Открытое акционерное общество
«Концерн по производству электрической и тепловой
энергии на атомных станциях»

(ОАО «Концерн Энергоатом»)

**СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009**

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

С изменением № 1-приказ АО «Концерн Росэнергоатом» от 28.08.2018 № 9/1126-П

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (ОАО «ВНИИАЭС») и Федеральным государственным учреждением «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» (ФГУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России)

2 ВНЕСЕН Департаментом противоаварийной готовности и радиационной защиты

3 ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 13.05.2010 № 583

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения....1
2 Нормативные ссылки....2
3 Термины и определения....2
4 Обозначения и сокращения....4
5 Общие положения....5
6 Классификация промышленных отходов, содержащих техногенные радионуклиды....6
7 Критерии безопасности при захоронении очень низкоактивных отходов....7
8 Требования к оценке безопасности пунктов захоронении очень низкоактивных отходов....9
9 Модели оценки безопасности пунктов захоронении очень низкоактивных отходов....14
9.1 Характеристика моделей....14
9.2 Модель фильтрации грунтовых вод....16
9.3 Модель подземной миграции....19
9.4 Модель источника загрязнения....22
9.5 Расчет дозовых нагрузок на население....24
10 Параметры, необходимые для оценки безопасности....25
10.1 Параметры окружающей среды....25
10.2 Параметры очень низкоактивных отходов и инженерных барьеров....28
Приложение А (рекомендуемое) Рекомендации по измерению параметров моделей фильтрации грунтовых вод и миграции радионуклидов..30
Приложение Б (справочное) Использование простых формул для оценки безопасности пунктов захоронении очень низкоактивных отходов....32
Приложение В (справочное) Пример оценки безопасности при захоронении донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС....34
Библиография....38

С Т А Н Д А Р Т О Р Г А Н И З А Ц И И

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОЧЕНЬ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Дата введения –

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт организации (далее - стандарт) устанавливает требования к оценке радиационной безопасности населения и окружающей среды (радиационное воздействие) при захоронении очень низкоактивных отходов атомных станций.

1.2 Требования настоящего стандарта распространяются на *АО «Концерн Росэнергоатом»* (Замена изм.1) и его филиалы при осуществлении деятельности, связанной с захоронением очень низкоактивных отходов атомных станций, а также на проектные и иные организации, выполняющие оценку безопасности населения при захоронении ОНАО.

1.3 Настоящий стандарт предназначен для прогнозного расчета выхода радионуклидов из пунктов захоронения очень низкоактивных отходов, их распространения в окружающей среде, а также для оценок облучения населения при распространении радионуклидов в окружающей среде и при несанкционированном проникновении населения на пункт захоронения очень низкоактивных отходов, которые необходимы для получения санитарно-эпидемиологического заключения на проект пункта захоронения очень низкоактивных отходов и/или для экологической экспертизы этого проекта.

~~*1.4 Настоящий стандарт разработан на основе НД (СП 2.6.1.758-99, СП 2.6.1.799, СП 2.6.6.1168, СанПиН 2.6.1.24, СанПиН 2.6.1.1281, СанПиН 2.1.7.1322, СП 2.1.5.1059 и др.) с учетом рекомендаций МАГАТЭ, требований и рекомендаций нормативных документов США и других стран, а также с учетом опыта ОАО «ВНИИАЭС» и ФГУ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА*~~

~~*России по оценке безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов*~~. (Исключить изм.1)

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СП 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)

СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (Замена изм.1)

~~*СП 2.6.6.1168-02 Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)*~~ (Исключить изм.1)

СП 2.6.6.2572-2010 Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды (Дополнение изм.1)

СанПиН 2.6.1.24-03 Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)

СанПиН 2.6.1.1281-03 Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)

СанПиН 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления

СП 2.1.5.1059-01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 барьер: Элемент природного происхождения или инженерного

сооружения, препятствующий распространению радионуклидов в окружающей среде, или препятствующий проникновению человека на территорию пунктов захоронения очень низкоактивных отходов или в место захоронения очень низкоактивных отходов.

3.2 грунтовые воды: Подземные воды, образующие водоносный горизонт на первом от поверхности водоупорном слое.

3.3 денудационные объекты: Объекты, открытое пространство которых лежит ниже уровня земной поверхности территории: карьеры, ямы и т.п.

3.4 допустимый сброс: Норматив разрешенного для АС с учетом принципа оптимизации сброса радионуклидов в окружающую среду за год со сточными водами.

3.5 закрытие пунктов захоронения очень низкоактивных отходов: Деятельность, осуществляемая после завершения размещения ОНАО в пункте захоронения и направленная на приведение пунктов захоронения очень низкоактивных отходов в состояние, которое будет обеспечивать его безопасность на весь период потенциальной опасности.

3.6 инфильтрационный поток: Объем выпавших осадков, поступающий в подземные воды через единицу площади в единицу времени (м/сут).

3.7 консервация места захоронения: Завершение размещения отходов, засыпка и покрытие отходов, прекращение деятельности в любых связанных с ним сооружениях.

3.8 коэффициент распределения: Отношение удельной или объемной активности радионуклида в твердой фазе к объемной активности в воде.

3.9 коэффициент фильтрации: Фильтрационный поток при единичном градиенте давления (м/сут).

3.10 место захоронения: Инженерное сооружение или денудационный объект для захоронения очень низкоактивных отходов.

3.11 непроницаемые грунты (материалы): Грунты (материалы) с коэффициентом фильтрации меньше 10^{-4} м/сут.

3.12 очень низкоактивные отходы: *Не предназначенные для*

дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование и грунт, удельная активность которых не допускает освобождения их от радиационного контроля, но меньше активности твёрдых радиоактивных отходов (СП 2.6.6.2572-2010) (Новая ред. изм.1)

3.13 ***период потенциальной опасности пункта захоронения очень низкоактивных отходов:*** *Срок, в течение которого уровни радиоактивности очень низкоактивных отходов, размещённых в пункте захоронения ОНАО, снижаются до показателей, при которых не требуется радиационный контроль*. (Новая ред. изм.1)

3.14 постэксплуатационный период пункта захоронения очень низкоактивных отходов: Период существования пункта захоронения очень низкоактивных отходов после его закрытия.

3.15 приповерхностное захоронение отходов: Захоронение отходов либо выше (насыпи и др.), либо на глубину до пяти метров ниже (траншеи, рвы, ямы и др.) естественной поверхности земли.

3.16 пункт захоронения очень низкоактивных отходов: Комплекс сооружений, занимающий отдельную территорию и предназначенный для захоронения очень низкоактивных отходов.

3.17 слабопроницаемые грунты (материалы): Грунты (материалы) с коэффициентом фильтрации от 10^{-4} м/сут до 1 м/сут.

3.18 стабильность (отходов, инженерных барьеров): Свойство объектов сохранять форму, размеры, объем, фильтрационные, сорбционные и прочностные свойства.

3.19 фильтрационный поток: Объем подземных вод, фильтрующихся через единицу площади в единицу времени (м/сут).

4 Обозначения и сокращения

АС - атомная станция

МАГАТЭ - Международное агентство по атомной энергии

ДС - допустимый сброс

МКРЗ - Международная комиссия по радиологической защите

НД - нормативный документ

ОВОС - оценка воздействия на окружающую среду

ОНАО - очень низкоактивные отходы

ПЗ - пункт захоронения

РАО - радиоактивные отходы

УВ - уровень вмешательства

УГВ - уровень грунтовых вод

5 Общие положения

5.1 Образование ОНАО в больших количествах происходит как при эксплуатации, так и, особенно, при выводе из эксплуатации АС, а также при проведении реабилитационных работ.

5.2 Основными этапами обращения с ОНАО АС являются: сбор, сортировка, временное хранение, переработка, транспортирование и захоронение. Из всех этапов обращения с ОНАО главную проблему представляет безопасное захоронение отходов с учетом экономических факторов.

5.3 *Захоронение ОНАО АС осуществляется в соответствии с требованиями СП 2.6.6.2572-2010.* (Новая ред. изм.1)

5.4 Опасность захоронений ОНАО сохраняется десятки и сотни лет, многие процессы в захоронениях просто невозможно контролировать. Поэтому в настоящее время для обеспечения безопасности захоронений ОНАО проводится прогнозная оценка безопасности населения и воздействия на окружающую среду (далее – оценка безопасности), способы захоронения и методы контроля обосновываются с помощью оценки безопасности и воздействия на окружающую среду.

5.5 При захоронении ОНАО должна обеспечиваться радиационная безопасность населения. Требования о необходимости проведения долговременной прогнозной оценки безопасности населения при захоронении РАО имеются в отечественных НД, руководствах МАГАТЭ и документах зарубежных стран.

5.6 В настоящем стандарте для ОНАО используются методы оценки безопасности населения и воздействия на окружающую среду, разработанные для захоронения РАО. Ввиду значительно меньшей опасности ОНАО по сравнению с опасностью РАО для оценки безопасности захоронений ОНАО установлены менее жесткие требованию, чем для РАО.

5.7 Оценка безопасности населения обычно рассматривается для двух основных периодов времени: для периода проведения работ по приему ОНАО на ПЗ ОНАО и для периода после прекращения эксплуатации ПЗ ОНАО. Во время проведения работ по захоронению ОНАО безопасность населения обеспечивается обычными методами контроля окружающей среды. Основная проблема связана с после эксплуатационным периодом из-за очень большого времени потенциальной опасности захоронений (до сотен лет). Поэтому в настоящем стандарте рассматривается оценка безопасности как нынешних, так и будущих поколений.

6 Классификация промышленных отходов, содержащих техногенные радионуклиды

6.1 Промышленные отходы относятся к ОНАО, если:

- сумма отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к значениям, приведённым в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010 (Удельные активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование твёрдых материалов), превышает 1;

- сумма отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к значениям, приведённым в Приложении к «Критериям отнесения твёрдых,

жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам», утверждёнными постановлением Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 (Предельные значения удельной и объёмной активности радионуклидов в отходах для отнесения их к радиоактивным отходам), не превышает 1. (Новая ред. изм.1)

6.2 Для предварительной сортировки отходов рекомендуется использовать мощность дозы гамма-излучения над фоном на расстоянии 0,1 м от поверхности при соблюдении условий измерения в соответствии с утвержденными методиками. Гамма-излучающие отходы АС считаются ОНАО при мощности дозы от 0,1 мкЗв/ч до 1 мкЗв/ч над фоном. Если мощность дозы больше 1 мкЗв/ч, то окончательное решение об отнесении отходов к ОНАО принимается в соответствии с 6.1 на основе данных об активности и радионуклидном составе рассматриваемых отходов.

6.3 Указанные в 6.1 - 6.2 верхние пределы для удельной активности и мощности дозы установлены для средних значений этих величин. Осреднение производится по определенному виду отходов, партии отходов, контейнеру.

6.4 Освобождаются от радиационного контроля отходы, у которых сумма отношений удельных активностей радионуклидов в отходах к значениям, приведённым в приложении 3 к ОСПОРБ-99/2010, не превышает 1.

Освобождённые от контроля отходы могут захораниваться на полигонах промышленных отходов. (Новая ред. изм.1)

7 Критерии безопасности при захоронении очень низкоактивных отходов

7.1 Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей среды при обращении с ОНАО должна обеспечиваться с учетом следующих принципов:

- дозы или риски не должны превышать установленных уровней как для нынешних, так и для будущих поколений людей (принцип нормирования);

- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения как для нынешних, так и для будущих поколений людей (принцип оптимизации);

- материальные затраты на захоронение ОНАО должны быть как можно меньше;

- недопустимо перекладывать бремя на поддержание безопасности мест захоронения отходов на будущие поколения людей.

7.2 При оценке безопасности пунктов захоронения ОНАО рассматриваются два сценария облучения населения:

- в результате естественных процессов распространения радионуклидов в окружающей среде (при переносе радионуклидов с подземными и поверхностными водами);

- при несанкционированном проникновении человека в места размещения отходов или санкционированном использовании территории ПЗ ОНАО.

Несанкционированное проникновение может быть как преднамеренным, так и непреднамеренным (в постэксплуатационный период).

Согласно рекомендациям МКРЗ для представленных сценариев облучения устанавливаются различные пределы эффективной дозы.

7.3 Для первого сценария годовая индивидуальная эффективная доза облучения не должна превышать 10 мкЗв.

7.4 Для второго сценария годовая индивидуальная эффективная доза облучения не должна превышать 0,3 мЗв.

7.5 Возможность проникновения человека в ПЗ ОНАО можно считать пренебрежимо малой, пока административный контроль считается эффективным в полной мере, но она может возрасти впоследствии.

7.6 В качестве критериев безопасности наряду с указанными в пп. 7.3 и 7.4 пределами доз могут быть использованы допустимые уровни монофакторного воздействия, установленные в приложении 2а НРБ-99/2009: допустимая среднегодовая объемная активность воздуха и уровень вмешательства для воды. Использовать эти параметры следует с учетом

дозовых пределов пп. 7.3 и 7.4.

7.7 Вышеперечисленные критерии безопасности установлены как для нынешних, так и для будущих поколений. Соответствие радиационной обстановки вышеперечисленным критериям для будущих поколений людей устанавливается на основе оценки безопасности пункта захоронения ОНАО.

8 Требования к оценке безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов

8.1 Оценка безопасности населения при захоронении ОНАО проводится для обоснования принимаемых решений. Оценка безопасности ПЗ ОНАО заключается в прогнозировании распространения радионуклидов из захоронения в окружающей среде и возможного облучения населения, связанного с таким распространением, а также облучения при несанкционированном проникновении человека в ПЗ ОНАО.

8.2 При расчетах дозовых нагрузок на население учитываются основные виды внутреннего и внешнего облучения для критической группы населения, определенной согласно НРБ-99/2009 и *ОСПОРБ-992010* (Замена изм.1). Прогнозное облучение населения не должно превышать пределов, указанных в разделе 7.

При наличии в отходах химических опасных веществ обязательно должно оцениваться воздействие этих веществ на население и окружающую среду, при этом определяется соответствие захоронения ОНАО нормам химической безопасности.

8.3 Прогнозная оценка безопасности существующих ПЗ ОНАО на краткий период времени (до нескольких десятков лет) может проводиться путем экстраполяции во времени данных радиационного контроля, полученных за время, сопоставимое со временем прогноза. При такой оценке по данным изменения со временем распространения радионуклидов в грунтовых водах и в других объектах окружающей среды проводится прогноз радиационной обстановки.

8.4 В тех случаях, когда по данным радиационного контроля нельзя сделать прогнозных оценок, выполняется расчетная оценка радиационной безопасности населения. Оценка безопасности ПЗ ОНАО в данном случае проводится согласно сценарию возможного распространения активности в окружающей среде. Принято рассматривать следующие сценарии:

- для обычных условий основным путем распространения активности из ПЗ ОНАО является миграция с грунтовыми водами и дальнейшим распространением в окружающей среде;

- перенос радионуклидов с поверхностными водами может рассматриваться при прогнозе распространения загрязнения, связанного с выходом захороненной активности на поверхность земли при высачивании загрязненных грунтовых вод в поверхностные водотоки, при подтоплении захоронений, при значительной эрозии поверхности, а также в условиях Крайнего Севера при летнем таянии деятельного слоя многолетней мерзлоты;

- в оценку безопасности ПЗ ОНАО входит также прогноз возможного изменения рельефа в месте расположения пункта захоронения (эрозия, денудация);

- при оценке безопасности рассматривается вероятность и возможные последствия техногенных аварий и инцидентов, а также природных опасных явлений: наводнений, селей, оползней, обвалов, провалов, последствий землетрясений и др.

8.5 Для облучения человека при проникновения в ПЗ ОНАО в постэкплуатационный период рассматривается наиболее вероятный сценарий. В некоторых случаях наиболее вероятным сценарием облучения населения является облучение при использовании отходов, например, для сбора металлолома или в виде удобрений на приусадебных участках. Если использование ОНАО невозможно, то рассматривается наиболее опасный сценарий – возможное проживание на месте захоронения.

Оценка безопасности также может выполняться для различных вариантов возможного использования территории ПЗ ОНАО в будущем

(сельскохозяйственные работы, размещение различных промышленных объектов и др.).

8.6 Каждый пункт захоронения имеет свои особенности, поэтому при выборе сценариев распространения активности и возможного облучения населения необходимо исходить из условий конкретных ПЗ ОНАО. В связи с этим возможные сценарии при оценке безопасности могут отличаться от вышеуказанных.

8.7 При принятии решений не следует рассматривать в качестве определяющих сценарии, вероятность которых не может быть адекватно оценена (падение самолета, террористический акт, боевые действия и т.д.), или сценарии, основанные на изменении условий, адекватный прогноз которых в настоящее время не может быть сделан (изменение образа жизни и рациона питания населения и др.). Подобные расчеты можно использовать только как дополнительную информацию.

8.8 Расчетная оценка безопасности может выполняться путем численного или аналитического решения систем дифференциальных уравнений или путем использования простых формул. В настоящем стандарте представлен наиболее распространенный метод оценки безопасности с использованием для расчетов математических моделей, реализованных в виде пакетов компьютерных программ. Можно использовать как готовые пакеты, так и пакеты, специально разработанные для конкретных ПЗ ОНАО. Расчеты выполняет проектант ПЗ ОНАО или специализированная организация.

8.9 Самым важным условием получения достаточно репрезентативной оценки безопасности является наличие необходимых экспериментальных данных для проведения расчетов, указанных в разделе 10. При проведении оценки безопасности собирается и изучается вся имеющаяся информация и проводятся экспериментальные работы. Рекомендации по оценке параметров приведены в приложении А.

Для расчетов используются параметры, измеренные для рассматриваемого ПЗ ОНАО. Можно использовать справочные данные

(коэффициент гидродинамической дисперсии, некоторые параметры зоны аэрации, инженерных барьеров и ОНАО).

8.10 Оценку безопасности ПЗ ОНАО можно выполнять на основе как консервативного, так и реалистического подходов. При реалистическом подходе используются наиболее вероятные параметры и сценарии облучения, при консервативном - возможные параметры и сценарии, приводящие к максимальному облучению населения. В том и другом случае обосновывается выбранный вариант. Наиболее вероятный и консервативный прогноз можно выполнять для одного и того же ПЗ ОНАО.

8.11 Основным методом обоснования прогнозов является сравнение расчетов с экспериментальными данными. Необходимо для сравнения использовать все измерения, запланированные в проекте ПЗ ОНАО, а также все наблюдения за фильтрацией воды и миграцией радионуклидов, имеющиеся на АС. Для апробации моделей также могут использоваться сравнения расчетов и наблюдений фильтрации воды и миграции химических и радиоактивных загрязнителей, сделанные для иных целей (например, моделирование природных аналогов захоронений ОНАО).

8.12 Оценка безопасности проводится в следующей последовательности:

- изучаются и анализируются проектные разработки, а также имеющиеся архивные и справочные данные для оценки параметров, указанных в разделе 10;

- по возможности проводится измерение недостающих параметров;

- на основе проектных разработок и параметров окружающей среды проводится выбор и обоснование методов оценки безопасности ПЗ ОНАО;

- с помощью выбранного метода проводятся расчеты распространения радионуклидов в окружающей среде, расчеты облучения населения при распространении радионуклидов и проникновении человека в ПЗ ОНАО;

- полученные результаты сравниваются с критериями безопасности, приведенными в разделе 7;

- если результаты расчетов не удовлетворяют критериям безопасности, то разрабатываются рекомендации по корректировке проекта;

- в проектные материалы вносятся дополнения, полученные по результатам оценки безопасности: устанавливается период потенциальной опасности ПЗ ОНАО, из нескольких вариантов места расположения и конструкции ПЗ ОНАО выбирается наиболее оптимальный и др.;

- результаты оценки безопасности оформляются в виде отчета по обоснованию безопасности населения и окружающей среды, отчет может быть выполнен в виде ОВОС – оценки воздействия ПЗ ОНАО на окружающую среду;

- результаты оценки безопасности и проектная документация ПЗ ОНАО согласовывается с органами, уполномоченными осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор;

- при согласовании с упомянутыми выше органами возможно проведение дополнительных работ по оценке безопасности ПЗ ОНАО.

8.13 Для обеспечения качества оценки безопасности необходимо руководствоваться следующими указаниями к проведению оценки безопасности ПЗ ОНАО:

а) использование научного подхода:

1) изучение процессов миграции радионуклидов;

2) определение параметров и разработка моделей должны основываться на современных научных достижениях;

3) используемые модели и компьютерные коды должны быть верифицированы для исключения ошибок, связанных с численными методами, начальными и граничными условиями и др.

б) простота:

1) необходима разработка простых моделей для инженерных расчетов, эквивалентных сложным, которые используются для основных расчетов (простые формулы расчета приведены в приложении Б), простые модели используются для:

- быстрого анализа полученных результатов;

- выявления грубых математических ошибок;

- оценки влияния отдельных процессов на конечный результат;

- выбора дозообразующих радионуклидов и других целей.

в) надлежащая документация и рецензирование:

1) систематическая, достоверная и понятная документация проведенной работы;

2) независимое техническое рецензирование сделанных оценок.

При выработке решений результаты оценки безопасности могут рассматриваться в различных организациях, общественных движениях и др., поэтому оценка безопасности должна быть выполнена таким образом, чтобы ее можно было представить для любого рассмотрения.

9 Модели оценки безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов

9.1 Характеристика моделей

9.1.1 В настоящем стандарте модель - это достаточно сложный инструмент получения данных или параметров без их непосредственного измерения, а с помощью имитации реальных процессов:

- путем решения алгебраических или дифференциальных уравнений;

- путем использования набора формул;

- с помощью качественного или количественного исследования соответствующих процессов;

- с помощью обработки массивов данных (аналитическая аппроксимация, интерполяция и пр.);

- путем изготовления уменьшенной или иной копии реального объекта и ее изучения;

- с помощью лабораторного исследования природных процессов и с помощью других методов.

9.1.2 Для оценки безопасности населения и загрязнения окружающей среды при захоронения ОНАО используются пять основных видов моделей:

- модели источника загрязнения и его изменения со временем;

- модели транспорта загрязнителей через инженерные барьеры, в этих моделях также оценивается и изменение защитных свойств инженерных барьеров;

- модели изменения свойств окружающей среды со временем (изменение климата, населения, рельефа и пр.);

- модели переноса загрязнителей в окружающей среде (перенос с поверхностными и подземными водами);

- модели облучения населения, также под этим типом моделей подразумеваются и биосферные модели.

Первые два типа моделей иногда называются локальными моделями, а четвертый - региональными.

9.1.3 Расчет внутреннего облучения населения можно не проводить в том случае, когда соответствующими НД установлены допустимые содержания радионуклидов в объектах окружающей среды.

9.1.4 Теоретические (математические) модели по методам решения уравнений разделяются на численные и аналитические. Удобство аналитических моделей заключается в простоте и наглядности использования, а также в легкой проверке решений. Однако, аналитические решения могут быть получены для ограниченного количества простейших случаев, для описания реальных объектов необходимо использовать численные решения.

Численные модели окружающей среды могут различаться также по методам численного решения уравнений, чаще всего используются методы конечных разностей и методы конечных элементов.

9.1.5 При расчете распространения загрязнения в окружающей среде скорость движения воды или воздуха может рассчитываться или приниматься из наблюдений. В первом случае модель переноса загрязнения дополняется моделью движения соответствующей субстанции (воздуха, поверхностных или подземных вод). Выбор метода определения скорости движения воздуха или воды зависит от условий задачи, от наличия соответствующей информации и

пр. Скорость ветра и скорость течения реки обычно принимается из гидрометеорологических данных, скорость фильтрации подземных вод и скорость течения в озерах, морях, заливах и бухтах обычно рассчитывается с помощью соответствующих моделей.

В настоящем стандарте приводятся как модели для расчета переноса загрязнителей, так и модели для расчета движения подземных вод. Движение подземных вод обычно называется фильтрацией, модели фильтрации являются неотъемлемым инструментом при оценке безопасности захоронений отходов. Для ОНАО используется приповерхностное захоронение, при этом обычно происходит загрязнение первого от поверхности водоносного горизонта, подземные воды этого горизонта обычно называются грунтовыми водами.

9.1.6 Очень низкоактивные отходы не представляют большой опасности для населения и окружающей среды, поэтому для их захоронения не требуется создание бетонных или иных барьеров, чьи свойства значительно отличаются от свойств окружающих горных пород. Поэтому модели фильтрации грунтовых вод и миграции радионуклидов разработанные для геосферы, могут использоваться для расчетов переноса радионуклидов в инженерных барьерах, а также в самих ОНАО. Пример использования моделей для оценки безопасности захоронения донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС приведен в приложении В.

9.1.7 Для проведения оценок безопасности ПЗ ОНАО АС необходимо обобщить имеющийся опыт проведения подобных работ в пакете компьютерных программ. Этот пакет программ следует верифицировать и аттестовать в установленном порядке.

9.2 Модель фильтрации грунтовых вод

9.2.1 Основные уравнения модели фильтрации грунтовых вод

9.2.1.1 Для решения задач, связанных с фильтрацией грунтовых вод разработан ряд компьютерных пакетов, в которых реализованы модели, основанные на решении систем уравнений. Для расчета скорости фильтрации

воды используется решение уравнения для гидростатического потенциала. Все эти уравнения являются уравнениями в частных производных, для решения которых используются численные или аналитические методы решения.

9.2.1.2 В основе модели фильтрации воды лежит уравнение для гидростатического потенциала (давления), которое может быть определено следующим образом

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[K_{ij}\frac{\partial \Psi}{\partial x_j} - \delta_{i3}K_{ij}\right] + Q, \qquad (1)$$

где K_{ij} – коэффициент фильтрации, м/с;

θ – влажность, в насыщенных условиях влажность равна пористости (n);

Ψ – гидростатический потенциал (давление), (другие буквы могут быть использованы для обозначения: φ, Р и др.), м;

Q – дивергенция инфильтрационного потока, $с^{-1}$;

δ_{ij} – символ Кронекера.

В зависимости от размерности задачи задаются величины *i* или *j*. Для трехмерного варианта *i* или *j* равно единице для горизонтальной оси X, двум - для оси Y и трем - для вертикальной оси Z, направленной вниз.

По повторяющимся индексам в уравнении (1) и далее подразумевается суммирование (правило суммирования Эйнштейна).

9.2.1.3 Скорость фильтрации (скорость Дарси), или иначе фильтрационный поток (расход) определяются из закона Дарси по формуле

$$V_i = -K_{ij}\left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_j} - \delta_{i3}\right). \qquad (2)$$

Истинная скорость движения грунтовых вод может быть найдена путем деления скорости фильтрации на активную пористость.

9.2.2 Приближение Дюпюи-Буссинеска

9.2.2.1 Для приповерхностных условий очень важным является определение УГВ. Для расчета УГВ используется двумерное уравнение

Дюпюи-Буссинеска (полученное путем интегрирования уравнения (1) по вертикали)

$$n\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[K_{ij}^{a}H\frac{\partial h}{\partial x_j}\right]+F\ , \qquad (3)$$

где h – уровень грунтовых вод, м;

H – мощность водоносного горизонта, м; ($H=h$ - Z, где Z – уровень водоупора, м);

F – сумма инфильтрационного потока и фильтрационного потока в нижележащие горизонты, м/с;

K^a – осредненная по мощности горизонта величина коэффициента фильтрации, м/с; $K_{ij}^{a}=(\int_{Z}^{h}K_{ij}dz)/H.$

Величина $K^a \cdot H$ имеет название водопроводимости водоносного горизонта, м^2/с.

9.2.2.2 Для простого случая однородного водоносного горизонта, расположенного между двух рек аналитическое решение уравнения (3) по координате X определено с использованием уравнения (полагается, что по координате У напор не меняется)

$$h=\sqrt{Z_1^2-\frac{Z_1^2-Z_2^2}{X}x+\frac{F(X-x)}{K}x}\ , \qquad (4)$$

где Z_1 – уровень грунтовых вод в первой реке, м;

Z_2 – уровень грунтовых вод во второй реке, м;

X – расстояние между реками (длина области водосбора), м;

x – текущая координата по оси X, м;

K – осредненный по вертикали коэффициент фильтрации, м/с (тензорные свойства коэффициента фильтрации не учитываются).

Из формулы (4) видно, что УГВ определяется отношением величины инфильтрационного потока к коэффициенту фильтрации.

9.2.3 Модель фильтрации в зоне аэрации

9.2.3.1 Места захоронения ОНАО располагаются выше УГВ, в зоне аэрации. Поэтому актуальной является задача расчета фильтрации в ненасыщенных условиях зоны аэрации. Насыщенные условия имеют место ниже УГВ. Обычно модели фильтрации воды разрабатываются для насыщенных и ненасыщенных условий отдельно.

Сложность решения уравнения (1) для ненасыщенных условиях связана с очень сильной нелинейной зависимостью между капиллярным напором, коэффициентом влагопереноса и величиной влагонасыщенности. Обычно используются эмпирические зависимости между этими параметрами.

9.2.3.2 В эмпирической модели [1] величина влажности рассчитывается по формуле

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1+(\alpha|\Psi|^n\right]^m}, \qquad (5)$$

где θ_r и θ_s – соответственно остаточная и полная влажность;

α и n – эмпирические коэффициенты, m=1-1/n.

Коэффициент влагопереноса определяется по формуле

$$K = K_s \cdot S^{0,5}[1-(1-S^{1/m})^m]^2, \qquad (6)$$

где K_s – коэффициент фильтрации в насыщенных условиях,

$$S=(\theta-\theta_r)/(\theta_s-\theta_r). \qquad (7)$$

9.2.3.3 Для решения уравнения (1) разработаны программы как для зоны аэрации, так и для насыщенного водоносного горизонта. Использование того или иного набора программ зависит от задачи.

9.2.3.4 Как видно из формул (5) - (7) параметры уравнения (1) в зоне аэрации связаны выражениями с сильной нелинейностью, что обусловливает применение дополнительных итерационных процессов для решения этого уравнения.

9.3 Модель подземной миграции

9.3.1 Уравнение подземной миграции

9.3.1.1 Модели подземной миграции радиоактивных или химических загрязнителей являются основной частью описываемой методики оценки безопасности приповерхностных ПЗ ОНАО. Модели миграции радионуклидов основаны на решении уравнений переноса. В большинстве моделей миграции используется решение уравнения

$$R\frac{\partial C}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\frac{D_{ij}}{\theta_a}\frac{\partial C}{\partial x_j}-\frac{V_i}{\theta_a}C\right]-\lambda(RC-R^mC^m)+Q\ , \qquad (8)$$

где C – объемная активность радионуклидов (концентрация химических загрязнителей) в грунтовых водах), Бк/м^3 (кг/м^3), (C^m - материнский нуклид);

θ_a – активная пористость;

R – так называемый фактор задержки, $R=1+\rho K_d/\theta$;

θ – влагосодержание, безразмерный параметр; в условиях насыщения $\theta=$ n, где n - общая пористость;

ρ – плотность сухого грунта, кг/м^3;

K_d – коэффициент распределения, м^3/кг;

V_i – фильтрационный поток (скорость Дарси), м/с;

D_{ij} – коэффициент дисперсии, м^2/с, который определяется по формуле

$$D_{ij}=D^*\theta+D^{ij}\ , \qquad (9)$$

где D^* - эффективный коэффициент диффузии;

D^{ij} – коэффициент гидродинамической дисперсии, который определяется по формуле

$$D^{ij}=\alpha_t|V|\delta_{ij}+(\alpha_l-\alpha_t)\,V_i V_j/|V|\ , \qquad (10)$$

где δ_{ij} – символ Кронекера;

α_l – продольная и α_t - поперечная дисперсности, м;

λ – постоянная распада, с$^{-1}$;

Q – величина скорости поступления загрязнения и скорости необратимого перехода примеси в необменную форму (выпадение в нерастворимый осадок), Бк/(м^3·с);

t – время, с.

9.3.1.2 Из уравнения (9) следует, что скорость движения радионуклидов в грунтовых водах равна истинной скорости фильтрации, деленной на фактор задержки (R). Фактор задержки определяется величиной коэффициента распределения, пористость обычно изменяется в небольших пределах (0,1 ÷ 0,5). Следовательно, для простейших оценок миграции радионуклидов достаточно знать истинную скорость фильтрации и коэффициент распределения. Горизонтальную скорость фильтрации можно оценить по формуле (2), при горизонтальном градиенте давления, равном градиенту уровня грунтовых вод в водоносном горизонте.

9.3.1.3 Одним из основных параметров, определяющих миграцию радионуклидов является коэффициент распределения, равный отношению активности в твердой фазе к активности в воде. При измерении K_d обычно концентрация в жидкой фазе измеряется на единицу объема, а в твердой на единицу массы, поэтому размерность K_d составляет м^3/кг. Если в обоих случаях используются объемные концентрации, получается безразмерный коэффициент распределения K_d^d. Соотношения между коэффициентами распределения определяются следующим образом: $K_d^d = \rho K_d$, где ρ – плотность горной породы, кг/м^3. Обе формы коэффициента распределения используются в расчетах.

9.3.1.4 Кроме скорости фильтрации и коэффициента распределения на миграцию радионуклидов влияет коэффициент гидродинамической дисперсии. Коэффициент гидродинамической дисперсии адекватно можно определить только путем постановки специальных экспериментов по запуску трассеров в водоносный горизонт, с последующей интерпретацией полученных данных. Также определяется активная пористость. В некоторых случаях возможна

теоретическая оценка коэффициента дисперсии с использованием данных по литологической неоднородности горных пород.

9.3.2 Аналитические решения уравнения подземной миграции

9.3.2.1 Для проверки численных решений и для простейшей оценки миграции радионуклидов бывает полезно использовать аналитические решения уравнения (8). Для мгновенного точечного источника одномерное решение уравнения (8) имеет вид аналогичный нормальному (гауссову) распределению случайной величины и определяется уравнением

$$C = \frac{q}{\sqrt{4\pi(D\cdot t)/(\theta\cdot R)}}\exp\left\{-\frac{[x-(V\cdot t)/(\theta\cdot R)]^2}{4(D\cdot t)/(\theta\cdot R)} - \lambda\cdot t\right\}, \qquad (11)$$

где q – величина мгновенного точечного источника, Бк.

9.3.2.2 Для протяженного мгновенного источника Q (Бк) с длиной L (м) аналитическое решение уравнения (8) можно получить путем интегрирования выражения (11) по оси X, при этом полагается, что $q = Q\cdot \mathrm{d}x/L$. В результате интегрирования получается выражение

$$C = \frac{Q}{2\cdot L}\exp(-\lambda\cdot t)\left\{erf\left[\frac{(x-L/2)-(V\cdot t)/(\theta\cdot R)}{\sqrt{4(D\cdot t)/(\theta\cdot R)}}\right] - erf\left[\frac{(x+L/2)-(V\cdot t)/(\theta\cdot R)}{\sqrt{4(D\cdot t)/(\theta\cdot R)}}\right]\right\}. \qquad (12)$$

В выражении (12) полагается, что в начальный момент времени координаты концов источника равны -L/2 и L/2. Аналитическое решение (12) чаще используется не с учетом величины мгновенного источника поступления активности, а рассматривается начальная объемная активность C_0, при этом в выражение (12) вместо источника подставляется начальная объемная активность согласно формуле

$$C_0 = Q/L\ . \qquad (13)$$

9.4 Модель источника загрязнения

9.4.1 При оценке безопасности захоронения радиоактивных отходов разрабатываются специальные модели источника поступления радионуклидов в

окружающую среду, например, для отвержденных жидких РАО рассчитывается скорость выщелачивания радионуклидов из отходосодержащих матриц, рассчитывается скорость деградации этих матриц и скорость деградации защитных барьеров. Для ОНАО модель источника может быть значительно упрощена путем использования коэффициента распределения.

9.4.2 Согласно 9.1.9 модель источника загрязнения может быть построена на решении уравнения (8), в котором объем, занимаемый отходами, является объемным источником. Объемная активность воды в этом источнике может быть оценена с помощью коэффициента распределения, то есть отношения активности отходов к активности воды в месте захоронения. В объеме, занимаемом ОНАО, в уравнении (8) задается начальное распределение активности воды, равное активности ОНАО, деленной на коэффициент распределения, и в дальнейшем уравнение (8) решается выбранным способом. Тем самым задается источник радионуклидов. Используемый коэффициент не совпадает с коэффициентом распределения, учитываемым при расчете сорбции при миграции радионуклидов. В английском языке эта величина называется «partition coefficient» в отличие от коэффициента распределения – «distribution coefficient». «Partition coefficient» можно перевести как «коэффициент разделения», однако такой термин не используется в отечественной литературе. В данном подразделе этот коэффициент обозначается K_p.

9.4.3 Если необходимо оценить отдельно поступление радионуклидов из места захоронения в водоносный горизонт, то с помощью коэффициента распределения можно рассчитать поток радионуклидов в грунтовые воды. В том случае, если ОНАО представляют достаточно компактную однородную субстанцию, подобную рыхлым горным породам, через которую происходит фильтрация осадков, то поток радионуклидов можно определить по следующей формуле (активная пористость полагается равной общей пористости)

$$f = C \cdot V / (\theta + \rho \cdot K_p), \qquad (14)$$

где f – поток радионуклидов, Бк/м^2·с;

С – удельная активность ОНАО, Бк/кг, $C=C_o \cdot exp(-\lambda \cdot t)$, C_o – начальная удельная активность ОНАО, Бк/кг;

V – вертикальный фильтрационный поток воды через ОНАО, м/с.

9.4.4 Если ОНАО располагаются в емкости, которая может заливаться водой, а вода может перемешиваться, то поток радионуклидов из места захоронения можно определить по формуле

$$f = \theta \cdot C / (l \cdot \Delta t) / (\theta + \rho \cdot K_P), \quad (15)$$

где l – глубина емкости, м;

Δt – время, за которое происходит заполнение емкости, с.

9.5 Расчет дозовых нагрузок на население

9.5.1 Основной частью моделей для оценки безопасности являются модели подземной миграции активности из ПЗ ОНАО. Рассчитанные активности в грунтовых и поверхностных водах могут сравниваться с уровнями вмешательства, установленными для радионуклидов в приложении 2а НРБ-99/2009. На основании такого сравнения можно делать заключение о степени безопасности ПЗ ОНАО для принятия соответствующих решений, без осуществления расчета. (Новая ред. изм.1)

9.5.2 Если разгрузка загрязненных грунтовых вод происходит в водоем, для которого установлены нормативы допустимого сброса радионуклидов с АС, то оценка дозы облучения населения E в результате утечки из ПЗ ОНАО выполняется следующим образом

$$E = МЗД \cdot \sum_i \frac{G_i}{ДС_i}, \quad (16)$$

где $ДС_i$ - допустимый сброс радионуклида i с АС в водоем, Бк/год;

G_i - утечка радионуклида i из ПЗ ОНАО, Бк/год;

$МЗД$ - минимально значимая доза, равна 10 мкЗв/год.

9.5.3 Расчет доз необходимо делать, если, например, происходит загрязнение объектов окружающей среды, для которых не установлены допустимые содержания радионуклидов, а также если результаты расчетов могут иметь международное представление.

9.5.4 При оценке безопасности, связанной с несанкционированным проникновении человека в места размещения отходов или санкционированным использованием территории ПЗ ОНАО в постэксплуатационный период проводится расчет доз по возможным путям облучения.

9.5.5 Расчет облучения населения согласно пп.9.5.3 и 9.5.4 следует проводить в соответствии с существующими нормативными и справочными документами, например, [2 – 6].

10 Параметры, необходимые для оценки безопасности

10.1 Параметры окружающей среды

10.1.1 Для проектирования и оценки безопасности ПЗ ОНАО необходимо иметь соответствующие данные о площадке, которые могут быть получены из проектных или иных материалов АС, при их отсутствии необходимо выполнить специальные исследования или использовать справочные данные. Для участка размещения ПЗ ОНАО необходимы следующие данные:

- результаты радиационно-гигиенического обследования территории;
- топографический материал (топографические карты и картограммы);
- геологические и инженерно-геологические данные;
- данные по гидрогеологии места расположения ПЗ ОНАО (строение водоносных горизонтов, уровень грунтовых вод, временные водоносные горизонты (верховодка), области питания и разгрузки грунтовых вод, положение водоупорных горизонтов);
- коэффициент фильтрации горных пород водоносных горизонтов, их пористость;
- коэффициент распределения между водой и грунтами основных дозообразующих радионуклидов и химических загрязнителей для пород места

расположения ПЗ ОНАО;

- норма осадков и распределение их в течение года, расход воды в расположенных вблизи поверхностных водотоках.

10.1.2 При выборе места ПЗ ОНАО и его проектировании должны быть выполнены исследования окружающей среды, которые необходимы для общего представления о способах и местах захоронения, а кроме того, полученные в ходе исследований параметры будут входными величинами и/или начальными и граничными условиями для решения представленных выше уравнений.

10.1.2.1 Геодезические данные

При выборе места расположения ПЗ ОНАО должен изучаться картографический материал, проводиться детализация топографии. Во время эксплуатации должна проводиться топографическая привязка пункта захоронения, лучше с использованием спутниковой навигации, уточняются изменения рельефа, связанные с эксплуатацией ПЗ ОНАО.

10.1.2.2 Геологические параметры

Для места расположения ПЗ ОНАО в радиусе около 3 км должна быть выполнена геологическая съемка масштаба 1:50000, в месте расположения ПЗ ОНАО масштаб съемки не менее 1:25000. Особое внимание следует обратить на залегания пород с различной проницаемостью, выявляются горизонты, сложенные трещиноватыми и крупнообломочными породами.

Оценивается вероятность опасных геологических процессов: карста, повышенной сейсмичности и вулканических проявлений.

10.1.2.3 Геоморфологические параметры

Должна выполняться оценка поверхностного смыва грунта русловыми водными потоками (эрозии), плоскостного смыва (денудации) и отложения грунта (аккумуляции).

Должно проводиться изучение направления рельефообразующих процессов на участке (размыв, абразия, врезание, аккумуляция, состояние равновесия), а также выполняться оценка возможности проявления опасных процессов: образование оврагов, оползней, проседания.

10.1.2.4 Гидрогеологические параметры

Необходимо определять уровень грунтовых вод (проводить построения карт пьезоизогипс), изучать сезонные и иные вариации этого уровня, оценивать возможность образования верховодки.

Должны изучаться области питания и разгрузки грунтовых вод, определяться положение и свойства водоупорных горизонтов.

Должно проводиться определение коэффициента фильтрации и величины пористости для горных пород места расположения ПЗ ОНАО, при этом используются лабораторные и полевые методы, а также исследуется архивная литература.

Для зоны аэрации оценивается величина инфильтрационного потока, влажности, коэффициента влагопереноса а также полной и остаточной влагоемкости пород. Устанавливаются взаимные зависимости влажности, давления и коэффициента влагопереноса, определяется продольная дисперсность в зоне аэрации.

Для водоносного горизонта определяются продольная и поперечная (вертикальная и горизонтальная) дисперсности для характерных масштабов рассматриваемых задач.

10.1.2.5 Геохимические параметры

Должен определяться коэффициент распределения основных дозообразующих радионуклидов для пород места расположения ПЗ ОНАО, при этом используются местные грунтовые воды. Лабораторные измерения коэффициента распределения и других параметров проводятся статическим и динамическим методами, используют также и натурные измерения. Рекомендации по проведению данных работ приведены в приложении Б.

Должна исследоваться возможность нахождения в воде и миграции радионуклидов в катионной и анионной форме, в виде комплексов, хелатов, в коллоидной форме, определяются процессы и параметры, контролирующие переход из одной формы в другую.

10.1.2.6 Климатические и гидрологические данные

Необходимы следующие параметры:

- норма осадков и распределение их в течение года;
- испаряемость;
- вероятность затопления территории;
- повторяемость направления и скорости ветра;
- изменение температуры в течение года;
- глубина промерзания.

Должны устанавливаться количественные соотношения между нормой осадков, испаряемостью, инфильтрационным потоком и поверхностным стоком.

Необходимы параметры по модулю поверхностного стока с рассматриваемых территорий и по расходу воды в расположенных вблизи поверхностных водотоках и его зависимость от сезона.

10.1.2.7 Изучение населения

При демографическом исследовании оценивается плотность и размещение населения вблизи от ПЗ ОНАО, занятие населения, сельскохозяйственное использование прилегающих земель, делаются прогнозы дальнейшего изменения плотности населения, изучается рацион питания.

Социологические исследования предполагают изучение отношения местного населения к строительству и эксплуатации ПЗ ОНАО.

10.2 Параметры ОНАО и инженерных барьеров

10.2.1 Для оценки безопасности ПЗ ОНАО необходимо определение параметров ОНАО и инженерных барьеров. В связи с неопределенностью некоторых величин, оценивается распределение вероятности значений для таких параметров. Параметры ОНАО и инженерных барьеров изменяются со временем, поэтому необходимо оценивать изменение свойств ОНАО и барьеров со временем.

Параметры ОНАО и инженерных барьеров определяются при разработке технологии переработки отходов, методов их захоронения и конструкций мест

захоронения. Отдельные измерения могут выполняться при проектировании ПЗ ОНАО. Рекомендации по измерению параметров приведены в приложении Б.

10.2.2 Для разработки проекта и обоснования безопасности ПЗ ОНАО используется следующая информация об отходах:

- объем (масса) и вид отходов (загрязненное оборудование, строительные материалы, загрязненный грунт и др.);

- характер радиоактивного загрязнения (поверхностное и/или объемное загрязнение);

- удельная, поверхностная и суммарная активность, а также радионуклидный состав;

- физико-химические свойства отходов;

- класс опасности отходов;

- концентрации опасных веществ в отходах, определяющих класс опасности, для отходов класса I, II или III.

10.2.3 При определении радионуклидного состава отходов АС следует учитывать тот факт, что основной вклад (свыше 95 %) в их активность вносят ^{54}Mn, ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{134}Cs и ^{137}Cs. При оценке безопасности будущих поколений людей может дополнительно потребоваться информация о содержании в отходах ^{3}H, ^{14}C, ^{59}Ni, ^{63}Ni, ^{99}Tc, ^{129}I, ^{239}Pu и других альфа-излучателей с периодом полураспада более пяти лет. (Новая ред. изм.1)

Если данные о радионуклидном составе не полные или отсутствуют, то активности значимых радионуклидов следует оценивать по аналогичным отечественным или зарубежным отходам. При этом по известной активности одних радионуклидов может быть оценена неизвестная активность других нуклидов, также может быть использована величина мощности дозы гамма-излучения или иные данные.

10.2.4 Для обоснования безопасности ПЗ ОНАО необходимо иметь оценки возможного выхода радионуклидов из ОНАО, для чего должны быть определены следующие параметры:

- растворимость веществ, содержащих радионуклиды в отходах;

- отношение между загрязнением поверхностей ОНАО и содержанием радионуклидов в воде (при смыве радионуклидов с загрязненных поверхностей);

- отношение удельной активности радионуклидов в отходах и в воде (коэффициент распределения между ОНАО и водой).

10.2.5 Для оценки безопасности ПЗ ОНАО необходима информация о следующих параметрах и характеристиках защитных барьеров:

- коэффициенте распределения между водой и материалом барьера для основных дозообразующих радионуклидов;

- коэффициенте фильтрации воды в материале барьеров;

- изменении со временем защитных свойств барьеров (прочностных, фильтрационных и сорбционных).

Приложение А
(рекомендуемое)
Рекомендации по измерению параметров моделей фильтрации грунтовых вод и миграции радионуклидов

Определение необходимых параметров может осуществляться различными способами: лабораторными измерениями и экспериментами, проведением полевых экспериментальных исследований, а также методом решения обратной задачи. Последний метод подразумевает, например, определение параметров контролирующих миграцию активности по измеренному распределению радионуклидов в окружающей среде. Практически все параметры, необходимые для оценки ПЗ ОНАО, определяются путем проведения соответствующих экспериментов.

Так, например, коэффициент распределения в лабораторных условиях определяется или путем встряхивания емкости, содержащей воду и грунт (статический метод), или используются сорбционные колонки (динамический метод). В обоих случаях для измерения активности в твердой и жидкой фазе используются обычные методы измерения концентраций радионуклидов (радиохимические, гамма-спектрометрические и др.).

Определение многих параметров ОНАО, исследование сорбционных возможностей барьеров и горных пород, изучение распределения активности в окружающей среде в конечном счете сводится к измерению активности нуклидов. Для этой цели имеются специальные методики [7, 8, 9]. Фильтрационные свойства ОНАО, инженерных барьеров и горных пород определяются в соответствии с существующими методиками, например [10-14].

Основной проблемой при моделировании распространения загрязнения в окружающей среде является недостаточное знание или полное отсутствие необходимых коэффициентов переноса, в данном случае это параметры уравнений (1, 3, 8). Определение этих параметров связано с необходимостью выполнения кропотливых, часто очень длительных экспериментальных исследований. Поэтому обычно проводится отбор проб и измерение концентрации химических и радиоактивных загрязнителей, а коэффициенты переноса берутся часто из литературных источников.

В связи с таким положением особенно актуальным является использование методов решения обратной задачи. Для определения источника выхода активности из отвержденных ОНАО проводятся эксперименты по определению скорости выщелачивания. По этим экспериментам можно методом обратной задачи также определить коэффициент диффузии отвержденных ОНАО, при достаточно длительном времени проведения этих экспериментов.

Более общий подход к определению скорости выхода активности из ОНАО состоит в том, что из существующих мест захоронения отходов проводят отбор проб воды. Отношение активности в ОНАО к активности в воде представляет собой коэффициент, который согласно 9.4.2 называется коэффициентом распределения. Однако этот коэффициент следует отличать от коэффициента распределения, учитываемого при расчете миграции радионуклидов, поскольку в коэффициенте распределения, используемом при расчете миграции, учитывается только обменная форма радионуклидов.

Коэффициент распределения можно измерять лабораторными методами, но лучше определять из наблюдений за распространением активности в полевых условиях. Учет геохимического взаимодействия твердой и жидкой фазы с помощью постоянного коэффициента распределения является самым простым приближением, которое в ряде случаев оказывается непригодным. В этих случаях необходимо применение иных форм описания, учитывающих процессы сорбции-десорбции, геохимических реакций, растворения, выпадения в осадок и др. Эти процессы в принципе можно описать с помощью геохимических методов, например, с помощью термодинамических моделей. Однако для практического использования лучше использовать так называемый эффективный

коэффициент распределения, полученный при исследовании реальной миграции радионуклидов, который учитывает все эти процессы.

Следует отметить, что обычно использующиеся значения коэффициента распределения, полученные статическим методом, примерно на порядок больше, чем полученные динамическим методом. Но и динамический метод дает завышенные коэффициенты распределения по сравнению с реальной миграцией.

Вследствие этого факта прогнозные оценки при обосновании безопасности АС являются неправдоподобно оптимистичными, а их неопределенности достигают нескольких порядков величины. Такие прогнозы обычно не оправдываются, а такие радионуклиды, как ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs, наблюдаются в грунтовых водах практически на всех промплощадках отечественных АС. Согласно обычно выполняемым прогнозам этих радионуклидов не должно быть в грунтовых водах.

Коэффициент гидродинамической дисперсии адекватно можно определить только путем постановки специальных экспериментов по запуску трассеров в водоносный горизонт с последующей интерпретацией полученных данных. Также определяется активная пористость. В некоторых случаях возможна теоретическая оценка коэффициента дисперсии с использованием данных по литологической неоднородности горных пород.

Коэффициент фильтрации определяется как лабораторными, так и полевыми экспериментами. Однако его величина меняется на порядки в зависимости от выбора мест проведения наблюдений, мест отбора проб, а также от метода определения. Поэтому для корректности результатов проводят расчет давления путем решения уравнения (3), результаты расчетов сравнивают с наблюдениями за распределением давления и подбирают такие коэффициенты фильтрации, при которых расчеты соответствуют наблюдениям.

Особенные проблемы возникают для зоны аэрации. В данном случае имеет место довольно сложная, очень нелинейная зависимость между давлением, коэффициентом фильтрации и влагонасыщенностью. Пример модели зоны аэрации приведен в 9.2.3, для определения параметров этой модели выполняются весьма сложные полевые экспериментальные работы.

Проблемы возникают также при рассмотрении инженерных барьеров. Иногда для захоронения ОНАО могут использоваться ненужные бетонные емкости. Фильтрационные и сорбционные параметры бетона меняются со временем. Этот процесс в настоящее время практически не изучен, согласно общим представлениям полагается, что бетон теряет свои защитные свойства через 300-500 лет.

Величина инфильтрационного потока является весьма важным параметром, обычно эта величина не измеряется. Поэтому приближенно она принимается равной одной трети от нормы осадков.

Как показала практика использования разработанных моделей при оценке реальных объектов, все перечисленные параметры не могут быть получены для каждого конкретного объекта. В связи с этим часть параметров приходится брать из справочных данных.

Приложение Б
(справочное)
Использование простых формул для оценки безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов

Иногда расчет миграции радионуклидов с грунтовыми водами проводится с помощью простых формул с использованием параметров, взятых из ненадежных источников. Применение простых формул и некорректных параметров зачастую связано с некомпетентностью исполнителей оценки безопасности.

Для простейших оценок миграции загрязнителей с грунтовыми водами иногда ограничиваются расчетом времени переноса радионуклидов из места локализации отходов до места возможного использования грунтовых вод или места разгрузки этих вод в поверхностный водоем. Иногда рассчитывают расстояние миграции радионуклидов за определенное время. Такие оценки, например, часто делаются при обосновании безопасности атомных станций для возможной утечки жидких радиоактивных отходов в грунтовые воды. При таких оценках расчет скорости фильтрации грунтовых вод проводится по формуле

$$V = K \cdot i, \qquad \text{(В.1)}$$

где V – скорость фильтрации (фильтрационный поток, расход), м/сут,

K – коэффициент фильтрации, м/сут,

i – уклон уровня грунтовых вод.

Скорость перемещения фронта радиоактивного загрязнения грунтовых вод (v) оценивается по формуле (активная пористость полагается равной общей пористости)

$$v = V \cdot (\theta + \rho \cdot K_d)^{-1}, \qquad \text{(В.2)}$$

где v - скорость перемещения фронта загрязнения, м/сут,

θ – пористость,

ρ – плотность, кг/м^3,

K_d – коэффициент распределения, м^3/кг.

Соответственно, время t (сут), за которое фронт радионуклидов преодолеет расстояние L (м), определяется по формуле

$$t = L \cdot v^{-1}. \qquad \text{(В.3)}$$

При выполнении оценки безопасности АС подобным образом получалось, что расстояние, которое могут преодолеть радионуклиды за несколько десятков лет, не превысит нескольких метров. Однако, как было упомянуто выше, практически на всех АС в грунтовых водах обнаруживаются такие радионуклиды, как ^{60}Co, ^{90}Sr, ^{137}Cs.

Коэффициент распределения у ^{90}Sr обычно в несколько раз меньше, чем у ^{60}Co и примерно на порядок меньше, чем у ^{137}Cs, соответственно скорость миграции ^{90}Sr больше, чем ^{60}Co и ^{137}Cs, поэтому при обосновании безопасности АС обычно рассматривается возможная миграция ^{90}Sr.

В [15] в 1994 г. исследовались последствия утечки жидких РАО, которая произошла на Нововоронежской АЭС в 1985 г. В этой работе с помощью вышеприведенных простых формул было оценено время миграции радионуклидов на расстояние 1 км и получено, что для ^{90}Sr это время составляет (1000 ÷ 3300) лет, для ^{137}Cs - (16000 ÷ 50000) лет. Для ^{60}Co было получено, что его удельная активность в грунтовых водах на расстоянии более 300 м от места утечки никогда не превысит 0,37 Бк/кг.

На самом деле уже в 1998 г. было обнаружено поступление ^{60}Co в р. Дон на расстоянии 700 м от места утечки при разгрузке грунтовых вод в реку, а активность

радионуклида в грунтовых водах превышала сделанные в [15] оценки более, чем в 10 000 раз. Кроме того, ^{90}Sr и ^{137}Cs были обнаружены в грунтовых водах на расстоянии более 100 метров от места утечки.

Использование простых формул и не корректных параметров миграции радионуклидов может привести к значительной недооценке возможного загрязнения грунтовых вод, т.е. к загрязнению грунтовых вод выше установленных пределов.

Для того, чтобы избежать недооценки в расчете миграции радионуклидов иногда прибегают к заведомо консервативной оценке безопасности. Это делается из-за того, что получение реальных результатов связано со сравнительно большими трудностями. Например, в [16] приведены оценки миграции ^{60}Co из траншеи с отходами Билибинской АЭС, выполненные ФГУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» Ростехнадзора. При этом полагалось, что после размещения отходов в траншею вся содержащаяся в них активность ^{60}Co мгновенно поступает в грунтовые воды, рассчитанная удельная активность ^{60}Co в грунтовых водах получилась до 8600 Бк/кг, что примерно в 100 раз больше реально наблюдаемой активности этого радионуклида.

Такие консервативные оценки могут приводить к тому, что для обеспечения безопасности пунктов захоронения ОНАО будет доказана необходимость сооружения дорогостоящих инженерных барьеров. Например, для захоронения ОНАО на Балаковской АЭС построены железобетонные емкости, некоторые емкости даже расположены в специальном бетонном помещении [17].

Таким образом, можно сделать вывод, что использование простейших формул и ненадежных параметров при оценке безопасности ПЗ ОНАО может приводить как к загрязнению грунтовых вод выше допустимых пределов, так и к необоснованному увеличению затрат на сооружение ненужных инженерных барьеров.

Простые формулы можно использовать для предварительной оценки безопасности, для обнаружения грубых ошибок в модельных расчетах, для быстрого анализа полученных результатов, для оценки влияния отдельных процессов на конечный результат, для выбора дозообразующих радионуклидов и для других целей.

Приложение В
(справочное)
Пример оценки безопасности при захоронении донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС

Для примера оценки безопасности ПЗ ОНАО рассмотрим захоронение донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС. При эксплуатации брызгальных бассейнов в них произошло накопление донных отложений, представляющих собой смесь, состоящую из органических остатков водорослей, песка, почвы и других компонентов. Общее количество образовавшихся донных отложений равно примерно 3000 $м^3$. Донные отложения брызгальных бассейнов Балаковской АЭС оказались загрязненными короткоживущими радионуклидами из-за сброса в бассейны дебалансных вод. На 01.11.2004 средняя удельная активность ^{137}Cs составляла $8{,}5 \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{134}Cs – $1{,}3 \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{60}Co – $3{,}2 \cdot 10^2$ Бк/кг, ^{54}Mn – менее 70 Бк/кг.

Для захоронения донных отложений была разработана программа работ по локализации донных отложений [18] с пояснительной запиской к программе [19]. В пояснительной записке были представлены результаты оценки безопасности.

В.1 Несанкционированное проникновение на пункт захоронения очень низкоактивных отходов

Для оценки возможного облучения населения от донных отложений брызгальных бассейнов рассмотрен сценарий, когда эти отходы размещаются в доступных для населения местах (вывозятся на обычную свалку). Богатые органикой донные отложения могут рассматриваться как плодородные грунты, т.е. отходы атомной станции могут быть удобрением для приусадебного растениеводства. Имели место случаи, когда выброшенные на свалку радиоактивные илы население растаскивало на огороды.

Расчет облучения населения консервативно проводился при условии, что привезенные на приусадебный участок донные отложения распределены по всему участку слоем толщиной около 10 см. Расчет эффективной дозы проводился с учетом внешнего и внутреннего облучения. При расчете дозы внутреннего облучения учитывается пероральное и ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека. Пероральное поступление связано с потреблением овощей и фруктов, выращенных на приусадебном участке. Из проведенных расчетов получено, что годовая эффективная доза может достигать 1,8 мЗв, причем около 95 % дозы (1,7 мЗв) обусловлено внешним облучением и только примерно 5 % дозы (0,07 мЗв) - внутренним облучением. Из расчетов также следует, что критическим радионуклидом является ^{137}Cs.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что размещение донных отложений должно проводиться в местах, недоступных для населения: на охраняемой территории, или при их захоронении должны быть использованы барьеры, предотвращающие несанкционированное проникновение человека в места захоронения. При захоронении донных отложений в санитарно-защитной зоне в принципе можно установить предупреждающие знаки радиационной опасности, однако, это может привести к ненужному социальному напряжению.

В.2 Возможная миграция радионуклидов из пункта захоронения очень низкоактивных отходов

Балаковская АЭС подготовила следующие предложения по способам и возможным местам локализации донных отложений в районе расположения атомной станции:

- после осушения донные отложения перегрузить в подготовленные траншеи, расположенные в пределах охраняемого периметра площадки бассейнов, с последующим закрытием траншей чистым грунтом. Донные отложения, с удельной активностью больше, чем у ОНАО размещаются в хранилище РАО;

- локализовать донные отложения на сооруженном полигоне промышленных отходов (на упомянутом в предыдущем разделе ПЗ ОНАО с бетонными емкостями);

- переместить донные отложения в карту № 4 шламоотвала. Для этого необходимо провести монтаж трубопроводов и ремонт карты № 4 шламоотвала, внести карту в охраняемый периметр, соорудить наблюдательные скважины;

- разместить донные отложения в один из бассейнов (бассейн ББ-II-2) с покрытием их армированным бетоном, бассейн эксплуатировать в обычном порядке;

- хранить донные отложения в выведенном из эксплуатации бассейне ББ-II-2 в течение длительного срока, за который произойдет значительный спад активности донных отложений за счет естественного распада радионуклидов.

Локализация донных отложений на полигоне промышленных отходов оказалась невозможна из-за недостаточного объема полигона. Длительное хранение отложений было исключено из-за требования надзорных органов. Поэтому оценка безопасности проводились для трех возможных мест локализации донных отложений (шламоотвала, бассейна ББ-II-2 и траншеи), показанных на рисунке В.1.

При оценке безопасности проводилось численное решение трехмерного уравнения фильтрации грунтовых вод (1) с учетом параметров зоны аэрации (5 – 7), миграция радионуклидов рассчитывалась с помощью численного решения трехмерного уравнения (8). Параметры уравнений принимались из фондовых отчетов, литературных источников, а также путем проведения специальных экспериментальных работ.

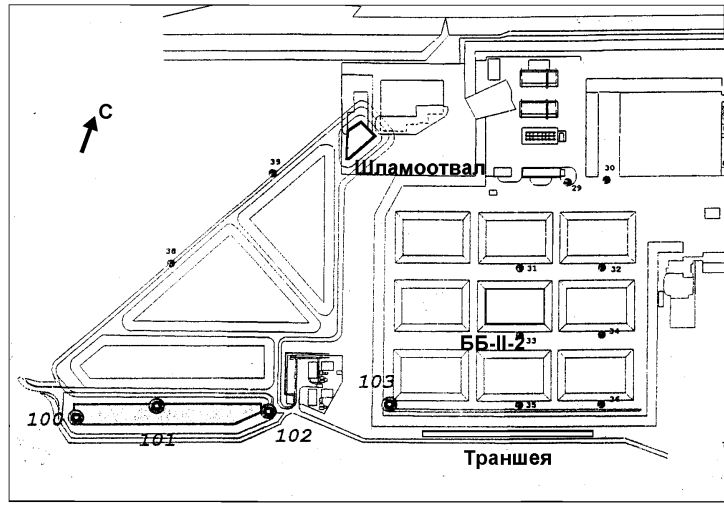


Рисунок В.1 - Схема расположения возможных мест локализации донных отложений

При оценке безопасности рассматривался только критический радионуклид, содержащийся в донных отложениях – ^{137}Cs. Рассчитанная удельная активность ^{137}Cs в грунтовых водах сравнивалась с УВ, определенном в приложении П-2 НРБ-99 (в настоящее время – в приложении 2а НРБ-99/2009), также рассчитывалось поступление ^{137}Cs в водоем-охладитель, поступление сравнивалось с допустимым сбросом в этот водоем. В месте расположения Балаковской АЭС выделяется два водоносных горизонта грунтовых вод, разделенных глинами (коэффициент фильтрации глин около 0,003 м/сут). Не

использующийся нигде для питьевого водоснабжения верхний горизонт сложен суглинками (коэффициент фильтрации около 0,1 м/сут). Использующийся для водоснабжения за пределами промплощадки нижний горизонт сложен песками (коэффициент фильтрации около 10 м/сут). Ранее полагалось, что гидравлической связи между этими горизонтами нет, на основании этого в [20] по простым формулам, приведенным в предыдущем разделе, было получено неправдоподобно большое время миграции ^{90}Sr от третьего блока Балаковской АЭС до водоема-охладителя - 3,72 млн. лет.

На основании данных по Балаковскому химическому заводу и расчетам по гидрогеологической модели было получено, что радионуклиды из верхнего водоносного горизонта переносятся в нижний горизонт, поэтому рассматривалась миграция радионуклидов в обоих горизонтах.

Для задания источника поступления ^{137}Cs использовался метод, приведенный в 9.4.2. Коэффициент распределения между водой и донными отложениями определялся лабораторным методом, кроме того, использовались данные по активности воды из небольших шурфов, вырытых в донных отложениях. В расчетах принимался определенный таким способом безразмерный коэффициент, равный 1500.

Реальных данных по коэффициенту распределения для грунтов места расположения Балаковской АЭС не было, поэтому были выполнены консервативные расчеты с коэффициентом распределения ^{137}Cs в грунтах, равным нулю. Также были проведены расчеты, которые можно назвать реалистическими, с безразмерным коэффициентом распределения, равным 30 в суглинках, 100 в глинах и 10 в песках.

На рисунках В.2 – В.4 приведены результаты консервативных расчетов для захоронения донных отложений в траншее. Эти рисунки иллюстрируют временные и пространственные вариации активности ^{137}Cs в грунтовых водах. Из рисунка В.4 видно, что горизонтальная миграция ^{137}Cs происходит только в нижнем водоносном горизонте.

Следует отметить, что рассчитанное загрязнение грунтовых вод оказалось примерно одинаковым как для захоронения в траншее, так и для захоронения в шламоотвале и в брызгальном бассейне ББ-II-2. Для шламоотвала и бассейна предполагалось их заполнение водой, вследствие чего в них увеличивалось давления воды над отходами и поступление ^{137}Cs в водоносный горизонт получалось примерно таким же, как из траншеи, хотя для траншеи не предусматривалось каких-либо защитных экранов.

При проведении оценки безопасности захоронения донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС были получены следующие результаты:

- возможная удельная активность ^{137}Cs в не использующемся для водоснабжения верхнем водоносном горизонте не превысит установленного уровня вмешательства по воде (УВ = 11 Бк/кг) как при реалистических, так и при консервативных оценках;
- удельная активность ^{137}Cs в использующемся для водоснабжения нижнем водоносном горизонте как по реалистическим, так и по консервативным оценкам не превысит 10 % УВ, то есть при потреблении этой воды доза не может превысить 10 мкЗв/год (распространение ^{137}Cs в водоносном горизонте возможно только на территории, где нет и не предвидится водозаборных сооружений);
- возможное поступление ^{137}Cs в водоем охладитель в тысячи раз меньше допустимого сброса при консервативных оценках и примерно на двадцать порядков меньше ДС при реалистической оценке.

На основе сравнительного комплексного анализа рассмотренных вариантов по показателям радиационной безопасности, экономичности и социальным последствиям в программе [18] было рекомендовано донные отложения после их осушения перегрузить в подготовленные траншеи, расположенные в пределах охраняемого периметра площадки брызгальных бассейнов, с последующим закрытием траншей чистым грунтом. В настоящее времени донные отложения брызгальных бассейнов Балаковской АЭС захоронены в траншею, показанную на рисунке В.1.

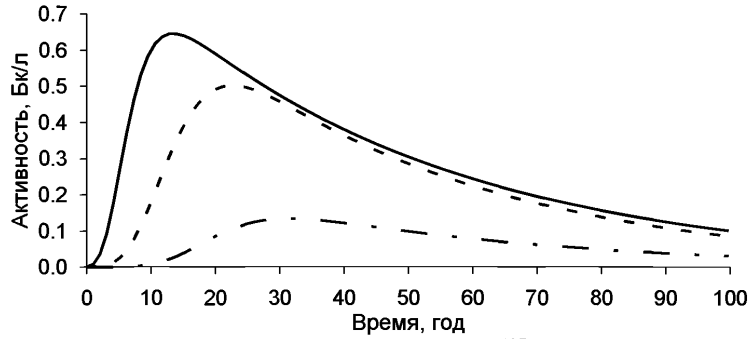


Рисунок В.2 – Изменение со временем активности ^{137}Cs в грунтовых водах

Сплошная линия – активность в верхнем водоносном горизонте на расстоянии 10 м от траншеи, пунктир и штрих пунктир - активность в нижнем водоносном горизонте на расстоянии 10 и 100 м от траншеи

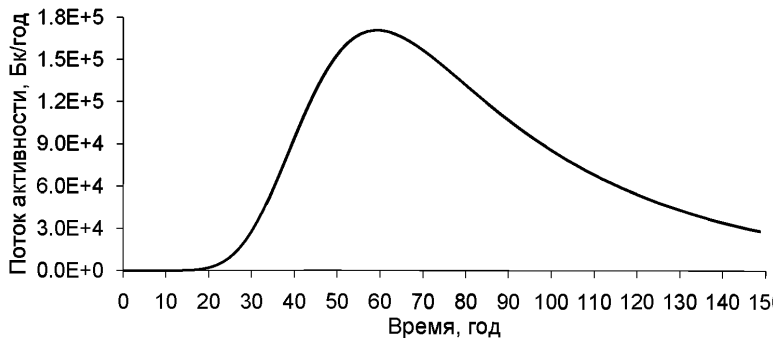


Рисунок В.3 – Изменение со временем поступления ^{137}Cs в водоем-охладитель

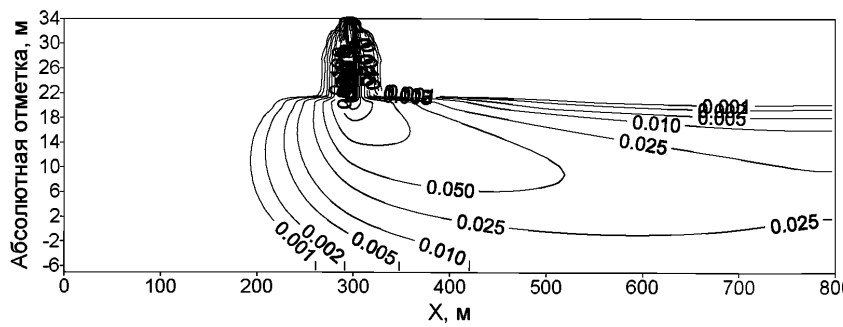


Рисунок В.4 – Вертикальное распределение активности ^{137}Cs в грунтовых водах через 60 лет после захоронения донных отложений, Бк/л

Библиография

[1] Van Genuchen M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. - Soil. Sci. Soc. Am. J., 1980, v. 44, p 892 - 898

[2] ICRP Publication 26. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 1977

[3] Safety Series N 115. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA, Vienna, 1996

[4] Безопасность в атомной энергетике. Часть 1. Общие положения безопасности АЭС. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения населения. МХО, Интератомэнерго. М., Энергоатомиздат, 1984

[5] МУК 2.6.1.29-2000. Методические указания по расчету допустимых сбросов радиоактивных веществ АЭС в поверхностные водоемы

[6] Н.Г.Гусев, В.А.Беляев Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. 2-е издание, переработанное и дополненное, Энергоатомиздат, М., 1991

[7] Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды М., МЗ, 1980

[8] Методические указания. Радиометрия проб. Относительные измерения. Определение удельной активности при серийных анализах. М., ИБФ, 1994

[9] ФУМБЭП МЗ РФ МУК 4.4.009-94. Относительные измерения, радиометрия, требования к методикам выполнения измерений активности (удельные активности) образцов проб биологических объектов, объектов внешней среды и пищевых продуктов. М., 1994

[10] Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки. М., Энергоздат, 1981

[11] Руководство по методике оценки и прогноза гидрогеологических условий при подтоплении городских территорий. М., Стройиздат, 1983

[12] Методика гидрогеологических исследований при инженерно-геологических изысканиях. М., 1970

[13] Техника проведения и методика обработки опытно-фильтрационных работ М., ВСЕГИНГЕО, 1969

[14] Справочное руководство гидрогеолога. Изд. 3-е. Л., Недра, 1979

[15] Состояние подземных вод в районе размещения промплощадки Нововоронежской АЭС. Отчет ИБФ. М., 1994

[16] Технический отчет. Оценка безопасности места локализации низкоактивных отходов Билибинской АЭС. Отчет ВНИИАЭС, НТЦ ЯРБ и ФМБЦ им. А.И.Бурназяна, М., 2008

[17] Балаковская АЭС. Полигон для размещения отходов АЭС, содержащих радионуклиды в допустимых пределах. Рабочий проект. Том 1. Пояснительная записка. Нижегородский институт «Атомэнергопроект», Нижний Новгород, 2004

[18] Программа работ по локализации донных отложений брызгальных бассейнов Балаковской АЭС, Отчет ВНИИАЭС, ГНЦ-ИБФ и БлкАЭС, М., 2005

[19] Пояснительная записка «Разработка обосновывающих материалов для программы работ по утилизации донных отложений, находящихся в брызгальном бассейне ББ-II-2», Отчет ВНИИАЭС, ГНЦ-ИБФ и БлкАЭС, М., 2005

[20] Балаковская АЭС, энергоблок № 3. Техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации. Корректировка 3 редакция. «Атоэнергопроект» М., 1997

Лист согласования

СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009 «Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов»

Заместитель руководителя
ФМБА России _____ В.В. Романов

Лист согласования

СТО 1.1.1.04.001.0806-2009 «Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов»

И.о. заместителя Генерального
директора – директора по
производству и эксплуатации АЭС _____ А.В. Шутиков

Лист согласования

СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009 «Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов»

Заместитель директора по производству и эксплуатации АЭС - директор Департамента противоаварийной готовности и радиационной защиты	_____	В.Е. Хлебцевич
Заместитель директора Департамента противоаварийной готовности и радиационной защиты	_____	Б.А. Безруков
Главный технолог Департамента противоаварийной готовности и радиационной защиты	_____	И.В. Долженков
Начальник отдела радиационной безопасности и учета ядерных материалов Департамента противоаварийной готовности и радиационной защиты	_____	А.Д. Беликов

Лист согласования

СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009 «Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов»

Заместитель генерального
директора ФГУ ФМБЦ
им. А.И. Бурназяна ФМБА России

_____ Н.К. Шандала

Ведущий научный сотрудник

_____ Б.Е. Серебряков

Лист согласования

СТО 1.1.1.04.001.0806 -2009 «Оценка безопасности пунктов захоронения очень низкоактивных отходов»

Заместитель генерального директора ОАО «ВНИИАЭС»	_____	Е.А. Иванов
Начальник отдела стандартизации и качества	_____	В.М. Симин
Начальник лаборатории радиационного контроля	_____	И.В. Пырков

gost.e-ecolog.ru