

## Дозы облучения персонала и населения при нормальной эксплуатации пунктов захоронения радиоактивных отходов

М.В. Ведерникова<sup>1</sup>, И.А. Пронь<sup>2</sup>, М.Н. Савкин<sup>1</sup>, Н.С. Цебаковская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами, Москва, Россия

*Цель работы – сравнительный анализ фактических и оцениваемых на этапе проектирования доз облучения персонала и населения при захоронении жидких радиоактивных отходов и твердых радиоактивных отходов различных классов. В рамках настоящей статьи рассматривается вариант облучения персонала и населения при нормальной эксплуатации пункта захоронения радиоактивных отходов в режиме размещения отходов. Результаты: выполнен анализ индивидуальных и коллективных доз облучения персонала при приповерхностном захоронении короткоживущих среднеактивных, низкоактивных и очень низкоактивных радиоактивных отходов во Франции, а также при приповерхностном захоронении долгоживущих радиоактивных отходов в России. Проведен анализ проектных оценок доз облучения персонала и населения для объекта приповерхностной изоляции радиоактивных отходов, планируемого к сооружению в Бельгии, а также проектируемых объектов глубинного захоронения в Великобритании и Нижнеканском массиве (Российская Федерация). Техническими и технологическими решениями удастся практически полностью исключить внутреннее облучение персонала, а дозы внешнего облучения ограничить диапазоном, характерным и для базовых ядерных технологий. Заключается: планируемые к сооружению, сооружаемые и эксплуатируемые пункты захоронения удаляемых радиоактивных отходов соответствуют действующим в России требованиям безопасности, согласующимся с международными рекомендациями. Оценено, что индивидуальные дозы облучения персонала сопоставимы с данными контроля персонала аналогичных объектов в других странах. Средние индивидуальные дозы облучения персонала при захоронении радиоактивных отходов прогнозируются на порядок ниже установленного предела дозы – 20 мЗв/год. Воздействие на население при нормальной эксплуатации практически исключено установлением санитарно-защитной зоны объекта использования атомной энергии, на которой размещена установка по захоронению отходов, и возможно только при транспортировке радиоактивных отходов по дорогам общего пользования к месту расположения пункта захоронения радиоактивных отходов.*

**Ключевые слова:** пункт захоронения радиоактивных отходов, нормальная эксплуатация, класс радиоактивных отходов, персонал, население, индивидуальная эффективная доза, коллективная эффективная доза.

### Введение

Национальной стратегией, сформулированной в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», Федеральным законом № 190 от 11 июля 2011 г. и постановлением Правительства России от 19.11.2012 г. № 1185 предусмотрено создание единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО). Её успешное функционирование должна обеспечить отвечающая современным международным подходам и требованиям система пунктов

захоронения РАО. В настоящее время ведется проектирование, строительство и эксплуатация таких пунктов захоронения удаляемых РАО различных классов (ПЗРО). Заказчиком проектирования, сооружения и эксплуатирующей организацией в отношении этих объектов является ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО») – российский национальный оператор по обращению с РАО, определенный решением Правительства России.

На протяжении длительного времени, вплоть до 2000-х гг., система обеспечения радиационной безопасности при обращении с РАО регулировалась санитарны-

**Ведерникова Марина Владимировна**

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Адрес для переписки: 115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52; Тел: +7(495) 955-23-29; E-mail: vmv@ibrae.ac.ru

ми нормами и правилами<sup>1</sup>. Этими документами предусматривались специальные санитарные требования для следующих основных этапов обращения с РАО: первичная сортировка, сортировка путем разделения РАО по различным категориям и группам, кондиционирование, хранение, транспортирование и захоронение. В условиях, когда подавляющие объемы (и активности) образующихся РАО размещались на длительное хранение в пределах промплощадок эксплуатирующей организации, вопрос анализа обоснованности и достаточности специальных ограничений для окончательной изоляции РАО от внешней среды оставался открытым. Сегодня, в период развертывания ЕГС РАО, разработки и утверждения федеральных норм и правил в области окончательной изоляции РАО<sup>2</sup>, эта тема приобретает особую актуальность, в том числе по причине обостренного отношения общественности к вопросам размещения ПЗРО.

Обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и защита окружающей среды – необходимое требование при эксплуатации любого источника ионизирующего излучения. Для пунктов захоронения это требование приобретает решающее и самодостаточное значение. Они создаются именно в целях обеспечения радиационной безопасности в долгосрочной перспективе для реализации основополагающего принципа МАГАТЭ: «Нынешние и будущие население и окружающая среда должны быть защищены от радиационных рисков. При этом обращение с РАО должно быть организовано таким образом, чтобы оно не вело к созданию неоправданных проблем для будущих поколений, т. е. поколений, производящие отходы, должны изыскивать и применять рациональные и экологически приемлемые методы долгосрочного обращения с отходами» [1]. В отношении персонала, участвующего в осуществлении деятельности по захоронению отходов, это означает:

– соблюдение пределов индивидуальных доз и установление граничных доз для отдельных источников;

– учет временной структуры (распределение коллективной дозы в ближайшее время, среднесрочной и отдаленной перспективе) и величины коллективной накопленной дозы за весь период эксплуатации ПЗРО.

Имплементация международных требований при проектировании и эксплуатации установок по захоронению РАО рассматривается на регулярной основе (каждые три года) при обсуждении национальных докладов о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции по безопасности обращения с ОЯТ и РАО на Сессиях Договаривающихся сторон<sup>3</sup>.

Действующие отечественные федеральные нормы и правила, санитарные правила и нормативы также лежат в русле международных требований по обоснованию долговременной безопасности ПЗРО, но учитывают особенности обращения с РАО в прошлом [2]. Так, национальный оператор в лице ФГУП «НО РАО» должен принимать во внимание то обстоятельство, что ряд проектируемых и эксплуатируемых ПЗРО размещаются в непосредственной близости от крупных организаций атомной промышленности, на которых обращение с РАО, включая контроль и учет индивидуальных доз облучения, не всегда отвечало современным регулирующим требованиям.

Положительным следствием размещения ПЗРО в пределах санитарно-защитных зон крупных атомных комбинатов является практически полное отсутствие радиационного воздействия на население при нормальной эксплуатации ПЗРО. Исключение может составлять этап транспортирования РАО по дорогам общего назначения.

В проблеме оценки доз облучения населения и персонала можно выделить три крупных аспекта: 1) облучение в случае радиационной аварии, вызванной внешними воздействиями и нарушениями в процессе эксплуатации ПЗРО; 2) долгосрочный прогноз облучения населения после закрытия ПЗРО; 3) облучение населения и персонала при нормальной эксплуатации ПЗРО.

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2523-09. М.: Роспотребнадзор, 2009. [Sanitary norms and rules СП 2.6.1.2523-09. Radiation Safety Standards NRB-99/2009 (In Russian)]. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010): СП 2.6.1.2612-10. М.: Роспотребнадзор, 2010. [Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB 99/2010): СП 2.6.1.2612-10. М.: Роспотребнадзор, 2010 (In Russian)]. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002): СП 2.6.6.1168-02: в ред. от 23.12.2010 № 167. М.: Минздрав России, 2002. [Sanitary rules for radioactive waste management (SPORO-02): СП 2.6.6.1168-02: red. from 23.12.2010 No 167 – М.: Minzdrav of Russian Federation, 2002 (In Russian)]. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03. М.: Минздрав России, 2003 [Sanitary rules for radiation safety of personnel and public during transportation of radioactive materials (substances). SanPiN 2/6/1/1281-03. Moscow: Minzdrav Russia, 2003 (In Russian)].

<sup>2</sup> Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности: НП-055-14. М.: Ростехнадзор 2014. [Radioactive waste disposal. Principles, criteria and basic safety requirements. НП-055-14, Rostekhnadzor, 2014 (In Russian)]. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности: НП 069-06 М.: Ростехнадзор 2006 [Near-surface disposal of radioactive waste. Safety requirements NP-069-06, Rostekhnadzor, 2006 (In Russian)]. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения. НП 093-14. М.: Ростехнадзор, 2014 [Acceptance criteria for disposal of radioactive waste NP-093-14, Rostekhnadzor, 2014 (In Russian)].

<sup>3</sup> Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами от 5 сентября 1997 г. Ратифицирована Российской Федерацией 4 ноября 2005 года. Собрание законодательства Российской Федерации, 2005, № 45, ст. 4587. [Joint Convention on the Safety of Spent Nuclear Fuel Management and on the Safety of the Radioactive Waste Management. 5 September 1997 (In Russian)]

В отношении первого аспекта следует отметить, что в настоящее время ФГУП «НО РАО» организованы исследования безопасности для наиболее уязвимого типа ПЗРО (полигоны глубинного захоронения ЖРО), в том числе в случае аварий, вызванных внешними воздействиями. На долгосрочный период, то есть после закрытия ПЗРО, можно уверенно предполагать, что в большинстве случаев облучение и населения, и персонала будет просто отсутствовать или быть пренебрежимо малым [3]. Однако доказательство этого должно быть исключительно предметным и адресным, а восприятие этих обстоятельств по факту всегда будет настороженным, в том числе по причине масштаба рассматриваемых диапазонов времен (до сотен тысяч и миллионов лет). Подобные долгосрочные прогнозы разрабатываются с учетом вероятных сценариев эволюции ПЗРО, физико-химического состава РАО, деградации со временем барьеров безопасности, гидро-геологических, климатических, сейсмических и других факторов в местах расположения ПЗРО [4–6].

В рамках настоящей статьи ограничимся рассмотрением третьего сценария облучения персонала и населения (нормальная эксплуатация в режиме размещения РАО) для эксплуатируемых и проектируемых ПЗРО.

**Цель исследования** – сравнительный анализ фактических и оцениваемых на этапе проектирования доз облучения персонала и населения при захоронении жидких и твердых РАО различных классов.

#### Задачи исследования

1. Подготовить краткий обзор результатов индивидуального дозиметрического контроля на установках по захоронению РАО, сконструированных и эксплуатируемых в некоторых европейских странах в соответствии с требованиями и правилами МАГАТЭ.

2. Провести сбор и анализ проспективных и ретроспективных оценок доз облучения персонала, выполняемых на этапе проектирования и эксплуатации пунктов захоронения РАО различных классов.

3. Оценить радиационное воздействие на население при нормальной эксплуатации ПЗРО в режиме размещения отходов.

#### Материалы и методы

В работе использованы следующие материалы:

- сводные оценки индивидуальных и коллективных годовых доз облучения работников при эксплуатации пунктов приповерхностного захоронения очень низкоактивных, низкоактивных и среднеактивных РАО во Франции и Бельгии;

- опубликованные сведения об оценках индивидуальных доз персонала и населения, полученных в ходе проектирования пунктов глубинного захоронения высокоактивных РАО и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в Великобритании и Канаде;

- сведения о годовых дозах облучения персонала группы А в филиалах ФГУП «НО РАО», включая филиалы «Северский», «Железнодорожный» и «Димитровградский», силами которых в настоящее время эксплуатируются пункты глубинного захоронения жидких РАО (ПГЗ ЖРО). До 2014 г. эти объекты входили в Сибирский химический комбинат, Горно-химический комбинат и Научно-исследовательский институт атомных реакторов;

- проектные материалы на строительство объекта окончательной изоляции РАО 1-го и 2-го классов (Красноярский край, Нижнеканский массив), которые содержат оценки доз облучения персонала при заданной технологии работ на поверхности и в подземной части сооружения.

Обзор методов, которые были использованы при получении проектными и эксплуатирующими организациями дозовых оценок, показал следующее.

При разработке проектов ПЗРО широко применяется программное средство MicroShield [7] для решения задач, связанных с определением мощности амбиентного эквивалента дозы и мощности направленного эквивалента дозы от фотонного и нейтронного излучения на различных расстояниях от источников с учетом геометрии источника и гетерогенной (многослойной) физической защиты в соответствии с рекомендациями МКРЗ [8].

Расчеты дозы облучения персонала группы А от нефиксированного загрязнения на контейнере с РАО проводятся проектировщиками в соответствии с подходом, описанным в техническом докладе МАГАТЭ [9]. В модели учтены следующие пути воздействия: загрязнение кожи, случайное попадание внутрь организма депонированных на кожных покровах радионуклидов, вдыхание ресуспензированной активности и внешнее облучение от загрязненной поверхности контейнера и почвы.

Можно констатировать, что быстрые и относительно простые программы расчета дозовых характеристик полей фотонного и нейтронного излучения, основанные на инженерных методах расчета, в настоящее время ограничиваются задачами экспрессного прогнозирования при аварии [10]. При проектировании дорогостоящих установок по захоронению РАО используются сертифицированные в установленном порядке программные средства. Основные неопределенности результатов расчета индивидуальных годовых доз персонала связаны с допущениями о фиксированных рабочих местах относительно источника, длительностью технологических операций и интенсивностью проведения работ в течение года.

Для эксплуатируемых ПЗРО индивидуальный дозиметрический контроль персонала группы А проводится в соответствии с методическими указаниями, утвержденными ФМБА России и Госкорпорации «Росатом» [11]. Результаты контроля поступают в Единую систему контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД) – форма № 1-ДОЗ.

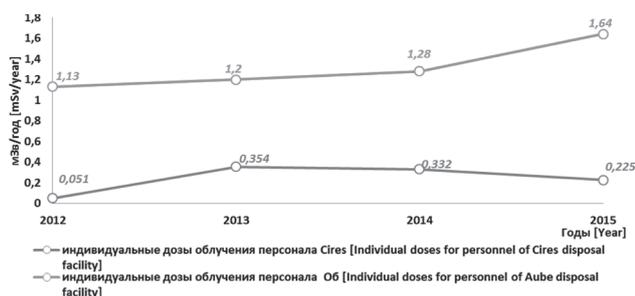
В отношении доз облучения населения как при проектировании, так и при эксплуатации ПЗРО оценки осуществляются только на основе расчетов. Невозможность проведения достоверного радиационного мониторинга за пределами площадки ПЗРО при отсутствии сбросов и выбросов не позволяет реализовать четырехэтапный процесс оценки годовой эффективной дозы, для представительного индивида рекомендованный МКРЗ [12].

#### Результаты и обсуждение

##### *Зарубежные оценки доз облучения персонала и населения при проектировании и эксплуатации ПЗРО*

В ряде стран эксплуатация пунктов окончательной изоляции РАО осуществляется уже на протяжении нескольких десятилетий. Эксплуатируемые в настоящее время ПЗРО, например во Франции, можно отнести к

объектам второго поколения; отработанные технологии успешно применяются и в других странах. В ежегодных публичных отчетах французского оператора по захоронению РАО ANDRA приводятся данные по индивидуальным и коллективным дозам персонала при приповерхностном захоронении короткоживущих низко- и среднеактивных РАО (центр Aube) [13] и очень низкоактивных РАО (Cires [14]). В 2015 г. значение максимальной годовой индивидуальной дозы работника центра Cires составило 0,225 мЗв, а коллективная доза персонала ПЗРО – 0,849 чел.-мЗв. В то же время максимальная годовая индивидуальная доза на работника центра Aube составила 1,64 мЗв, коллективная доза – 13,57 чел.- мЗв, т.е. примерно на порядок выше (рис.).



**Рис.** Сравнение наибольших индивидуальных доз облучения персонала в ПЗРО Aube и Cires (Франция)

**[Fig.]** Comparison of maximum individual doses for personnel at Aube and Cires RW disposal facilities (France)

Оценки доз облучения персонала и населения при захоронении РАО проводятся и на этапе обоснования безопасности будущего объекта. Для разработанного проекта строятся сценарии работы отдельных лиц из персонала, для которых и проводятся расчеты индивидуальных доз. Например, при эксплуатации приповерхностного ПЗРО низко- и среднеактивных РАО, планируемого к сооружению в Бельгии, ожидается, что среднее значение коллективной дозы персонала не превысит 1,9 чел.-мЗв/год, а максимальная доза облучения лиц из населения не превысит 0,3 мЗв/год [15].

Аналогичные расчеты были выполнены и для обоснования безопасности будущего пункта глубинного захоронения высокоактивных РАО (ПГЗРО) в Великобритании. С учетом того факта, что на сегодня еще окончательно не выбрано место размещения объекта, оценки проводились для трех площадок. Представленные в [16] результаты позволяют сделать вывод, что прогнозируемая доза облучения персонала в ходе выполнения работ на поверхности, связанных с захоронением РАО, составит 0,1 мЗв/год. Дозы персонала, связанные с выполнением работ в подземных секциях пункта захоронения, существенно зависят от характеристик вмещающих пород. Персонал ПГЗРО, размещенного в высокопрочных вмещающих формациях, получит более высокие дозы, чем в иных случаях. Данное обстоятельство обусловлено большими размерами самих подземных секций, следовательно, необходимостью более длительной транспортировки РАО, большей площадью поверхности самих упаковок с РАО, а также невозможностью организации дистанционного управления

загрузкой РАО. В то же время прогнозируемая максимальная годовая доза облучения и для данного варианта размещения объекта не превысит 1 мЗв/год [16].

По итогам рассмотрения зарубежного опыта отметим следующие обстоятельства. Несмотря на существенные различия в технологии обращения с РАО различного уровня удельной активности (практически без специальных средств индивидуальной защиты при обращении с РАО очень низкой активности, в основном, дистанционные технологии при обращении с РАО средней и высокой активности) повышение удельной активности РАО ведет к более высоким дозам облучения персонала ПЗРО. Техническими и технологическими решениями удается практически полностью исключить внутреннее облучение персонала, а дозы внешнего облучения ограничить диапазоном, характерным и для базовых ядерных технологий, – до нескольких мЗв в год. Технологии захоронения малолудны – годовая коллективная доза облучения персонала одного объекта, как правило, не превышает 0,015 чел.-Зв.

#### *Проектные оценки доз облучения персонала для пункта глубинного захоронения РАО*

В настоящее время начаты работы по сооружению в России подземной исследовательской лаборатории [17]. Подготовлена проектная документация на строительство объекта окончательной изоляции РАО 1-го и 2-го классов (Красноярский край, Нижнеканский массив), которая содержит оценки доз облучения персонала при заданной технологии работ на поверхности и в подземной части сооружения. Используются типовые регламенты выполнения технологических операций и расположение персонала относительно РАО на различных этапах обращения.

Выполненные проектные оценки доз облучения персонала для транспортно-технологической схемы обращения с РАО (в здании перегрузки, надшахтном здании, подземном комплексе) позволяют сделать следующие выводы:

- по всему комплексу работ эффективная коллективная доза персонала группы А (расчет на 72 чел.) не превысит 61 чел.-мЗв (с учетом гамма- и нейтронного излучения);
- распределение персонала группы А по величинам годовых индивидуальных доз составляет около 40% в диапазоне от 0 до 0,1 мЗв, около 40% в диапазоне от 0,1 до 1 мЗв и 20% с дозой свыше 1,1 мЗв;
- максимальная годовая индивидуальная доза персонала составит до 2,5 мЗв (по гамма-излучению) и с учетом нейтронного излучения не превысит 3 мЗв (специальность – стропальщик);
- в условиях нормальной эксплуатации объекта и при проектных авариях объемные активности радионуклидов в приповерхностных слоях воздуха не превысят допустимых значений для условий нормальной эксплуатации (НРБ-99/2009, приложение 1). Доза внутреннего облучения персонала при нормальной эксплуатации не вносит существенного вклада в суммарные значения индивидуальных эффективных доз и не превысит 9,4 мкЗв в год;
- разработка и внедрение дополнительных средств защиты для персонала от внешнего радиационного воздействия при проведении работ в условиях нормальной эксплуатации на ПГЗРО не требуется. В отдельных случа-

ях для защиты органов дыхания персонала от ингаляционного поступления от радиоактивной пыли необходимо использовать респираторы.

Максимальная доза облучения персонала группы Б не превысит 0,2 мЗв/год, что меньше 5 мЗв/год, регламентированных НРБ-99/2009.

В настоящее время разворачиваются работы по сооружению приповерхностных ПЗРО классов 3 и 4 (в районе ФГУП «ПО «Маяк» и АО «СХК»). Проектные оценки доз облучения персонала принципиально не отличаются от зарубежных аналогов.

*Фактические данные индивидуального дозиметрического контроля персонала пунктов захоронения*

В России функционируют три пункта глубинного захоронения жидких РАО (ПГЗ ЖРО) в глубокозалегающих пластах-коллекторах, изолированных от водоносных горизонтов водонепроницаемыми породами. Первый объект был введен в опытную эксплуатацию на Сибирском химическом комбинате (ныне АО «СХК») в районе Северска в 1963 г. (начало промышленной эксплуатации относится к 1967 г.). С 1966 г. введены в эксплуатацию ПГЗ ЖРО в Научно-исследовательском институте атомных реакторов (ныне АО «ГНЦ НИИАР») в районе Димитровграда, а в 1967 г. – на Горно-химическом комбинате (ныне ФГУП «ГХК») в районе Железногорска. Безопасность такого варианта захоронения подробно рассмотрена в работах [18, 19] и подтверждена миссиями МАГАТЭ.

Специфика данного вида захоронения состоит в необходимости обслуживания комплекса установок, расположенных в нескольких зданиях и сооружениях на площадке объекта. В комплекс входят спецсети, транспортирующие ЖРО от предприятия, в результате деятельности которого отходы образуются, нагнетательные скважины, контрольно-наблюдательные скважины, системы управления установкой и контроля процесса закачки ЖРО, вы-

соконапорные насосы и т. д. Эксплуатация таких комплексов требует круглосуточного контроля, осуществления планового ремонта оборудования и скважин закачки и наблюдения. Ремонтные работы приводят к наблюдаемым при осуществлении индивидуального дозиметрического контроля увеличениям индивидуальных и коллективных годовых доз облучения персонала.

С 2014 г. эксплуатация всех ПГЗ ЖРО осуществляется ФГУП «НО РАО». В таблице приведены сводные результаты индивидуального дозиметрического контроля персонала группы А за период с 2014 по 2016 г. Среднегодовые индивидуальные дозы облучения варьировались в диапазоне от 0,57 до 2,29 мЗв. Максимальные значения индивидуальных и коллективных доз облучения были зафиксированы в 2015 г. в Димитровградском филиале (до 7 мЗв, до 58 чел.-мЗв) у персонала, задействованного в проведении планового ремонта оборудования.

В 2015 г. был введен в эксплуатацию первый в России приповерхностный ПЗРО, относящийся к 3 и 4 классу, согласно классификации, установленной в постановлении Правительства России от 19.10.2012 г. № 1069. Объект эксплуатируется силами отделения «Новоуральское» филиала «Северский» ФГУП «НО РАО». Объект представляет собой железобетонное сооружение. В 2016 г. осуществлялся прием РАО от Уральского электрохимического комбината (АО «УЭХК»). Отходы размещаются на захоронение предварительно упакованными в невозвратные защитные контейнеры с толщиной стенок 12 см [20]. Персонал отделения «Новоуральское» подвергался радиационному облучению в минимально значимых значениях доз, не фиксируемых индивидуальными приборами дозиметрического контроля. Отделение «Новоуральское» филиала «Северский» при штатной эксплуатации не осуществляет выбросы и сбросы загрязняющих и радиоактивных веществ в окружающую среду [20].

Данные индивидуального дозиметрического контроля персонала ПГЗ ЖРО

Таблица

[Table

Data from personal dosimetry monitoring at liquid radioactive waste disposal facilities (LRW DF)]

Филиал ФГУП «НО РАО» [Branches]	Год [Year]								
	2014			2015			2016		
	Индивидуальная эффективная доза, мЗв [Individual effective dose, mSv]								
	мин. [min]	средн. [mean]	макс. [max]	мин. [min]	средн. [mean]	макс. [max]	мин. [min]	средн. [mean]	макс. [max]
Северский [Severskiy]	0,56	0,82	2,15	0,78	0,96	1,19	0,42	0,58	1,66
Димитровградский [Dimitrovgradskiy]	0,05	0,74	2,22	0,05	2,29	7,00	0,05	1,46	3,71
Железногорский [Zheleznogorskiy]	0,01	0,73	2,50	0,09	0,72	1,90	0,06	0,57	1,19
	Коллективная эффективная доза, чел.-мЗв [Collective effective dose, man mSv]								
Северский [Severskiy]	30,0			35,0			23,0		
Димитровградский [Dimitrovgradskiy]	18,59			57,29			38,07		
Железногорский [Zheleznogorskiy]	38,30			33,98			27,94		

## Оценки доз облучения населения

К потенциальным источникам для проектируемых в Великобритании и России ПЗРО облучения населения были отнесены авто- и железнодорожный транспорт, который перевозит упаковки с РАО и ОЯТ. В рамках исследования [16] было выдвинуто предположение о том, что местный житель будет проводить около часа в день, выгуливая собаку вблизи ограждения, установленного по периметру площадки ПЗРО. Годовая доза облучения такого референтного индивида не превысит 4 мкЗв.

Согласно разработанным в проектной документации сценариям, в период эксплуатации ПЗРО в Нижнеканском массиве на его границе доза облучения населения не превысит 17 мкЗв/год, что примерно в 60 раз ниже установленного ограничения 0,1 мЗв/год. Эта оценка исходит из предположения постоянного нахождения лица, относящегося к критической группе населения, в течение 8800 ч/год на расстоянии около 100 м от здания перегрузки контейнеров с РАО 1-го и 2-го класса. Годовая эффективная доза в этом гипотетическом случае формируется, в основном, внешним гамма-излучением.

Объекты закачки жидких РАО не оказывают значимого влияния на формирование дозовых нагрузок на население.

Во-первых, обращение РАО осуществляется на территории промплощадок, объекты находятся на значительном удалении от населенных пунктов:

– Северский – в 10–12 км от северной окраины г. Томска и на расстоянии 2,5 км к северо-западу от жилой зоны г. Северска;

– Димитровградский филиал в 6 км к юго-западу от Димитровграда;

– Железногорский – в 18 км к юго-западу от Железногорска, в 6 км от сел Большой Балчуг и Атаманова и в 15 км от посёлка Шивера.

Во-вторых, фактические выбросы радиоактивных веществ в атмосферу филиала в Северском в 2015 г. были в 31 раз ниже установленных значений предельно допустимых выбросов ( $2,7 \cdot 10^7$  Бк/год), а годовые выбросы цезия-137 и стронция-90 в 2015 и 2016 гг. филиала в Железногорске составили менее 5% от разрешенных ( $1,3 \cdot 10^7$  Бк/год) [22, 23]. В Димитровградском филиале отсутствуют стационарные источники выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, подпадающие под действие регулирующего контроля.

Ни один из ПЗЖРО не осуществляет сброс загрязняющих химических и радиационных веществ в открытую гидрографическую сеть.

Как показано выше, как проспективные, так и ретроспективные оценки доз облучения населения, проживающего в районах расположения ПЗРО, носят чрезмерно консервативный характер в сравнении с рекомендациями МКРЗ [12]. Но даже в этом случае они лежат в диапазоне существенно ниже граничной дозы, равной 0,1 мЗв в год, согласно ОСПОРБ-99/2010.

Ожидаемые значения индивидуальных эффективных доз населения, обуславливаемых транспортировкой ОЯТ из пункта временного хранения в проектируемый в Канаде пункт глубинного геологического захоронения, были рассчитаны канадским оператором по обращению с ядерными отходами (NWMO) в 2012 г. Так, при условии транспортировки 620 партий ОЯТ в год средняя доза лиц из населения,

проживающего на территориях, прилегающих к рассматриваемой автомобильной дороге, не превысит 0,03 мкЗв/год, а для индивидуумов, находящихся в транспортном средстве, движущемся спереди или сзади перевозящего ОЯТ грузовика, в течение одного часа за перевозку в месяц (например, в случае затора на дороге) не превысит 0,22 мкЗв/год [22].

Оценки индивидуальных и коллективных доз облучения населения при транспортировании РАО и ОЯТ по дорогам общего пользования также являются достаточно консервативными.

Нахождение вблизи транспортного средства или работ по разгрузке-выгрузке РАО в течение 1 ч не приведет к дозе 0,1 мЗв расчете на 1 упаковку ВАО [5].

## Заключение

В отношении планируемых к сооружению, сооружаемых и эксплуатируемых ПЗРО ФГУП «НО РАО», с учетом того факта, что объекты будут сооружаться в соответствии с действующими в России требованиями безопасности, согласующимися с международными рекомендациями, можно сделать следующие выводы:

1. Индивидуальные дозы облучения персонала будут сопоставимы с данными по профессиональному облучению работников на аналогичных объектах в других странах. При этом, как показывает практика России и других стран, средние индивидуальные дозы облучения персонала при захоронении РАО на порядок ниже установленного предела дозы – 20 мЗв/год.

2. Коллективные дозы при нормальной эксплуатации объектов также невелики, а именно более чем на порядок ниже 1 чел.-Зв на объект.

3. Воздействие на население возможно только при транспортировке РАО по дорогам общего пользования. Консервативные оценки эффективной дозы значительно ниже установленного предела дозы населения – 0,1 мЗв/год.

## Литература

- IAEA SF-1. Fundamental Safety Principles. – Vienna, 2006.
- Линге, И.И. Опыт применения международных требований по обоснованию долговременной безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов: проблемы и уроки / И.И. Линге, С.С. Уткин, А.А. Хамаза, Р.Б. Шарафутдинов // Атомная энергия. – 2016. – № 120. – С. 201–208.
- Лаверов, Н.П. Изоляция отработавших ядерных материалов: геолого-геохимические основы / Н.П. Лаверов, В.И. Величкин, Б.И. Омеляненко [и др.]. – М.: ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, 2008. – 280 с.
- Капырин, И.В. Концепция разработки и использования расчетного комплекса GERA для обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов / И.В. Капырин, С.С. Уткин, Ю.В. Василевский // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2014. – Т. 4. – С. 44–54.
- Линге, И.И. Особые радиоактивные отходы / под общ. ред. И.И. Линге. — М.: САМ Полиграфист, 2015. – 240 с.
- Линге, И.И. Обращение с особыми радиоактивными отходами: прогресс практической деятельности и актуальные задачи / И.И. Линге, М.Н. Савкин, М.В. Ведерникова // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 23–37.
- MicroShield Version 5.05. User's Manual. Grove Engineering. Rockville MA, 1999.
- ICRP. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP, 1996. Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4).

9. TECDOC-1449. Radiological aspects of non-fixed contamination of packages and conveyances. IAEA, Vienna, 2005.
10. Бакин, Р.И. Программный комплекс оперативного расчета доз фотонного излучения за защитой от источников различной геометрической формы / Р.И. Бакин, А.А. Званцев, С.И. Илупин // Известия Академии наук Энергетика. – 2013. – № 5. – С. 129–135.
11. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие положения. МУ 2.6.1.016-2000. – М., 2000.
12. ICRP. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. – ICRP, 2006. – Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
13. ANDRA. Rapport Annuel 2015 d'information sur la surete nucleaire et la radioprotection. Centre de stockage de l'Aube. ANDRA, 2015.
14. ANDRA. Rapport Annuel 2015. Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage. ANDRA, 2015.
15. ONDRAF NIRAS. Summary of the Safety Report for the Surface Repository of Category A Waste in Dessel. ONDRAF NIRAS, 2012. NIROND-TR 2012-17 E.
16. NDA. Geological Disposal, Generic Operational Safety Assessment: Volume 2 – Normal Operations Operator dose assessment. NDA, 2010. NDA Report no. NDA/RWMD/026.
17. Подземная исследовательская лаборатория в Нижне-Канском массиве: <http://www.norao.ru/about/underground/> (дата обращения: 01.08.2017).
18. Рыбальченко, А.И. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов / А.И. Рыбальченко, М.К. Пименов, П.П. Костин. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
19. Рыбальченко, А.И. 50 лет глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов – практические и научные результаты / А.И. Рыбальченко, В.М. Курочкин, Б.Г. Ершов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – № 1. – С. 86–90.
20. На Урале начал работу полигон по захоронению радиоактивных отходов: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/01/11/65483> (дата обращения: 01.08.2017).
21. Отчет по экологической безопасности ФГУП «НО РАО» за 2015 год: [http://norao.ru/upload/catalog\\_NORAO\\_200x200%20\(2\).pdf](http://norao.ru/upload/catalog_NORAO_200x200%20(2).pdf) (дата обращения: 01.08.2017).
22. Batters S. Generic Transportation Dose Assessment. NWMO, 2012, TR-2012-06.
23. Отчет по экологической безопасности за 2016 год филиала Железнодорожный ФГУП «НО РАО» и ФГУП «ГХК»: <http://bezrao.ru/n/1163> (дата обращения: 17.08.2017).

Поступила: 01.08.2017 г.

**Ведерникова Марина Владимировна** – кандидат технических наук, научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52; E-mail: [vmv@ibrae.ac.ru](mailto:vmv@ibrae.ac.ru)

**Пронь Игорь Александрович** – заместитель директора по эксплуатации ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО», Москва, Россия

**Савкин Михаил Николаевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

**Цебаковская Надежда Сергеевна** – инженер-исследователь института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

**Для цитирования:** Ведерникова М.В., Пронь И.А., Савкин М.Н., Цебаковская Н.С. Дозы облучения персонала и населения при нормальной эксплуатации пунктов захоронения радиоактивных отходов // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 57-65. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-57-65.

## Occupational and Public Exposure During Normal Operation of Radioactive Waste Disposal Facilities

Marina V. Vedernikova<sup>1</sup>, Igor A. Pron<sup>2</sup>, Mikhail N. Savkin<sup>1</sup>, Nadezhda S. Cebakovskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> National Operator for Radioactive Waste Management, Moscow, Russia

*This paper focuses on occupational and public exposure during operation of disposal facilities receiving liquid and solid radioactive waste of various classes and provides a comparative analysis of the relevant doses:*

**Marina V. Vedernikova**

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences.

**Address for correspondence:** Bolshaya Tulsкая str., 52, Moscow, 115191, Russia; E-mail: [vmv@ibrae.ac.ru](mailto:vmv@ibrae.ac.ru)

actual and calculated at the design stage. Occupational and public exposure study presented in this paper covers normal operations of a radioactive waste disposal facility receiving waste. Results: Analysis of individual and collective occupational doses was performed based on data collected during operation of near-surface disposal facilities for short-lived intermediate-, low- and very low-level waste in France, as well as near-surface disposal facilities for long-lived waste in Russia. Further analysis of occupational and public doses calculated at the design stage was completed covering a near-surface disposal facility in Belgium and deep disposal facilities in the United Kingdom and the Nizhne-Kansk rock massive (Russia). The results show that engineering and technical solutions enable almost complete elimination of internal occupational exposure, whereas external exposure doses would fall within the range of values typical for a basic nuclear facility. Conclusion: radioactive waste disposal facilities being developed, constructed and operated meet the safety requirements effective in the Russian Federation and consistent with relevant international recommendations. It has been found that individual occupational exposure doses commensurate with those received by personnel of similar facilities abroad. Furthermore, according to the forecasts, mean individual doses for personnel during radioactive waste disposal would be an order of magnitude lower than the dose limit of 20 mSv/year. As for the public exposure, during normal operation, potential impact is virtually impossible by delaminating boundaries of a nuclear facility sanitary protection zone inside which the disposal facility is located and can be solely attributed to the use of public roads during radioactive waste transportation to the disposal facility site.

**Key words:** disposal facilities for radioactive waste, normal operation, class of radioactive waste, personnel, population, individual effective dose, collective effective dose.

## References

- IAEA SF-1. Fundamental Safety Principles. – Vienna, 2006.
- Linge I.I., Utkin S.S., Khamaza A.A., Sharafutdinov R.B. Atomic Experience in Applying the International Requirements for the Validation of Long-Time Safety of Radwaste Disposal Sites: Problems and Lessons. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*, 2016, Vol. 120, № 4, pp. 201-208. (In Russian).
- Laverov N.P., Velichkin V.I., Omelyanenko B.I. [et al.] Isolation of spent nuclear fuel: geological and chemical basis. IGEM RAS, Moscow, 2008. (In Russian).
- Kapyrin I.V., Utkin S.S., Vasilevsky Yu.V. Concept of the design and application of the GeRa numerical code for radioactive waste disposal safety assessment. *Atomic Science and Engineering. Series: Mathematical modeling and simulation of physical processes*, 2014, Vol. 4, pp. 44-54. (In Russian).
- Non-retrievable radioactive waste. Under the general editorship of Linge I.I., 2015, 240 p. (In Russian).
- Linge I.I., Savkin M.N., Vedernikova M.V. Management of special radioactive wastes: practical advances and current challenges. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, № 4, pp. 23-37. (In Russian).
- MicroShield Version 5.05. User's Manual. Grove Engineering, Rockville MA, 1999.
- ICRP. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP, 1996. Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4).
- TECDOC-1449. Radiological aspects of non-fixed contamination of packages and conveyances. IAEA, Vienna, 2005.
- Bakin R.I., Zvantsev A.A., Ilupin S.I., [et al.] Software system for express computation of photon radiation doses outside the shields of the sources of different geometric forms. *Izvestiya Akademii nauk Energetika = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2013, No 5, pp. 129-135 (In Russian).
- Monitoring of individual effective and equivalent doses and dose management of occupational exposure. General requirements. MU 2.6.1.016-2000, M., 2000. (In Russian).
- ICRP. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP, 2006. Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
- ANDRA. Rapport Annuel 2015 d'information sur la surete nucleaire et la radioprotection. Centre de stockage de l'Aube. ANDRA, 2015.
- ANDRA. Rapport Annuel 2015. Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage. ANDRA, 2015.
- ONDRAF NIRAS. Summary of the Safety Report for the Surface Repository of Category A Waste in Dessel. ONDRAF NIRAS, 2012. NIROND-TR 2012-17 E.
- NDA. Geological Disposal, Generic Operational Safety Assessment: Volume 2 – Normal Operations Operator dose assessment. NDA, 2010. NDA Report no. NDA/RWMD/026.
- Underground research laboratory in Nizhnekanskiy massive. – Available on: <http://www.norao.ru/about/underground/> (Accessed: August 01, 2017). (In Russian).
- Rybalchenko A.I., Pimenov M.K., Kostin P.P. [et al.] Geological disposal of liquid radioactive waste. Moscow, Izdat, 1994, 254 p. (In Russian).
- Rybalchenko A.I., Kurochkin V.M. 50 years experience of geological disposal of liquid radioactive waste: practical and scientific results. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya = Geology, engineer geology, hydrogeology, geocriology*, 2014, No 1, pp. 86-90. (In Russian).
- Polygon for radioactive waste disposal starts its operation in Ural. – Available on: <http://www.atomic-energy.ru/news/2017/01/11/65483> (Accessed: August 01, 2017). (In Russian).
- Annual report on ecological safety. FGUP "NO RAO". Moscow, 2015. – Available on: [http://norao.ru/upload/catalog\\_NORAO\\_200x200%20\(2\).pdf](http://norao.ru/upload/catalog_NORAO_200x200%20(2).pdf) (Accessed: August 01, 2017). (In Russian).
- Batters S. Generic Transportation Dose Assessment. Batters S. NWMO, 2012, TR-2012-06.
- Report on the environmental safety of Zheleznogorsk branch of «NO RWM» and «GKhK» for 2016. – Available on: <http://bezrao.ru/n/1163> (Accessed: August 01, 2017). (In Russian).

Received: August 01, 2017

**For correspondence: Marina V. Vedernikova** – C.Sc. (Tech), researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Bolshaya Tulkaya str., 52, Moscow, 115191, Russia; E-mail: vmv@ibrae.ac.ru)

**Igor A. Pron** – Deputy Director of Operations, FSUE «National operator for radioactive waste management», Moscow, Russia

**Mikhail N. Savkin** – C.Sc. (Tech), Senior researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Nadezhda S. Cebakovskaya** – research engineer, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**For citation: Vedernikova M.V., Pron I.A., Savkin M.N., Cebakovskaya N.S. Occupational and Public Exposure During Normal Operation of Radioactive Waste Disposal Facilities. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 57-65. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-57-65**