

УДК 621.039.7

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР КАК ИСТОЧНИК РИСКА ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУНКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© 2019 г. Е. А. Савельева-Трофимова¹, *, А. А. Самойлов¹, **¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики (ИБРАЭ РАН), Москва, Россия

*e-mail: esav@ibrae.ac.ru;

**e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru

Поступила в редакцию 09.08.2019 г.

После доработки 21.10.2019 г.

Принята к публикации 23.10.2019 г.

В данной работе рассматривается проблема учета человеческого фактора при обосновании безопасности пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). За основу для анализа берется список факторов – особенностей, событий и процессов, связанных с воздействием человека на ПЗРО, которые потенциально могут оказать влияние на его безопасность. В списке можно выделить два вида внешних воздействий на ПЗРО посредством человека: непосредственное воздействие человека в будущем и воздействие при сооружении и эксплуатации объекта посредством некачественного выполнения работ. Основным выводом данной работы является необходимость разработки методик учета человеческого фактора как с точки зрения вероятности совершения ошибок при выполнении работ, так и вероятности неумышленного проникновения на загрязненные территории. Кроме того, отмечается, что на текущем этапе важным направлением являются работы по сохранению и передаче информации будущим поколениям.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, захоронение, внешнее воздействие, человеческий фактор, обоснование безопасности, нормативные требования, неумышленное проникновение, риск, некачественные работы, ошибки персонала

DOI: 10.1134/S0002331019050121

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые аварии на АЭС и безопасность обращения с ОЯТ и РАО являются основными аспектами экологической приемлемости атомной энергетики. В обеспечение такого рода проблем на международном уровне выработан ряд специальных требований к пунктам захоронения ОЯТ и РАО [1, 2], в том числе принята “Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами”, которую Российская Федерация ратифицировала в 2006 году и по которой регулярно отчитывается о выполнении связанных с ней обязательств. Само наименование конвенции предполагает два варианта обращения с ОЯТ: прямое захоронение и переработку. Атомная отрасль России придерживается замкнутого топливного цикла, предусматривающего переработку ОЯТ с возвратом ядерных материалов в топливный цикл. В этой связи ограничимся рассмотрением вопросов захоронения РАО как наиболее актуальной для нашей страны темы и отметим, что значимая часть международных документов универсальна по отношению к захоронению ОЯТ или РАО.

Основополагающей частью работ, связанных с разработкой и реализацией проекта захоронения РАО, является обоснование его долговременной безопасности.

Пункты захоронения РАО в рамках рассматриваемой темы необходимо разделить на две группы – на ПЗРО для отходов с периодом потенциальной опасности в несколько сотен лет, как правило – приповерхностные; и ПЗРО для долгоживущих отходов, которые будут создаваться в варианте геологических. В отношении периода времени в несколько сотен лет вполне оправданы предположения о сохранении институционального контроля над ПЗРО и, следовательно, отсутствия возможности значимого человеческого вмешательства в систему захоронения. В отношении больших промежутков времени подобные предположения менее оправданы.

В настоящей работе сосредоточимся на рассмотрении человеческого фактора в приложении к пункту глубинного захоронения РАО, период потенциальной опасности которого может достигать нескольких миллионов лет и в обоснование безопасности которого в настоящее время создается подземная лаборатория [3].

Обоснование безопасности – это набор научно подтвержденных аргументов в пользу отсутствия вредного воздействия на человека и окружающую среду в настоящее время и на долгосрочную перспективу. Длительность периода, на который требуется обоснование, определяется периодом потенциальной опасности предполагаемых к захоронению РАО. Процедура обоснования безопасности состоит в сборе, обработке и интерпретации информации, полученной при выполнении натуральных, лабораторных и расчетных экспериментов [7]. Результат интерпретации информации позволяет или сформулировать аргументы в пользу, или выразить сомнения в безопасности рассматриваемого объекта.

Одним из аспектов аргументации является полнота учета всех факторов, которые потенциально могут оказать влияние на безопасность системы. Для обоснования такого рода полноты международными организациями (МАГАТЭ и АЯЭ ОЭСР) предложено выполнение анализа особенностей, событий и процессов (ОСП) [1, 2, 8, 9]. Аналогичное требование появилось и в НП-100-17 [6], формулирующих требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности для ПЗРО. В более ранних документах это формулировалось более конкретно – требовалось рассмотреть влияние внешних и внутренних техногенных и природных процессов, влияющих на систему захоронения, список которых приводился в документе [5, 10].

Традиционно наибольшее внимание при оценке и обосновании безопасности направлено в сторону природных и техногенных процессов и связанных с ними характеристик [11–13], а также на формирование сценариев природного и техногенного воздействия. В данной работе основной акцент направлен на выделение ОСП, связанных с человеком, с одной стороны, потенциальное воздействие человека на систему захоронения и/или ее отдельные элементы, а с другой стороны, оценки влияния захоронения на человека и окружающую среду.

КАТЕГОРИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СПИСКА ОСП

В качестве средства для обоснования полноты учета факторов, в АЯЭ ОЭСР в 1993 г. были начаты работы по аккумуляции всех факторов, которые учитывались при обосновании безопасности различных проектов ПЗРО. Был собран материал для 10 проектов, выполнявшихся в 6 странах (Швеции, США, Канаде, Швейцарии, Великобритании и Бельгии) в период с 1989 по 2002 г. На основе собранной информации была разработана база данных по ОСП, работа над которой не прекращается. Наиболее свежая версия базы данных описана в [9]. В настоящее время развитие международного проекта по ОСП направлено на разработку веб-интерфейса, а также на подключение специализированных баз, для глиняных пород и материалов, для солевых или кристаллических массивов.



Рис. 1. Схемы категоризации для ОСП на основе нескольких типов [14].

Систематизация информации позволила распределить все представленные в проектах факторы по категориям. Таким образом, была сформирована система категоризации ОСП (рис. 1) – международный список ОСП [14]. На настоящий момент данная база ОСП может считаться полной и по ней можно проводить проверку полноты учета факторов при обосновании безопасности проектов ПЗРО. Структура списка ОСП представляет собой трехуровневую систему детализации (по способу воздействия, месту и т.п.) для 4 основных категорий (рис. 1).

Базовые факторы определяют рамки выполняющегося анализа объекта и связаны с одной стороны требованиями регулятора, а с другой с фазой развития проекта. Внешние факторы определяют набор внешних по отношению в системе захоронения воздействий. В основном они связаны с эволюционным развитием среды, в которой размещен ПЗРО, в том числе под влиянием человеческого общества с учетом его развития.

Факторы, относящиеся к категории “зона захоронения”, характеризуют то, что происходит в пределах этой пространственной области после закрытия ПЗРО. Основные факторы определяют физические, химические, биологические и связанные с деятельностью человека условия области, которые имеют отношение к оценке высвобождения и миграции радионуклидов с последующим воздействием на человека. К условиям, связанным с деятельностью человека, относятся характеристики поведения человека, а именно привычки отдельных лиц или популяции, (например, критических групп), которые используются при расчете радиационных рисков.

К категории “радионуклиды и факторы загрязнения” относится то, что характеризует процессы миграции радионуклидов и других компонент отходов, а также их воздействие на представителей критических групп.

В каждой категории, так или иначе, присутствует человеческий фактор, но только в категории внешних воздействий действия человека рассматриваются как потенциальный риск для системы захоронения. В других категориях человек рассматривается как объект воздействия.

В категории внешних воздействий человеческий фактор проявляется в двух формах: непосредственно через действия человека в будущем и опосредовано в виде влияния некачественно выполненных работ (строительных, по размещению РАО, засыпке и т.п.). Причем последние могут приводить к существенным изменениям в протекании внутренних процессов в системе захоронения как на стадии эксплуатации, так и после закрытия.

РИСК ОТ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ПЗРО

Действия человека в период после закрытия, которые потенциально могут повлиять на функционирование инженерных и/или геологических барьеров, можно тематически разбить на несколько подпунктов, а именно:

1) Деятельность человека, которая может повлечь за собой как глобальные, так и региональные климатические изменения, влияние которых в свою очередь может привести к воздействию на условия протекания процессов в системе. Глобальные климатические изменения могут быть вызваны влиянием парникового эффекта, кислотными дождями, а также нарушением озонового слоя, развитие которых считается связанным с антропогенным воздействием. Локальные климатические изменения могут вызываться такими действиями как возведение плотин, создание ирригационных систем, изменение типа землепользования.

2) Деятельность на поверхности, способная повлиять на систему захоронения, например, вызвать затопление или подтопление (подъем грунтовых вод) ПЗРО, вызвать изменение химического состава вод и грунтов. Сюда же можно отнести возможное воздействие от наземных взрывов или падения летательных аппаратов.

3) Умышленное проникновение человека именно в систему захоронения. Сюда можно отнести такие виды деятельности, связанные с извлечением отходов из захоронения, проведением мониторинга и/или восстановительных мероприятий, расширением захоронения и т.п. Кроме того, может рассматриваться умышленное проникновение со злым умыслом, например, с целью подрыва системы изнутри, в том числе с применением ядерного заряда.

4) Неумышленное проникновение, обусловленное потерей знаний об объекте. Сюда может быть отнесена любая деятельность в зоне воздействия системы захоронения связанная с проведением подземных работ — разведка недр в целях поиска полезных ископаемых, хотя при выборе площадки для захоронения РАО одним из критериев является отсутствие полезных ископаемых, геотермальных источников, воды; строительство подземных хранилищ или жилищ, прокладка тоннелей различного назначения; археологические раскопки.

Первый и второй варианты человеческого воздействия могут быть отнесены к сценариям, связанным с другими вариантами эволюции. Так антропогенное воздействие на климат приведет к одному из вариантов изменения климата, предложенного в наборе ОСП, посвященных климатическому воздействию. Обычно говорится о глобальном потеплении вследствие повышенного выделения парниковых газов [15]. Деятельность человека на поверхности может быть связана с изменением гидрологии и гидрохимии, что также может рассматриваться как следствие развития климата. Достаточно сильные взрывы могут вызвать изменения в геологической структуре, аналогично сильным сейсмическим воздействиям. Слабые взрывы не существенны для глубоких захоронений, а для приповерхностных относятся к проникновению со злым умыслом.

Умышленные проникновения, связанные со специальными работами в пункте захоронения, выполняются осмысленно, и, вероятно, с предварительной оценкой потенциального воздействия на работника и окружающую среду. Соответственно их можно не считать факторами риска.

Умышленное проникновение с целью диверсии, например, взрыва может привести к изменениям геологической среды, степень которых зависит от его интенсивности. Дальнейшие последствия воздействия должны оцениваться в соответствии с влиянием изменений среды на процессы фильтрации и переноса.

В отношении проблематики неумышленного проникновения в систему захоронения в нормативной базе имеется некоторая неоднозначность в части распространения требований ОСПОРБ [16] на соответствующие сценарии. Можно рассматривать различные сценарии по положению места проникновения — непосредственно в место

расположения РАО, в ближнюю зону, в дальнюю, но подвергшуюся загрязнению, зону. Также можно рассматривать различные сценарии проникновения с целью водопользования, исследования, поиска полезных ископаемых и т.п.

Многие из таких сценариев могут приводить к достаточно высоким дозам облучения, но вопрос состоит в том, насколько это является основанием для проблем с обоснованием безопасности. Так, ОСПОРБ [16] (п. 3.12.19) устанавливает следующее требование: “годовая эффективная доза облучения критической группы населения за счет радиоактивных отходов после их захоронения не должна превышать 0.01 мЗв”. Вопрос о распространении данного требования на сценарии неумышленного проникновения в систему захоронения остается открытым.

Одновременно, в рамках системы федеральных норм и правил в области использования атомной энергии установлены требования по ограничению значения обобщенного риска. Так, в пункте 14 НП-055-14 [5] утверждается, что ПЗРО удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если при маловероятных (катастрофических) внешних воздействиях природного и техногенного характера на площадке размещения ПЗРО для критической группы населения не будет превышено граничное значение обобщенного риска, установленного санитарными правилами и нормативами радиационной безопасности.

Обобщенный риск представляет собой произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением (п. 2.3 [5]). Таким образом, для обоснования безопасности захоронения по сценариям проникновения в соответствии с нормативными документами следует провести численную оценку вероятности вторжения. Провести обоснованную оценку вероятности подобного события на временном масштабе в миллионы лет представляется крайне нетривиальной задачей, которая возложена в настоящий момент на организацию, разрабатывающую проект ПЗРО, неотъемлемой частью которого является оценка долговременной безопасности. Более того, международная комиссия по радиационной защите в публикации [18] прямо говорит об отсутствии научной основы для проведения подобных оценок.

В международной практике обоснования безопасности национальных проектов по захоронению РАО вопрос деятельности человека в будущем рассматривается, так как это требование нормативных документов, но этот фактор не является доминирующим. Так, в обзоре содержания постэксплуатационных обоснований безопасности [20], где представлены подходы 5 организаций, только у шведов (SKB) представляется отдельный отчет про будущую деятельность человека [21]. Другие организации этот аспект отдельно не рассматривают. Также он не отражается в выводах отчета [20], где сконцентрированы важные аспекты, такие как ОСП и функции безопасности, математическое моделирование, учет неопределенностей, роль системы инженерных барьеров и т.п.

В отчете шведского оператора отмечено, что при выполнении любого вида горно-проходческих работ (бурение скважин, строительство тоннелей) доза, которую будут получать работники, будет зависеть от времени, то есть от уровня радиационной опасности РАО на тот момент времени. Более детально рассматривается влияние этих работ на сохранение функций безопасности элементов системы захоронения.

Исходя из вышеизложенного, в рамках совершенствования национальной нормативной базы в части требований к захоронению РАО более правильно сформировать иной подход к оценке альтернативных сценариев эволюции ПЗРО. Следует установить отдельные (более мягкие по сравнению с базовым сценарием эволюции) дозовые критерии для сценариев вторжения (например, для сценариев, приведенных в приложении 4 к нормам и правилам [5]). Именно такой подход зафиксирован, например, в США, а также использован в рамках работ по оценке допустимых содержаний радионуклидов в работах АЯЭ ОЭСР [17] и МАГАТЭ [19], проведенных для приповерхностного захоронения РАО.

Отметим также, что если для сценария нормальной эволюции ПЗРО основной вклад в дозовое воздействие объекта захоронения приходится на долгоживущие быстро мигрирующие радионуклиды (^{99}Tc , ^{36}Cl , ^{129}I , и т.д.), то в случае сценария вторжения значительный вклад могут вносить также и короткоживущие радионуклиды (в зависимости от времени события). В такой ситуации принципиальным является введение в практику нормативного регулирования в РФ понятия “период институционального контроля”. В международной практике под ним понимается сохранение в течение определенного времени (его длительность также вопрос обсуждаемый) ограничений на осуществление различных видов деятельности в непосредственной близости от ПЗРО, то есть фактически определение времени, когда исключены сценарии неумышленного вторжения в объект захоронения.

С другой стороны, неумышленные проникновения напрямую связаны с таким аспектом будущего как потеря информации о системе захоронения. Поэтому для уменьшения вероятности таких воздействий международным сообществом уделяется большое внимание такой задаче как сохранение и передача информации будущим поколениям. Для этого при Комитете по обращению с РАО АЯЭ ОЭСР функционируют рабочие группы. Одна занимается вопросами сохранения и передачи информации о пунктах глубинного захоронения через поколения, т.е. на больших временных масштабах [22]. Ее задача состоит в отборе и сохранении релевантной информации о ПЗРО так, чтобы с одной стороны обеспечить его пассивную защиту от непредумышленного вторжения и возможность принятия решений в будущем, а с другой обеспечить возможность пересмотра и подтверждения оценок безопасности техническими специалистами, а также принятия информированных решений о дальнейших действиях. Вторая группа занимается вопросами стандартизации сбора и хранения накопленной к настоящему моменту больших объемов разнородной информации [23]. Основной тенденцией является использование метаданных, что позволяет гармонизировать разнородные по структуре наборы данных, а также облегчить их использование и сохранить понимание.

РИСКИ ОТ НЕКАЧЕСТВЕННОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Некачественное выполнение работ связано с присутствием каких-либо неправильных действий. Неправильные действия могут состоять в нарушении последовательности работ (пропущено действие или выполнено ненужное), нарушении временного графика (выполнено слишком рано или слишком поздно) или нарушении непосредственно в выполняемой операции (неправильно составленные смеси, неправильное расположение и т.п.).

Таким образом, каждое проявление некачественного выполнения работ можно ассоциировать с ошибкой работника. Поэтому для выполнения анализа такого рода воздействий необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какие ошибки могут быть совершены работниками при выполнении данного вида работ?
- Насколько вероятно, что это произойдет?
- Если это произойдет, то какие будут последствия?

Первый вопрос связан с анализом методики выполнения работ и выявлением тех мест, где могут быть совершены ошибки. Важно отслеживать, чтобы все возможные ошибки человека адекватно рассматривались. Второй вопрос относится к сбору информации об имевших место ошибках и проведению статистического анализа этой информации. Последний вопрос связан с анализом последствий нарушений, что может осуществляться с помощью формирования сценариев и проведения соответствующих расчетов.

В совокупности эти вопросы могут быть отнесены к задаче оценки надежности персонала, которая решается при выполнении вероятностного анализа безопасности (ВАБ) атомных станций [24]. Тут следует отметить, что методики ВАБ, использующие логико-

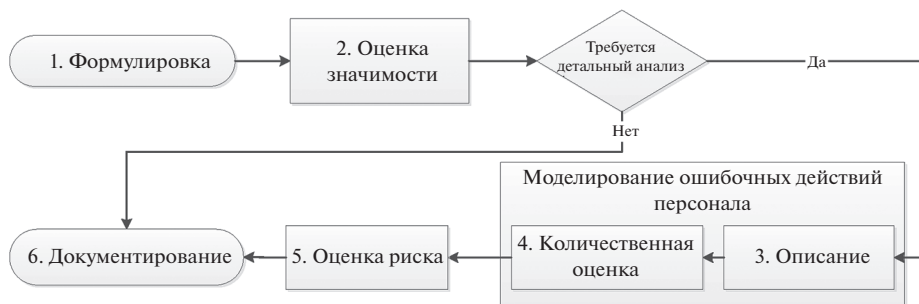


Рис. 2. Схема методологии оценки рисков от ошибок персонала.

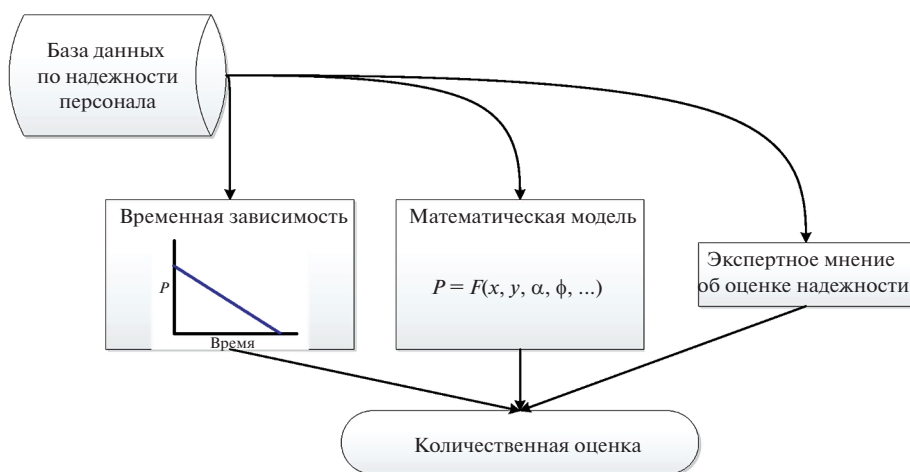


Рис. 3. Моделирование ошибочных действий персонала.

вероятностные подходы широко используются при проектировании и эксплуатации АЭС, но совершенно не применяются при оценке безопасности ПЗРО.

Схема подхода к решению этой задачи представлена на рис. 2. Она состоит из нескольких шагов:

1. Формулировка ошибки работника и ее последствий.
2. Оценка значимости последствий ошибки с точки зрения безопасности объекта.
3. Описание модели ошибочных действий персонала. Для этой цели должны использоваться собранные данные по аналогичным действиям работников, а также выбираться средства их формального описания (рис. 3).

4. Количественная оценка вероятности ошибочных действий состоит в выполнении вычислений в соответствие с выбранной формальной моделью описания действий персонала.

5. Оценка риска выполняется с учетом вероятности ошибки и ее значимости.

6. Документирование полученных результатов.

Количественная оценка ошибочных действий персонала основывается на определении вероятностных характеристик ошибок при заданных условиях. Существующие методы оценки можно классифицировать на методы 3 поколений и экспертные методы [24]. К первому поколению относятся подходы атомистической природы: выпол-

няемое задание разбивается на отдельные части и рассматривается потенциальное влияние таких воздействующих факторов, как временное давление, используемое оборудование, стресс. Объединяя эти элементы, можно предсказать номинальную потенциальную ошибку человека. Эти методы учитывают опыт и уровень упорядоченности в действиях, но не учитывают такие аспекты, как воздействие обстановки, организационных факторов и групповых ошибок.

Методы второго поколения рассматривают обстановку и ошибку совместных операций, но из-за небольшого количества накопленной информации это не приносит существенного выигрыша. Эти методы продолжают развиваться. А параллельно появились существенные модификации методов первого поколения, которые стали относить к третьему поколению.

Экспертные оценки появились в 1980-х и остаются популярными до сих пор. Эти методы оценивают насколько вероятно появление человеческой ошибки при определенном сценарии.

Важно отметить, что

- Действия человека всегда оказывают влияние на конечный результат, но степень этого влияния зависит от значимости как выполняемой операции, так и от уровня точности ее выполнения;
- Изучение поведения человека и получение вероятностей его ошибок не просто, но возможно;
- Невозможно избежать человеческих промахов и ошибок, но их последствия могут быть уменьшены обучением и контролем системы качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение факторов риска, связанных с человеком, позволяет сформулировать направления необходимых исследований:

- Рассмотреть возможности современных подходов к ВАБ в приложении к оценке эксплуатационного и пост-эксплуатационного этапов жизненного цикла ПЗРО;
- Развитие подходов к анализу количественных оценок ошибок персонала при выполнении строительных и работ, а также работ в период эксплуатации и закрытия объекта;
- Развитие методов управления информацией с целью ее сохранения и передачи будущим поколениям;
- Формирование подходов к оценке вероятности неумышленных проникновений с учетом развития методов сохранения и передачи информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серия изданий МАГАТЭ по нормам безопасности № SSR-5. Захоронение радиоактивных отходов. МАГАТЭ. Вена, 2011.
2. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Guide. International Atomic Energy Agency. SSG-23. Vienna, 2012.
3. Новые документы // Журн. “Радиоактивные отходы”. 2018. Вып. 2(3) С. 114–120.
4. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ “Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”.
5. НП-055-14 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии “Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности”. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 августа 2014 г. № 379.
6. НП-100-17 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии “Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов” Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 июня 2017 г. № 218.
7. Савельева Е.А., Свительман В.С. Методология и практические решения обращения с неопределенностями при обосновании безопасности пунктов захоронения РАО // Вопросы радиационной безопасности. 2016. Т. 82. № 2. С. 3–14.

8. *NEA. Disposal of Radioactive Waste: Can Long-term Safety be Evaluated? An International Collective Opinion*, NEA/IAEA/CEC. OBSD Nuclear Energy Agency, Paris, 1991.
9. *NEA International FEP Database : Version 2.1 User Guide*, Nuclear Energy Agency, 2014.
10. НП-064-05 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии". Утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 декабря 2005 г. № 16.
11. *Шарафутдинов Р.Б., Понизов А.В., Мурлис Д.В., Савельева Е.А., Свительман В.С.* Методические аспекты учета особенностей, событий и процессов природного и техногенного происхождения при обосновании долговременной безопасности системы захоронения РАО // *Ядерная и радиационная безопасность*. 2018. Т. 90. № 4. С. 20–33.
12. *Кочкин Б.Т., Мальковский В.И., Юдинцев С.В.* Научные основы оценки безопасности геологической изоляции долгоживущих радиоактивных отходов (Енисейский проект) – М.: ИГЕМ РАН, 2017. 384 с.
13. *Кочкин Б.Т.* Принцип консерватизма в оценке безопасности могильников высокорadioактивных отходов // *Геоэкология*. 2012. № 5. С. 436–448.
14. *NEA. Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International Database*. Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Cooperation and Development. Paris, 2000.
15. *Naistlund J.-O., Brandefelt J., Liljedahl L. C.*, Climate Consideration in Long-Term Safety Assessments for Nuclear Waste Repositories, *AMBIO // A Journal of a human Environment*. 2013. V. 42. № 4. P. 393-401.
16. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
17. ICRP, 1998. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28 (4).
18. Shallow Land Disposal of Radioactive Waste. Reference Levels for the Acceptance of Long-Lived Radionuclides. A report by an NEA Expert Group, 1986.
19. IAEA-TECDOC-1380. Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities. IAEA. 2003.
20. Geological Disposal: Study of recent post-closure safety cases. – Nuclear Decommissioning Authority, 2014. NDA Report № NDA/AVRWMD/109 ISBN: 978-1-84029-496-5.
21. Handling of future human actions in the safety assessment SR-Site. – Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 2010. № SKB-TR-10-53.
22. Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations. Reference Bibliography. NEA/RWM(2011)13/REV5. OECD NEA. 2018.
23. Metadata for Radioactive Waste Management, NEA No. 7378 – OECD NEA – 2018
24. *Bell J., Holroyd J.* Review of human reliability assessment methods // *Health & Safety Laboratory*. 2009. Т. 78.

Human Factor as a Risk Factor for the Deep Disposal of Radioactive Waste

E. A. Saveleva-Trofimova^{a, *} and A. A. Samoylov^{a, **}

^a*Nuclear Safety Institute Russian academy of sciences (IBRAE RAN), Moscow, Russia*

*e-mail: esav@ibrae.ac.ru

**e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru

In this paper we consider the problem of taking into account the human factor in the justification of the safety of radioactive waste disposal facilities (RWDS). The analysis is based on a list of factors – features, events and processes related to human exposure to RWDS, which can potentially have an impact on the safety. The list can be divided into two types of caused by human external effects: direct human impact in the future and the impact through poor performance of work during construction and operation phases of the facility. The main conclusion of this work is the lack of reliable methods of accounting for the human factor, both in terms of the probability of making mistakes in the performance of work, and the probability of unintentional intrusion into contaminated areas. In addition, it is noted that at the present stage, an important direction of work is to preserve and transfer the information to future generations. The effort should be directed to the projects how not to lose the information.

Keywords: radioactive waste, disposal facility, external impact, human factor, safety case, regulatory requirements, unintentional penetration, risk, poorly made work, human error