций	1900 (8,2-300000)* 810** 1-47230	9600 (400-48309)	8400 (25-400000)	112000 (6400-450000)	
Плутоний	5-130***	130-520**	620-3130**	–	–
Хлор-36	0	0	0	0	0
Углерод-14	0,2-4				N*10

\* – Thibault, D. H., M. I. Sheppard, and P. A. Smith. 1990. *A Critical Compilation and Review of Default Soil Solid/Liquid Partition Coefficients,  $K_d$ , for Use in Environmental Assessments*. AECL-10125, Whiteshell Nuclear Research Establishment, Atomic Energy of Canada Limited, Pinawa, Canada.

\*\* – Baes, C. F., III, and R. D. Sharp. 1983. “A Proposal for Estimation of Soil Leaching and Leaching Constants for Use in Assessment Models.” *Journal of Environmental Quality*, 12:17-28.

\*\*\* – концентрация растворенного карбонат-иона до 6 мг-экв./дм<sup>3</sup>.

Для консервативной оценки выноса радионуклидов из хранилища на период 100 тысяч лет, учитывая только задерживающую способность геологического барьера, использовалась программа MT3DMS [35] для расчета миграции и MODFLOW [34] для расчета движения подземных вод с учетом процессов фильтрации подземных вод, сорбции и радиоактивного распада радионуклидов, диффузионного и конвективного переноса радионуклидов.

В табл. 3.4 приведены значения кратности снижения удельной активности за счет миграции радионуклидов  $K_m$ .

**Таблица 3.4 Значения кратности снижения удельной активности за счет миграции радионуклидов  $K_m$  (отношение величины удельной активности на момент времени  $T$ , уменьшающейся за счет распада, к удельной активности за счет распада и миграции) для различных грунтов, рассчитанные с использованием программного комплекса MODFLOW.**

**А. Пески**

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	500 лет	1000 лет	10 тыс. лет	100 тыс. лет
<sup>14</sup> C	5,73 10 <sup>3</sup>	7,2	14,4	121,8	
<sup>36</sup> Cl	3,01 10 <sup>5</sup>	111,2	186,3		
<sup>239</sup> Pu	2,41 10 <sup>4</sup>	1,23	1,40	5,35	
<sup>241</sup> Am	4,32 10 <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,14	
<sup>238</sup> U	4,47 10 <sup>9</sup>	1,32	1,72	9,4	

**Б. Супесь**

<sup>14</sup> C	5,73 10 <sup>3</sup>	1,31	1,70	7,6	63,6
<sup>36</sup> Cl	3,01 10 <sup>5</sup>	9,3	18,2	153,3	
<sup>239</sup> Pu	2,41 10 <sup>4</sup>	1,0	1,0	1,2	
<sup>241</sup> Am	4,32 10 <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,1	
<sup>238</sup> U	4,47 10 <sup>9</sup>	1,01	1,05	1,9	10,8

**В. Суглинок**

<sup>14</sup> C	5,73 10 <sup>3</sup>	1,02	1,09	1,67	7,0
<sup>36</sup> Cl	3,01 10 <sup>5</sup>	2,3	3,3	24,1	
<sup>239</sup> Pu	2,41 10 <sup>4</sup>	1,0	1,0	1,02	1,25
<sup>241</sup> Am	4,32 10 <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> U	4,47 10 <sup>9</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0

**Г. Глина**

<sup>14</sup> C	5,73 10 <sup>3</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0
<sup>36</sup> Cl	3,01 10 <sup>5</sup>	1,02	1,05	1,76	9,0
<sup>239</sup> Pu	2,41 10 <sup>4</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0
<sup>241</sup> Am	4,32 10 <sup>2</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0
<sup>238</sup> U	4,47 10 <sup>9</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0

На рисунках 2-5 показаны границы распространения радионуклидов на разные времена. Границей РАО условно считаем линию фронта распространения РАО, на которой удельная активность воды сравнивается со значением ПЗУА. В качестве начальной удельной активности  $UA_i^0$  были взяты средние из диапазона значений удельной активности САО для бета-излучающих и трансурановых радионуклидов в соответствии с принятыми ПП № 1069 критериями классификации РАО ( $5 \cdot 10^6$  Бк/г для бета-излучающих,  $5 \cdot 10^4$  Бк/г для трансурановых радионуклидов).

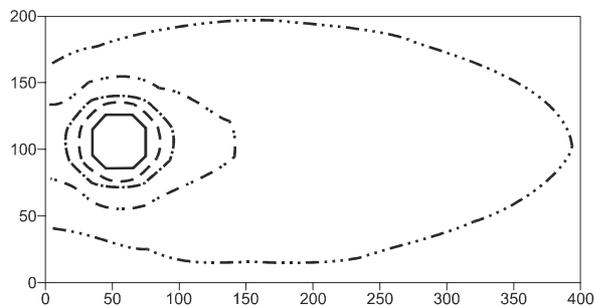


Рисунок 2 — Распространение  $^{36}\text{Cl}$  (границы с концентрацией  $5 \cdot 10^6$  Бк/г) на времена 0 (сплошная линия), 500 (пунктир), 1000 (пунктир с точкой), 10 000 (пунктир с двумя точками), 100 000 (пунктир с тремя точками) лет в суглинках

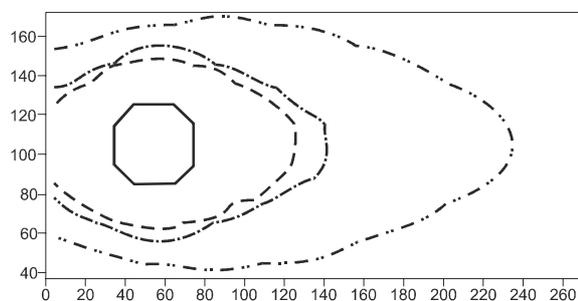


Рисунок 3 — Распространение  $^{239}\text{Pu}$  (границы с концентрацией  $5 \cdot 10^4$  Бк/г) на времена 0 (сплошная линия), 500 (пунктир), 1000 (пунктир с точкой), 10 000 (пунктир с двумя точками) лет в суглинках

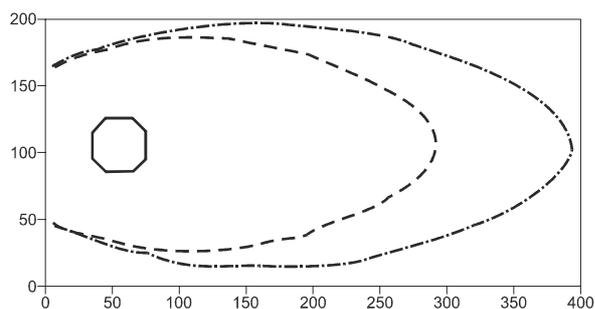


Рисунок 4 — Распространение  $^{14}\text{C}$  (границы с концентрацией  $5 \cdot 10^6$  Бк/г) на времена 0 (сплошная линия), 500 (пунктир), 1000 (пунктир с точкой) лет в суглинках

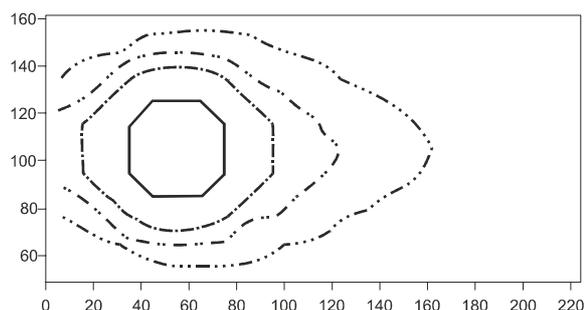


Рисунок 5 — Распространение радионуклидов (границы ПЗУА) в течение 100 лет в суглинках ( $^{238}\text{U}$  – сплошная линия,  $^{241}\text{Am}$  – пунктирная,  $^{239}\text{Pu}$  – пунктирная с точкой,  $^{14}\text{C}$  – пунктирная с двумя точками,  $^{36}\text{Cl}$  – пунктирная с тремя точками)

Результаты расчетов показывают, что предполагаемые коэффициенты  $K_m$  могут быть весьма значимыми для подвижных радионуклидов.

Таблица 3.5. Изменение концентрации (в Бк/м<sup>3</sup>) радионуклидов в 50 м от хранилища вниз по потоку

**А. Пески**

Время, года	$^{14}\text{C}$	$^{36}\text{Cl}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{238}\text{U}$
500	$1,1 \cdot 10^9$	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$6,8 \cdot 10^5$	0,11	$5 \cdot 10^6$
1000	$1,5 \cdot 10^7$	0	$7,6 \cdot 10^6$	1,22	$4,7 \cdot 10^7$
10000	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0	$4,6 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^6$

**Б. Супесь**

Время, года	$^{14}\text{C}$	$^{36}\text{Cl}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{238}\text{U}$
500	$3,1 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^3$

1000	$2,7 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$2,5 \cdot 10^4$
10000	$3,7 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^{-27}$	$3,4 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^{-12}$	$6,4 \cdot 10^7$
100000	$7 \cdot 10^{-10}$	0	$4,5 \cdot 10^5$	0	$2,4 \cdot 10^6$

### В. Суглинок

Время, года	$^{14}\text{C}$	$^{36}\text{Cl}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{238}\text{U}$
500	$1,3 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{10}$	$1,310^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-13}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
1000	$1,4 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-12}$	$9,6 \cdot 10^{-3}$
10000	$4,3 \cdot 10^9$	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^{-13}$	$1,2 \cdot 10^2$
100000	2,7	0	$2,3 \cdot 10^5$	0	$2,0 \cdot 10^7$

### Г. Глина

Время, года	$^{14}\text{C}$	$^{36}\text{Cl}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{238}\text{U}$
500	$3 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^6$	0	0	0
1000	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,75 \cdot 10^8$	0	0	$6 \cdot 10^{-13}$
10000	$4,3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^{-12}$	0	$9 \cdot 10^{-8}$
100000	$6,4 \cdot 10^4$	0	$1,2 \cdot 10^{-8}$	0	$3 \cdot 10^{-4}$

С другой стороны, выход радионуклидов из ПЗРО ограничивается критерием скорости выщелачивания и выхода из упаковки. Демонстрация возможности динамики выхода радионуклидов из матрицы в супесчаный грунт без учета барьеров безопасности представлен на рисунке 6. Начальные удельные активности взяты по экспертным усредненным оценкам состава и активности РАО, образующихся в ПЯТЦ (3 класс РАО) (таблица 3.6). При задании скорости выхода радионуклидов из матрицы и упаковки рассматривался максимально консервативный вариант, соответствующий требованиям к форме и упаковке РАО, устанавливаемым в Проекте федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости РАО для захоронения» [36]. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса GeRa [37, 38], разработанного в ИБРАЭ РАН.

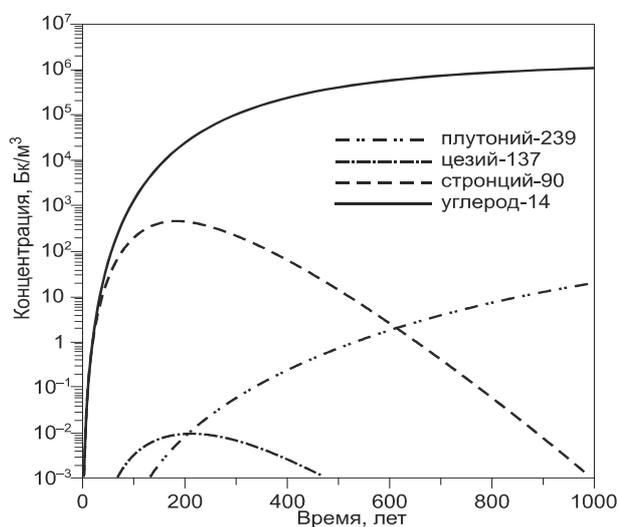


Рисунок 6 — Изменение содержания радионуклидов в супесях на расстоянии в 50 м от хранилища

Таблица 3.6. Начальная активность РАО в ПЗРО для демонстрационного расчета выхода радионуклидов из матрицы в супесчаный грунт без учета барьеров безопасности

Нуклид	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{14}\text{C}$
Скорость выщелачивания, г/см <sup>2</sup> сут	$2,70 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Скорость выхода из упаковки, 1/год	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Начальная активность в ПЗРО, Бк	$6,96 \cdot 10^{14}$	$2,32 \cdot 10^{14}$	$4,38 \cdot 10^{11}$	$2,42 \cdot 10^{12}$

Как показывают результаты численных расчетов на расстоянии в 50 м от ПЗРО короткоживущие радионуклиды не представляют опасности уже через 1000 лет после консервации ПЗРО; долгоживущие низкосорбируемые радионуклиды ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ) выходят на пик концентрации уже в первые 500 лет, а долгоживущие высокосорбируемые радионуклиды ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ) показывают приближение к своему пику концентрации.

**Таблица 3.6. Сводка значений кратности снижения удельной активности за счет миграции радионуклидов  $K_m$  (отношение величины удельной активности на момент времени  $T$ , уменьшающейся за счет распада, к удельной активности за счет распада и миграции) для различных вмещающих сред, рассчитанные с использованием программного комплекса MODFLOW.**

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	T, лет	$K_{распад}$	$K_m$ для типов вмещающей среды			
				пески	супесь	суглинок	глина
$^{14}C$	$5,73 \cdot 10^3$	500	1,06	7,19	1,31	1,02	1,0
		1000	1,13	14,4	1,70	1,09	1,0
$^{36}Cl$	$3,01 \cdot 10^5$	500	1,0	111	9,26	2,25	1,02
		1000	1,0	186	18,2	3,29	1,05
$^{239}Pu$	$2,41 \cdot 10^4$	500	1,01	1,23	1,0	1,0	1,0
		1000	1,03	1,40	1,0	1,0	1,0
$^{241}Am$	$4,32 \cdot 10^2$	500	2,23	1,0	1,0	1,0	1,0
		1000	4,95	1,0	1,0	1,0	1,0
$^{238}U$	$4,47 \cdot 10^9$	500	1,0	1,32	1,01	1,0	1,0
		1000	1,0	1,72	1,05	1,0	1,0

Поскольку в основном ПЗРО располагаются в стандартных для приповерхностных отложений геологических условиях, которые, как правило, представлены песчано-глинистыми отложениями, которые соответствуют супесям или суглинкам в проведенных расчетах, можно говорить, что при проводимом мониторинге в первые 1000 лет после консервации (что принципиально возможно), можно предсказать будет ли ПЗРО безопасным в будущем и в случае необходимости провести соответствующие мероприятия.

Проведенные оценки, вкупе с распределением финансовых затрат во времени, позволяют предложить для долгоживущих техногенных радионуклидов применение в целях обоснования отнесения РАО к особым РАО взамен периода потенциальной опасности ограничиться расчетным периодом 1000 лет. В качестве элементов обоснования такого подхода следует привести:

- Особенности миграции долгоживущих радионуклидов (табл. 3.4, 3.6, рисунки 2-5). Для подавляющего большинства долгоживущих радионуклидов вынос активности за пределы пункта консервации в условиях полной деградации техногенных барьеров крайне мал или отсутствует для всех типов вмещающих сред, кроме песков, которые могут быть признаны достаточно неблагоприятными для создания пункта консервации. Исключениями являются углерод-14 и хлор-36, выход которых за пределы пункта консервации возможен даже в глинах.
- Одинаковый уровень неопределенностей оценок, характерный и для варианта захоронения на месте и для варианта удаления и захоронения в специально созданном пункте захоронения.
- Соответствие зарубежной практике обращения с природными радионуклидами.

**Для природных (примордиальных) радионуклидов**, к которым относятся  $^{235}U$ ,  $^{232}Th$  и  $^{238}U$ , предлагается в качестве периода потенциальной опасности рассматривать 300 лет, так как согласно НРБ-99/2009 система ограниченный природного излучения (раздел 5.3) отличается от ограничения техногенного облучения (разделы 1.4, 3.1 НРБ-99/2009). Следует отметить, что уровень удельной активности для отнесения отходов к РАО по урану-238 (10 Бк/г) существенно ниже или сопоставим с его концентрациями в недрах урановых месторождений. Содержание природного урана-238 в месторождениях достигает нескольких процентов, а в ряде случаев и десятков процентов, то есть значений более 100 Бк/г. Реально концентрация урана-238 в пунктах консервации на территории Российской Федерации не превышает 1/10 концентраций в лучших урановых месторождениях мира.

Международные рекомендации в этом отношении, предлагая использовать в качестве критерия отнесения к РАО повышенные уровни удельной активности, характерные, например, для урановых месторождений, исходят из следующей логики:

- отходы, содержащие уран, не предполагаются для использования, и после консервации ПХРО практически не мигрируют за пределы барьеров;
- на территориях с повышенным радиационным фоном за счет пород, содержащих повышенные концентрации природных радионуклидов, природное облучение исключается из системы радиационной защиты, так как на него практически невозможно влиять;
- если по результатам многолетнего мониторинга после консервации ПХРО будет доказано, что установленные гигиенические нормативы в отношении радионуклидов, входящих в естественные

ряды уран-238, торий-232 и уран-235, соблюдаются, то это будет служить доказательством завершения периода потенциальной опасности;

- на период 300 лет возможно относительно надежное прогнозирование эрозии покрывающих слоев пункта консервации.

## 4 Возможное влияние изменений федеральных и санитарных норм и правил на отнесение РАО к особым РАО

Исходным положением при обосновании отнесения РАО к особым РАО является соблюдение действующих регулирующих требований в области радиационной безопасности и использования атомной энергии. Однако можно уверенно прогнозировать, что существующая нормативная база применительно к обращению с особыми РАО в ближайшие годы будет детализироваться и изменяться. Предпосылки для такой эволюции связаны, как с предстоящим пересмотром отечественных норм радиационной безопасности в сторону их сближения с международными стандартами, так и кардинальной ревизией требований по обращению с РАО, которые применялись в период накопления ядерного и радиационного наследия, и продолжают использоваться на некоторых действующих пунктах размещения РАО. Возникает вопрос, как предполагаемые изменения могут повлиять на процесс принятия решения.

Кратко обсудим некоторые чувствительные темы.

### 4.1 Дозовое квотирование

Ограничение облучения населения в нормальных условиях при воздействии на население нескольких техногенных источников достигается путем установления дозовых квот для каждого источника [6]. Принятие решения по установлению квот является обязанностью регулирующего органа, который в качестве исходного постулата принимает соблюдение дозового предела от всех источников для критической группы населения. В рекомендациях МКРЗ ограничение облучения от отдельного источника является результатом оптимизации радиационной защиты (source-related approach), которую осуществляет проектная или эксплуатирующая организация, и установления граничной дозы. Суммарное облучение от всех источников (individual-related approach) и применение дозового предела является вторичным в практической системе радиационной безопасности населения:

*«(199) Можно оспорить тот факт, что ориентированное на источник ограничение не сможет обеспечить защиту, если присутствует множество источников. Однако Комиссия подразумевает, что обычно существует основной источник облучения, так что выбор надлежащего контрольного или граничного уровня обеспечит адекватный уровень защиты. Комиссия, по-прежнему считает, что ориентированный на источник принцип оптимизации в диапазоне ниже граничного или референтного уровня является наиболее эффективным инструментом для обеспечения защиты в любых ситуациях облучения.»*

*(200) В особых случаях ситуаций планируемого облучения могут потребоваться отдельные ограничения --- на сумму доз населения...*

*(201) Однако, оценка суммарного облучения индивидуума от всех таких источников возможна редко. Следовательно, необходимо провести приближенную оценку доз для сравнения с величиной предела дозы, особенно в случае облучения населения...» [8].*

В отношении пунктов размещения особых РАО применение дозовых квот, по мнению международных организаций, не является универсальным средством, в частности, для РАО с природными радионуклидами.

Предварительные предложения специалистов регулирующих органов демонстрируют стремление к сближению с международными подходами, но в этом случае возникают несоответствия с действующими санитарными правилами. Так в отчете [39] в отношении полигонов особых ОНРАО предложено рассматривать два наиболее вероятных сценария облучения населения:

- в результате естественных процессов распространения радионуклидов в окружающей среде (при переносе радионуклидов с подземными и поверхностными водами и при атмосферном переносе);
- при несанкционированном проникновении человека в места размещения отходов или при санкционированном использовании территории полигона.

*«При этом должно выполняться условие, чтобы значения мощности дозы в пределах мест захоронения не должны превышать 0,2 мкЗв/ч над фоном.»*

*После консервации полигона ОНРАО критерием, определяющим необходимость разработки оптимизирующих мероприятий по ограничению дозы от полигона особых РАО, является для населения гранич-*

ная доза 0,3 мЗв/год, а пределом дозы 1 мЗв/год с учётом воздействия на человека всех РАО в этом регионе» [8].

Указанное значение граничной дозы совпадает с рекомендациями МКРЗ, но не согласуется с квотами 0,1 и 0,01 мЗв/год, установленными в ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 при обращении с удаляемыми РАО [10-12]. Формально такое различие свидетельствует о том, что удаление РАО является более безопасным для населения по сравнению с консервацией и захоронением накопленных РАО в месте их нахождения.

Вероятно, для того, чтобы проанализировать ситуацию не только с позиций индивидуальных доз и рисков, но и на основе критериев коллективной дозы, в справочном приложении 6 Руководстве ФМБА России [40] критерий принятия решения об отнесении РАО к особым РАО трактуется следующим образом:

*«Для принятия решения об отнесении накопленных радиоактивных отходов к особым или удаляемым, следует использовать коллективную эффективную дозу, как меру оценки риска радиационного воздействия. На основе прогнозных значений коллективных доз производится оценка риска в показателях общего ущерба здоровью персонала и населения.*

*Радиоактивные отходы относятся к особым, если выполняется условие:*

$$SE_1 + SE_2 + SE_3 > SE_1 + SE_4 + SE_5 + SE_6,$$

или

$$SE_2 + SE_3 > SE_4 + SE_5 + SE_6 \quad (4.1)$$

где:

$SE_1$  — коллективная эффективная доза облучения персонала при проведении комплексного инженерного радиационного обследования (КИРО) состояния хранилища РАО;

$SE_2$  — коллективная эффективная доза облучения персонала и населения при проведении работ по изъятию, транспортированию, переработке, кондиционированию и захоронению РАО в случае их удаления из места нахождения;

$SE_3$  — потенциальная коллективная эффективная доза облучения персонала и населения в случае аварии при проведении комплекса работ в случае удаления РАО из места нахождения;

$SE_4$  — коллективная эффективная доза облучения персонала и населения при проведении работ по захоронению радиоактивных отходов в месте их нахождения;

$SE_5$  — потенциальная коллективная эффективная доза облучения персонала и населения в случае аварии при проведении комплекса работ в случае их захоронения в месте нахождения.

$SE_6$  — коллективная эффективная доза облучения населения при длительном хранении РАО в месте их нахождения. При этом рассчитываются годовые дозы в течение всего периода времени, когда возможно какое-либо воздействие на население от мест длительного хранения РАО»

Такая свертка доз персонала и населения для ситуаций планируемого и аварийного облучения для всех этапов обращения с РАО в течение всего периода потенциальной опасности представляется спорной, поэтому в подходе к реализации ПП № 1069 сохранено раздельное рассмотрение коллективных доз и ОРПО для персонала и населения.

## 4.2 Уточнение размеров СЗЗ

В связи с большими периодами потенциальной опасности РАО или расчетными периодами, зачастую значительно превышающими прогнозируемый период функционирования эксплуатирующей организации, необходимо предусмотреть вариант отдельного установления границ СЗЗ для пункта хранения, в том числе в целях исключения несанкционированного доступа, проведения работ внутри СЗЗ, которые могут привести к дополнительному облучению населения.

В соответствии с требованиями ОСПОРБ-99/2010 санитарно-защитная зона устанавливается вокруг ЯРОО I, II, III категорий потенциальной опасности. Для объекта III категории, к которым часто отнесены пункты хранения ТРО, СЗЗ всегда ограничивается периметром занимаемой территории объекта. При размещении на отдельной площадке нескольких ЯРОО размер СЗЗ устанавливается с учетом их суммарного воздействия на население.

Границы СЗЗ вокруг ЯРОО определяются, исходя из требования ограничения облучения населения пределом годовой дозы или установленной для этого объекта квоты предела годовой дозы, формируемой за счет газоаэрозольных выбросов в атмосферу, жидких сбросов и др. [41].

Особенностью пунктов консервации и ПЗРО заключается в том, что для них, в принципе, не устанавливаются допустимые выбросы и допустимые сбросы. Поэтому внешняя граница проектируемой СЗЗ в этом случае основывается на результатах проведенных оценок миграции радионуклидов, а также ссыл-

ками на отсутствие возможного воздействия на население за счет ингаляционного поступления радионуклидов.

Как правило, установленная граница СЗЗ предприятия, имеющего пункты хранения РАО, рассчитана с гигиеническим запасом для основных действующих ЯРОО и ее изменение будет, главным образом, определяться развитием технологий, реконструкцией действующих производств и выводом из эксплуатации ЯРОО.

### 4.3 Оценка нерадиационных характеристик особых РАО

Обоснование должно включать краткое доказательство возможности захоронения РАО в месте их нахождения с учетом таких характеристик РАО, размещенных в пункте хранения, как:

- тепловыделение;
- газообразование;
- содержание веществ, образующих комплексные соединения;
- содержание взрывоопасных и самовозгорающихся веществ;
- содержание веществ, реагирующих с водой с выделением теплоты и образованием горючих газов;
- содержание ядовитых веществ, химически токсичных веществ, патогенных и инфекционных материалов;
- наличие делящихся материалов, возможность СЦР;
- и др.

Ограничительные регулирующие требования к указанным характеристикам можно рассматривать как критерии приемлемости РАО для захоронения в месте нахождения, предотвращающие возможные негативные последствия.

В случае наличия такого рода «проблемных» факторов, связанных с необходимостью предусмотреть в проекте консервации пункта хранения или в проекте перевода пункта консервации в пункт захоронения РАО дополнительные средства по поддержанию пункта хранения в безопасном состоянии, рекомендуется дать краткую информацию о них, а также ссылки на заключения о безопасности хранения РАО по указанным выше нерадиационным характеристикам [42].

### 4.4 Группировка хранилищ РАО при разработке альтернативных сценариев

Проектирование, строительство и эксплуатация пунктов хранения РАО на крупных комбинатах Министерства среднего машиностроения СССР осуществлялась на основе критериев сохранности ядерных материалов и безопасности, присущим 50÷70-м годам прошлого века. Как правило, на нескольких площадках, относящихся к отдельным заводам, производствам или крупным цехам осуществлялось обращение РАО и эксплуатация ПХРО. Так на территории ряда крупных предприятий: ОАО «СХК», ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк» и др. размещено большое количество пунктов хранения РАО. Часть из них представлена однотипными пунктами хранения РАО, расположенными на одной площадке предприятия, которые в рамках первичной регистрации планируется отнести к особым РАО. Другой пример укрупненного рассмотрения хранилищ ЖРО представляет собой ТКВ, где технология обращения с водоемами представляет собой логическую последовательность, оформленную в виде концепции, и закреплённую на межведомственном и правительственном уровне подзаконными актами [43-45].

Согласно [46] решение об отнесении объекта к пункту хранения радиоактивных отходов и определение его состава и границ принимается самой организацией, в чьем ведении хозяйственном управлении находится пункт хранения РАО. В рамках первичной регистрации РАО у организаций отрасли появляется возможность рассмотреть вопросы по группировке ряда пунктов хранения. Проводить группировку пунктов хранения РАО целесообразно по общим признакам:

- Типовой проект (единообразие проекта);
- Место размещение (единые условия миграции радионуклидов);
- Схожий радионуклидный и морфологический состав РАО;
- Разработан общий проект консервации;
- Сложившаяся в результате прошлой деятельности единая организация и административное управление объектами;
- и др.

Группировка пунктов хранения позволит обоснованно распространить (более эффективно использовать) существующие оценки безопасности, расчёты миграции радионуклидов, сценариев обращения с РАО и т.д. на объекты группы, что в свою очередь позволит улучшить качество обосновывающих материалов, и разработку дальнейших проектов по консервации.

В ряде случаев, группировка объектов позволит избежать необоснованных затрат, например, в случае, если на общей территории расположены могильники, содержащие разные объемы РАО. Характерным примером являются могильники ФГУП «ПО «Маяк»: на единой территории завода размещено 87 могильников накопленных РАО, для которых действуют общая эксплуатационная документация. Часть пунктов хранения содержит малый объем РАО. При формировании обоснований на каждый могильник в отдельности, часть РАО не соответствует критериям отнесения РАО к особым РАО, утвержденным ПП №1069, т.к. содержит малые объемы РАО (менее 1000 м<sup>3</sup>), при этом, в непосредственной близости размещены могильники, которые полностью соответствуют указанным критериям. По результатам первичной регистрации удаляемые РАО должны быть извлечены, при этом полученные оценки миграции позволяют сделать вывод, что локализация в месте размещения РАО возможна на весь период потенциальной опасности РАО. В данной ситуации извлечение малого объема РАО, при условии оставления на месте остальных РАО нецелесообразно и нелогично, т.к. приводит к чрезмерному повышению затрат и рисков.

В таких ситуациях целесообразно готовить единое обоснование по отнесению РАО к особым РАО для данных объектов. В дальнейшем данные объединения позволят разработать единый проект консервации пунктов хранения РАО, проводить работы сразу на всех объектах.

При подготовке обоснований по отнесению РАО к особым РАО для каждого пункта хранения РАО необходимо принять во внимание тот факт, что для проведения работ по консервации ряда пунктов хранения планируется разрабатывать или уже разработаны общие проекты, в рамках работ по эксплуатации данных объектов они рассматриваются предприятиями как единый комплекс.

При разработке крупноблочных альтернативных сценариев рекомендуется отразить особенности обращения с РАО с учетом фактического состояния барьеров безопасности, матрицы РАО в могильнике (группе могильников) ТРО с учетом локальных гидрогеологических условий. Вероятно, обводненные или затопливаемые могильники могут быть освобождены от содержащихся РАО и реабилитированы. Тем не менее, в целом, сценарий следует характеризовать, как сценарий обращения с особыми РАО, если обращение с оставшимися РАО (реконструкция и создание барьеров безопасности, консервация и захоронение) будет осуществляться на промплощадке пункта хранения. Решающая роль в группировке хранилищ РАО в целях обоснования отнесения РАО к особым РАО принадлежит эксплуатирующей организации, на которую возложено безопасное обращение с РАО.

#### **4.5 Обоснование отнесения к пункту размещения/консервации РАО**

Этот раздел обоснования требовал доработки и отсутствовал в препринте [4], хотя он имеет важное значение для процесса лицензирования.

Одним из условий отнесения пункта хранения особых РАО к пункту консервации, в соответствии с определением, установленным в ст. 3 закона № 190-ФЗ, является требование о том, чтобы *«соответствующим проектом был установлен срок эксплуатации объекта»*. Однако для значительной части «исторических» пунктов хранения особых РАО в их проектной документации наиболее вероятно будут отсутствовать сроки эксплуатации ПХ, и формально такие ПХ следует относить к пунктам размещения особых РАО.

В качестве общего критерия отнесения к пунктам размещения предлагается установить очевидную необходимость проведения работ по улучшению барьеров в течение ближайших 10-20 лет, в том числе, по следующим возможным причинам:

- эксплуатация пункта хранения в режиме приема и размещения РАО;
- регулярного или эпизодического подтопления;
- нарушение целостности барьеров безопасности пункта хранения РАО;
- отсутствие барьеров безопасности между жидкими САО, в том числе донными отложениями, относящимися к САО, и атмосферным воздухом;
- отсутствие барьеров безопасности между твердыми САО и атмосферным воздухом;
- высокая вероятность возникновения тяжелых радиационных аварий обусловленных наличием ядерных материалов в пульпах;
- и др.

Отнесение пункта хранения к пункту размещения особых РАО не окажет влияния на лицензирование. Одновременно у организации появятся правовые основания для постановки вопроса о проведении работ по консервации пункта размещения особых РАО, находящихся в федеральной собственности, т.к. в соответствии со ст. 24 закона № 190-ФЗ *«...пункты размещения должны быть переведены в пункты консервации особых РАО либо пункты захоронения РАО»*.

При отнесении ПХ к пунктам размещения особых РАО необходимо принимать во внимание отчеты по обоснованию радиационной безопасности, которые были представлены в Ростехнадзор и рассматри-

вались при проведении экспертизы обоснования безопасности пункта хранения (с целью определения наличия инженерных и/или геологических барьеров безопасности). В отдельных случаях для подтверждения выводов, содержащихся в отчетах по обоснованию безопасности, следует рассматривать результаты экспертных оценок, полученных в ходе проведения официальной процедуры лицензирования.

#### 4.6 К вопросу учета факторов инфляции и дисконтирования

В ходе обсуждений по оценке затрат на обращение с РАО высказывались предложения о необходимости учета инфляции в период проведения работ. В качестве основания для применения такого подхода указывались ссылки на «Единые отраслевые методические рекомендации по укрупненной оценке стоимости работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии» и «Единые отраслевые методические рекомендации по укрупненной оценке стоимости работ по реабилитации загрязненных территорий». В тексте указанных методик используются следующие понятия: «базовые цены», «цены базового периода», «текущая стоимость на...», «номинальная стоимость». В табличных материалах, подготовленных в рамках принятой в указанных рекомендациях модели, присутствуют также понятия: «реальные цены», «номинальные цены», «стоимость ВЭ на...» и «текущая стоимость». Несмотря на это разнообразие, по смыслу, терминология в целом соответствует традиционной:

- реальные цены – это цены без учета инфляции, т. е. цены базового года (например, – 2010 г.);
- номинальные цены – это цены конкретного года с учетом инфляции (например, стоимость обязательств по состоянию на 31.12.2012 г. представляет собой оценку стоимости базового 2010 года в пересчете на текущие (номинальные) цены, т. е. с учетом роста цен за период 2010-2012 гг.). В свою очередь, текущая цена рассчитывается через перерасчет в цены будущих периодов и последующее дисконтирование.

Предусматриваемая рекомендациями динамика изменения текущей стоимости для индекса инфляции 4,9%, установленного в тарифной модели, дает простые и ожидаемые результаты (табл. 4.1). Номинальные цены быстро растут и увеличиваются спустя 10 лет примерно в 1,7 раз, спустя 20 лет – в 2,4 раза, а через 100 лет — в десятки раз.

**Таблица 4.1. – Зависимость соотношения стоимости работ в реальных ценах года оценки, спустя 10, 20, 50, 100 и 150 лет после него.**

Вид оценки	2010	2020 (10 лет)	2030 (20 лет)	2060 (50 лет)	2110 (100 лет)	2160 (150 лет)
Базовая цена работ без учета индексации	1	1	1	1	1	1
Номинальная цена работ на соответствующий период	1	1,72	2,41	5,85	25,66	112,48
Текущая цена работ по ставке дисконтирования 7,8%	1	0,81	0,537	0,137	0,014	0,0014

Применение метода оценки затрат будущих периодов на основе текущей стоимости представляется правильным, с экономической точки зрения, когда речь идет о планировании затрат по обращению с РАО на промежуток времени, в пределах которого определен индекс инфляции. Но при рабочих обсуждениях применимости этого метода для задачи отнесения РАО к особым РАО представителями заинтересованных ведомств были высказаны возражения к предложенному применению неизменного индекса инфляции на весь период потенциальной опасности, в особенности, с учетом ссылки на утвержденные тарифы на захоронение РАО.

Изменение стоимости отдельных видов работ по обращению с РАО со временем за счет инфляции путем учета единой и неизменной со временем процентной ставки (индекса инфляции) в рамках обоснования отнесения РАО к особым РАО было признано преждевременным и нецелесообразным по следующим причинам:

- учет единой процентной ставки 4,9%, в принципе, некорректен для различных видов работ и на длительный период их проведения. В 2012 г. уровень инфляции достиг – 6,6%. Тарифы на захоронение РАО в соответствии с постановлением Правительства России от 3.12.2012 г. № 1249 были установлены до 2017 г., с учетом производственной и инвестиционной программ национального оператора, в которых учитываются в том числе: прогнозные объемы захоронения РАО, бухгалтерская, статистическая отчетность, расчет доходов и расходов. Согласно «Прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г.», разработанному Минэкономразвития России в период 2012-2015 гг. инфляция составит 5,5%, в период 2016-2020 гг. не выше 5%, в период 2021-2025 гг. – не превысит 3,9%, в период 2026-2030гг. – не превысит 3%. После 2030г. прогноза инфляции нет, для определенности будем считать инфляцию равной 3%;

- согласование позиций различных федеральных органов исполнительной власти по значениям индекса инфляции в отдаленной перспективе при оценке стоимости работ и размера вреда окружающей среде является проблематичным;
- неопределенности сроков проведения работ по обращению с удаляемыми РАО делают результаты оценок номинальных (текущих) затрат недостоверными.

В условиях вышеуказанных неопределенностей на этапе сравнения затрат для двух альтернативных вариантов захоронения предложено проводить расчеты в ценах базового года. Такой подход приведет к консервативным (завышенным) оценкам расходов для варианта обращения с особыми РАО по сравнению с вариантом обращения с удаляемыми РАО. Это обусловлено большей длительностью этапов обращения с удаляемыми РАО и их задержкой в связи с подготовкой соответствующей технической базы в сравнении с консервацией ПХРО.

Кратко поясним это положение с учетом характерных сроков обращения с особыми или удаляемыми РАО. Принимаются следующие рамочные допущения о динамике реализации работ по накопленным РАО:

- Основные работы должны быть реализованы в течение ближайших 50 лет, в том числе, работы по консервации пункта хранения и удалению РАО.
- Работы по консервации пункта хранения уже ведутся на ряде объектов и могут быть начаты по всем пунктам размещения РАО в ближайшие 10-15 лет.
- Сценарий удаления РАО из пунктов хранения может быть реализован как минимум на 10 лет позже сценария консервации, что связано с отсутствием мощностей по извлечению РАО, их переработке и захоронению.
- Работы по реконструкции пунктов консервации особых РАО будут проводиться с периодичностью 50-100 лет.

С учетом изложенных допущений рассмотрим качественный пример. В отношении ПХРО рассмотрены два варианта – захоронения РАО на месте и удаления РАО, которые в базовых ценах отличаются в 2 раза.

В рамках первого сценария планируется провести работы по консервации пункта хранения в течение ближайших 5 лет, провести две реконструкции барьеров безопасности через 50 и 100 лет (затраты в базовых ценах составят 0,3 от стоимости консервации), через 150 лет в соответствии с разработанным сценарием захоронения РАО в месте их нахождения будут проведены работы по переводу пункта консервации в пункт захоронения (затраты в базовых ценах составят 0,4 от стоимости консервации).

В рамках сценария удаления РАО планируется начать работы по извлечению, переработке, кондиционированию и захоронению РАО на 10 лет позже, чем работы по консервации.

По каждому из сценариев расчеты проводились для четырех вариантов экономических параметров: инфляция 4,9%, инфляция 3%, два варианта просчитаны с учетом ставок дисконтирования 8% и 7,8%

Результаты проведенных оценок затрат на отдельные этапы работ по захоронению РАО в месте их нахождения приведены на рисунках 4.1 и 4.2.

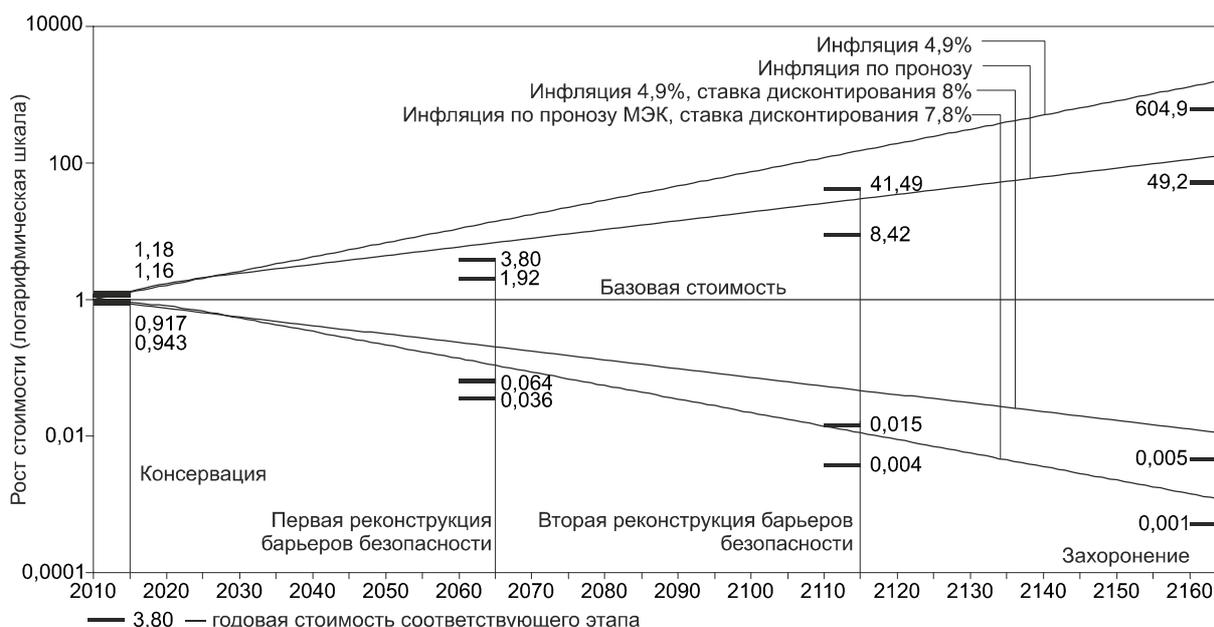


Рисунок 7 — Сценарий 1 — захоронение на месте.

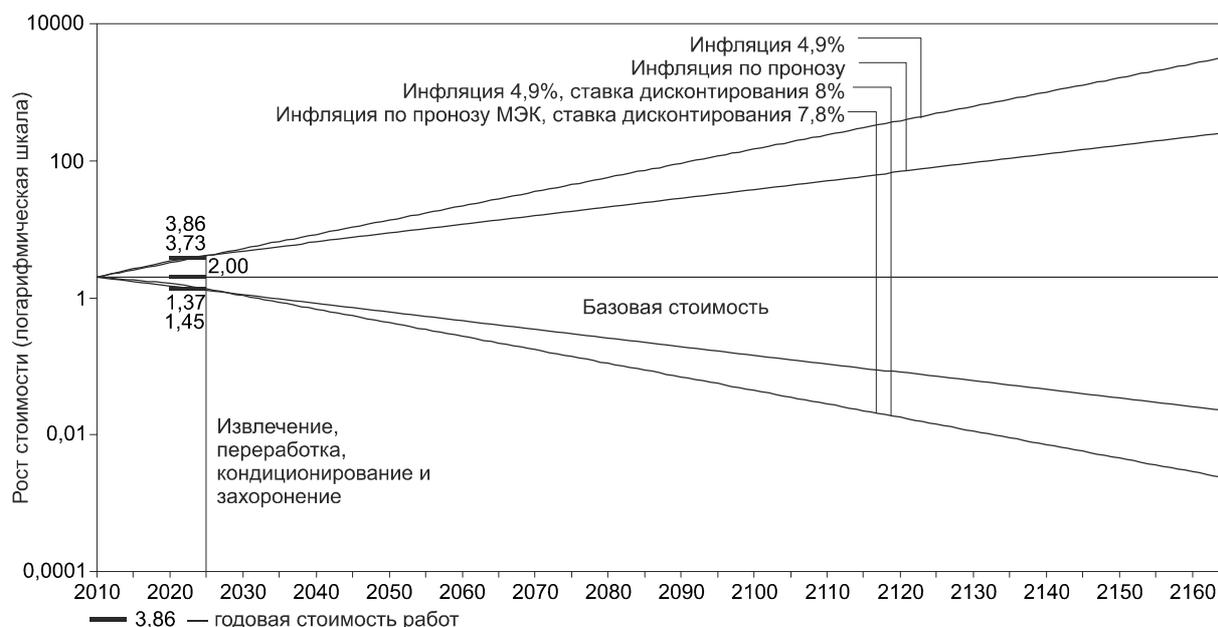


Рисунок 8 — Сценарий 2 — удаление РАО.

Из рисунков 7 и 8 видно, что стоимость этапов работ сильно зависит от параметров экономической модели, особенно на больших промежутках времени.

**Таблица 4.2 Итоговая стоимость работ по двум сценариям в зависимости от инфляции и ставки дисконтирования**

	Номинальная стоимость (инфляция 4,9%)	Номинальная стоимость (инфляция 3%)	Текущая стоимость (инфляция 4,9%, дисконт. 8%)	Текущая стоимость (инфляция 3%, дисконт. 7,8%)
Стоимость работ по захоронению РАО в месте их нахождения (сценарий 1)	651	61	1,001	0,983
Стоимость работ по удалению РАО (сценарий 2)	3,73	3,86	1,37	1,45
Отношение стоимости работ по двум сценариям (Сценарий 1)/(Сценарий 2)	174	15,8	0,73	0,68

Из таблицы 4.2 видно, что при пересчете в номинальную стоимость с учетом сроков проведения работ затраты на удаление РАО будут меньше затрат на захоронение РАО в месте их нахождения. Причина этого — в наличии удаленных во времени работ — реконструкций пункта консервации спустя 50 и 100 лет и перевода в пункт захоронения через 150 лет. Учет эффектов дисконтирования приводит к обратному эффекту — суммарные затраты на удаление РАО почти в полтора раза превышают затраты на захоронение РАО в месте их нахождения. То есть, при учете дисконтирования оценка по критерию затрат в пользу варианта захоронения на месте улучшается. Это улучшение носит фундаментальный характер. Однако его величина достаточно чувствительна к параметрам экономической модели, которые на таких временах всегда спорны.

Данный пример демонстрирует, что оценка затрат в базовых ценах отвечает принципу консервативности. Учет эффектов инфляции и дисконтирования на длительный период приводит к большой неопределенности оценки затрат. Пример инициирует необходимость более детального доказательства сроков реализации работ и обоснования параметров долгосрочной экономической модели.

Таким образом, учет инфляции и дисконтирования представляется нецелесообразным в сравнении с более простой оценкой затрат в базовых ценах.

Рассмотрение вопросов влияния эффектов инфляции и дисконтирования на оценку затрат приводит к еще одному важному доводу в пользу установления ограничений на длительность расчетного периода при длительных периодах потенциальной опасности. Вклад в оценку затрат, связанных с проведением

радиационного контроля за рамками истечения расчетного периода (то есть 300 лет для природных и 1000 лет для долгоживущих радионуклидов пренебрежимо мал).

## 5 Заключение

1. В настоящей работе развиты и суммированы принципы, общие и специфические подходы к обоснованию отнесения РАО к особым РАО, изложенные в работе [4]. Эти подходы были апробированы на пилотных объектах Госкорпорации «Росатом» путем оценки коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат для вариантов удаления РАО и захоронения РАО в месте их нахождения. Было доказано, что предложенный подход может служить основой для эксплуатирующих предприятий при формировании обоснования об отнесении РАО к особым РАО, используя имеющуюся информацию о пункте хранения и размещенных в нем РАО. Вместе с тем были вскрыты некоторые методические трудности, связанные с неопределенностью расчета критериальных параметров на весь период потенциальной опасности и согласования отечественных и международных регулирующих документов.
2. В рамках проведения обоснования отнесения РАО к особым РАО предлагается ввести ограничение на расчетный период оценок коллективных эффективных доз, рисков потенциального облучения и затрат. Длительность расчетного периода для РАО, содержащих техногенные радионуклиды, устанавливается равной 1000 лет, для содержащих природные радионуклиды – 300 лет. Данное ограничение связано с тем, что за этот расчетный период произойдет радиоактивный распад всех короткоживущих радионуклидов, а в рамках эксплуатации пункта консервации станет возможно:
  - доказательство нахождения долгоживущих радионуклидов с низкой миграционной способностью (уран-238, плутоний-239 и др.), в ограниченном ареале пункта консервации;
  - точное определение параметров миграции иных долгоживущих радионуклидов, в том числе углерода-14 и хлора-36;
  - определение надежности инженерных барьеров пункта консервации (захоронения) РАО.Расчетный период в этом случае рассматривается как максимальный срок, в течение которого пункт консервации будет переведен в ПЗРО. При этом будет доказано, что проведение периодического контроля после перевода пункта консервации в пункт захоронения либо не понадобится, либо он будет очень низко затратным.
3. Раздел обоснования принципиальной возможности захоронения РАО дополнен рекомендацией проведения анализа размера СЗЗ будущего пункта захоронения, а также анализа нерадиационных характеристик РАО.
4. Рассмотрена возможность группировки пунктов хранения особых РАО в рамках проведения первичной регистрации РАО.
5. В связи с сохранением интереса рассмотрен учет эффектов инфляции дисконтирования при оценке затрат, связанных с удалением РАО и с захоронением РАО вместе их нахождения. Проведение оценок затрат для двух вариантов обращения с РАО с учетом эффектов инфляции и дисконтирование нецелесообразно, так как, не давая качественного изменения результата, инициирует необходимость построения существенно большего объема допущений в части конкретизации сроков работ.

## Литература

1. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
4. И.И. Линге, М.Н. Савкин, И.Л. Абалкина, В.И. Дорогов, С.С. Уткин, М. В. Ведерникова, Л.А. Курьндина, И. И. Крышев, В.В. Бочкарев, М.А. Нелейпиво, А.Е. Щадилов, В.С. Репин, Ю.Г. Мокров, О.А. Кочетков, В.Г. Барчуков. Подходы к оценке и сопоставлению доз, рисков и затрат для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО. Препринт №IBRAE-2013-06. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2013, 38 с.

5. Risk Characterization Handbook. Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460. EPA 100-B-00-002, December 2000
6. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009».
7. Основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № SF-1, МАГАТЭ, Вена, 2007 – 23 с
8. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals ICRP 37(2–4), Elsevier, Amsterdam, 2007. – 264 p.
9. IAEA Safety Standards Series No. GSR. Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna, 2011. – 303 p.
10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010), СП 2.6.1.2612-10, Роспотребнадзор, 2010.
11. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-02), СП 2.6.6.1168-02, Минздрав России, 2002 (в ред. от 23.12.2010 N 167).
12. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16 сентября 2013 г. N 43 «О внесении изменений в отдельные санитарные правила, устанавливающие требования в области радиационной безопасности» — Москва, 2013
13. Гупало Т.А., Сущенко Д.К., Карпиков А.А. и др. Оценка необходимой вместимости объектов окончательной изоляции всех видов РАО по федеральным округам РФ. В тематическом сборнике «Ядерная и радиационная безопасность России». № 14. М., 2013, с.74-89
14. НП 055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности
15. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.
16. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Vienna, 1999.
17. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standard Series No. RS-G-1.7, Vienna, 2004.
18. A Common Framework for the Application of the Basic Waste Safety Principles to the Disposal of all Types of Radioactive Waste, IAEA, Vienna, Draft March 2005.
19. Classification of Radioactive Waste. IAEA, IAEA Safety Standard Series No. GSG-1, Vienna, 2009.
20. Абрамов А.А., Ведерникова М.В., Савкин М.Н. Разработка методического обеспечения при проведении первичной регистрации РАО в части отнесения накопленных РАО к особым РАО. В тематическом сборнике «Ядерная и радиационная безопасность России», № 14. М., 2013, с.11-21.
21. Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения №1-Д03. Методические рекомендации № 0100/4484-07-03 от 28 апреля 2007 г., Роспотребнадзор, М., 2007 – 11 с.
22. Иванов В.К., Чекин С.Ю., Кашеев В.В., Корело А.М., Максюттов М.А., Туманов К.А. Индекс безопасности потенциального облучения // Радиация и риск. – 2012. – Том 21. – №2. – С. 7-20.
23. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. –251 p
24. UN — United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011. – 164 p.
25. US DOE. United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. Washington DC: U.S.DOE. 2002. — 234 p.
26. Приказ Минприроды России от 28 апреля 2008 г. № 107 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания» (с изменениями и дополнениями от 12.12.2012). – 21 с.
27. Таксы для исчисления размера вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, и среде их обитания вследствие нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования. Утверждены Приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. № 658. М., 2011. – 3 с.
28. Минприроды России. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 8 декабря 2011 г. № 948 г. Москва «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам». – 3 с.
29. Постановление Правительства РФ от 8 мая 2007 г. № 273. Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения Лесного законодательства (в ред. Постановления Правительства РФ от 26.11.2007 № 806). М., 2007.- 13 с.

30. Приказ Минсельхоза Российской Федерации от 02.08.2010 г. №271 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».
31. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Приложение к приказу Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166. М., 2011. – 69 с.
32. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 мая 1994 г. № 515. Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биологических ресурсов (в ред. Постановлений Правительства Российской Федерации от 26.09.2000 N.724; от 10.03.2009 №.219). – 3 с.
33. Приказ государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 28 ноября 2013 г. № 1/16 НПА г. Москва «Об утверждении методики определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов»
34. Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—User guide to modularization concepts and the ground-water flow processes: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121 p.
35. Zheng C and Wang PP (1999), MT3DMS: A modular three-dimensional multispecies model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; Documentation and Users Guide, Contract Report SERDP-99-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
36. Ядерная и радиационная безопасность №1 (71) – 2014
37. Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование и практика. Материалы международной научной конференции: Москва, 22-24 мая, МГУ им. М.В.Ломоносова. Капырин И.В., Василевский Ю.В., Расторгуев А.В. Расчетный комплекс GeRa для моделирования процессов геофильтрации и геомиграции радионуклидов. М.:МАКС Пресс, 2013, с. 235-240.
38. Материалы всероссийской научно-практической конференции «Математическое моделирование, геоинформационные системы и базы данных в гидрогеологии». Капырин И.В., Василевский Ю.В., Уткин С.С., Расторгуев А.В. Решение задач геофильтрации и геомиграции радионуклидов с помощью комплекса GeRa. М.:АНО УКЦ «Изыскатель», 2013, с.38-40.
39. Отчет о НИР «Экспертная и аналитическая поддержка радиационно-гигиенических аспектов отнесения РАО к особым РАО при проведении первичной регистрации» (договор №2014/147-01 от 28.02.2014) ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. УДК 614.876:621.039.7 М. 2014 – 43с
40. Р СЭН РАО – 14. Организация и осуществление государственного санитарно-эпидемиологического надзора за обращением с радиоактивными отходами на предприятиях Госкорпорации «Росатом»: Руководство. – М., Федеральное медико-биологическое агентство, 2014. – 52 с.
41. СанПиН 2.6.1.2216 – 07. Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ (СП СЗЗ и ЗН – 07). М., 2007
42. СП 2.1.7.1386-03. Определение класса опасности токсичных отходов производства и потребления Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 19 июня 2003 г., регистрационный № 4755. М., 2003
43. Четырехстороннее решение о статусе и порядке эксплуатации, вывода из эксплуатации и консервации специальных промышленных водоемов, используемых ФГУП «ПО «Маяк» Министерства Российской Федерации по атомной энергии. Утв. Минприроды России 12.01.2004, Минатомом России 30.12.2003, Госатомнадзором 29.12.2003, Минздравом России 13.01.2004.
44. Поручение Правительства Российской Федерации от 03.02.2004 г. № ХВ-П9-946
45. Санитарные правила. Требования к обеспечению санитарно-эпидемиологической безопасности при эксплуатации специальных промышленных водоемов ПО «Маяк» (СП-ЭСПВ-ПОМ-04) СП 2.6.1.70 – 04 ДСП. Утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 05.11.2004 г. Дата введения: 1 февраля 2005 г
46. Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2012 г. № 1494 «Об утверждении Положения об отнесении объектов использования атомной энергии к отдельным категориям и определении состава и границ таких объектов»