

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ ПО ДЕМОНСТРАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ И ДОЛГОСРОЧНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУНКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАО (GEOSAF PART III)

В. С. Свительман

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2019 г.

В статье освещается работа GEOSAF Part III – проекта МАГАТЭ по гармонизации международного опыта в области обоснования безопасности пунктов геологического захоронения радиоактивных отходов. Цель текущей стадии проекта – формирование практических рекомендаций на основе опыта подготовки и рассмотрения safety case регулирующими органами в разных странах. В этом контексте подробно рассматривается связь требований с функциями безопасности, проектных решений – с действительным состоянием пункта захоронения в процессе сооружения, эксплуатации и на момент закрытия. Особое внимание в проекте уделяется безопасности ПГЗРО в период его эксплуатации, а также роли мониторинга с учетом управления неопределенностями и отклонениями действительного состояния пункта захоронения от проектного.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, пункт глубинного захоронения, оценка и обоснование безопасности.

Кратко об истории проекта

Целью проекта GEOSAF (The International Project on Demonstration of the Operational and Long-Term Safety of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste) является сопоставление и обобщение международного опыта обоснования долговременной безопасности пунктов геологического захоронения РАО. В проекте участвуют представители эксплуатирующих организаций, регулирующих органов и организаций научной и технической поддержки, в том числе в ряде заседаний принимали участие представители ФБУ «НТЦ ЯРБ», ФГУП «НО РАО», ИБРАЭ РАН.

Центральный элемент деятельности проекта – досье обоснования безопасности (Safety Case), концепция которого определяется в специальном руководстве по безопасности SSG-23 [1] как набор научных, технических и управленческих аргументов, демонстрирующих, что все элементы ПГЗРО и деятельность по его созданию

и эксплуатации, осуществляемая на площадке, являются безопасными.

Проект GEOSAF был начат в 2008 году (GEOSAF) с гармонизации мнений и подходов к разработке и последующему рассмотрению регулирующими органами материалов обоснования долговременной безопасности (Safety Case) геологического захоронения радиоактивных отходов. В GEOSAF были учтены результаты предыдущих международных проектов МАГАТЭ, связанных с демонстрацией безопасности, таких как ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste), ASAM (Application of Safety Assessment Methodologies for Near-Surface Radioactive Waste Disposal Facilities), DeSa (Evaluation and Demonstration of Safety during Decommissioning of Nuclear Facilities), SADRWMS (Safety Assessment Driven Radioactive Waste

Management Solutions), EMRAS (Environmental Modelling for Radiation Safety) [2]. Уже в рамках работ первой фазы проекта, завершившихся в 2011 году, особое внимание было уделено безопасности в период эксплуатации ПГЗРО [3].

В 2012 году была начата вторая стадия проекта (GEOSAF Part II) с целью выработать общие подходы к рассмотрению и гарантированию того, что протекающие длительное время процессы сооружения и эксплуатации геологического захоронения обеспечат выполнение системой захоронения всех функций безопасности после ее закрытия, которые были заложены в досье обоснования безопасности ПГЗРО. В основу работы легли результаты, полученные при выполнении проекта GEOSAF Part I, а также такие стандарты безопасности МАГАТЭ, как SSR-5 [4], SSG-14 [5] и SSG-23 [1].

Текущая стадия проекта (GEOSAF Part III) направлена на углубление и развитие концепций Safety Envelope, Design Target and As Built State, которые описывают диапазон состояний барьеров безопасности и функций безопасности для трех точек отсчета — согласно требованиям, по проекту и на момент закрытия ПГЗРО. За основу принимаются существующие досье обоснования безопасности, представленные разными странами, в особенности теми, где проекты ПГЗРО уже являются достаточно зрелыми и достигли значимых уровней развития. Также в рамках GEOSAF III продолжается деятельность по выявлению пробелов в документах, регулирующих безопасность эксплуатационного периода, и ее результатом должен стать проект содержания возможного руководства по эксплуатационной безопасности.

Понятия Safety Envelope, Design Target и As Built State

Безопасность ПГЗРО после закрытия не может быть полностью верифицирована прямыми измерениями. Так как не существует практической возможности получить непосредственные свидетельства того, что заявленные функции безопасности будут выполняться в долгосрочной перспективе, безопасность после закрытия демонстрируется косвенными методами, как правило, в рамках обоснования безопасности на основе выполнения оценок безопасности. Для оценки безопасности используется численное моделирование с учетом результатов мониторинга, исследований и анализа неопределенностей, в том числе различных сценариев изменения системы захоронения в различные периоды времени. Одним из ключевых элементов надежности таких прогнозных оценок безопасности является предположение о том, что конфигурация системы захоронения на момент закрытия (т. е. после сооружения и эксплуатации) будет именно такой, какая заложена при

проектировании ПГЗРО и рассмотрена на стадии лицензирования в рамках Safety Case.

В связи с этим в рамках проекта GEOSAF было предложено несколько существенных понятий, каждое из которых описывает состояние системы захоронения.

Первое из них, Safety Envelope — «пределы безопасности», это набор критериев, соответствие которым позволяет признать состояние ПГЗРО безопасным. Следующее, Design Target — это заложенное при проектировании состояние барьеров безопасности и функций безопасности на момент закрытия ПГЗРО. И, наконец, As Built State — это действительное (измеренное) состояние барьеров и поведение функций безопасности на момент закрытия ПГЗРО.

Ввод этих понятий в рамках GEOSAF II был связан с очевидным пониманием, что требования, предъявляемые к объекту в условиях неопределенности — это всегда диапазоны безопасных характеристик с некоторым «запасом прочности». Проект разрабатывается так, чтобы эти требования удовлетворить, переводя их в значения параметров отдельных систем и подсистем этого объекта, иногда тоже с некоторым «запасом прочности». При этом также очевидно, что отклонение со временем какого-то из параметров от проектной величины не обязательно означает, что объект в целом перестает отвечать предъявляемым к нему требованиям, в том числе требованиям безопасности. В случае с более простым объектом, таким, например, как не слишком сложный прибор, Safety Envelope, Design Target и As Built State могут представлять разные диапазоны одного и того же измеряемого параметра. В случае более сложного объекта, такого как система геологического захоронения, некоторые из граничных условий и критериев, формирующих Safety Envelope, могут носить качественный характер и не совпадать с набором параметров, принятых при проектировании для соответствия этим критериям. Некоторые из требований, такие как, например, сохранение возможности извлечения отходов из ПГЗРО, вообще нельзя перевести в количественное представление. Кроме того, в процессе эксплуатации объекта, получения большего количества данных о нем и лучшего понимания его поведения во времени, значения этих параметров, составляющие Design Target, так же могут быть пересмотрены с учетом проведения повторных оценок и анализа безопасности ПГЗРО (рис. 1 б). В общем случае, они будут эволюционировать вместе с Case.

На рис. 2 приведены варианты соотношения состояний согласно требованиям (Safety Envelope), по проекту (Design Target) и действительного (As Built State). На практике область действительных состояний функций безопасности (As Built State) может не совпадать с областью Design Target или даже Safety Envelope, и

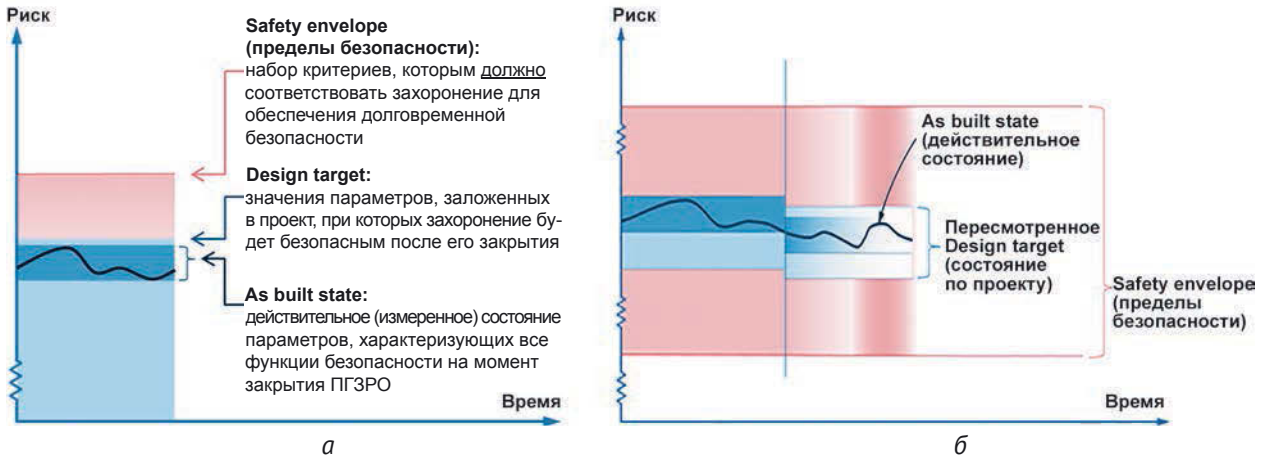


Рис. 1. Визуализация концепции понятий Safety Envelope, Design Target и As Built State (а) и пример (б) изменения Design Target в результате пересмотра обоснования безопасности

в этих случаях необходимы оценка значимости отклонений для долговременной безопасности и обоснование необходимости корректирующих действий.

При этом процесс управления отклонениями действительного состояния системы захоронения (As Built State) от проектного (Design Target) и состояния, задаваемого требованиями (Safety Envelope), должен иметь итеративный характер (рис. 3) [6]. Такой процесс должен быть предусмотрен в рамках системы управления ПГЗРО (необходимость и функции такой системы управления рассмотрены, в частности, в [4]).

В приведенной концепции важную роль играет мониторинг системы захоронения, причем в рамках данного проекта под мониторингом понимается не наблюдение всех явлений или процессов важных для безопасности ПГЗРО, а мониторинг того, насколько состояние системы захоронения в целом отклонилось от состояния, заложенного в проекте и описанного в материалах Safety Case. В том случае, когда результаты мониторинга демонстрируют отклонение действительного состояния от проектного, производится оценка значимости этих отклонений для обоснования долговременной безопасности. При необходимости реализуются корректирующие мероприятия, информация о них вносится в Safety Case. Также система управления должна предусматривать случай, когда действительное состояние не удовлетворяет требованиям безопасности и необходим пересмотр обоснования долговременной безопасности и проектных решений. Таким образом, в рамках эффективной системы управления ПГЗРО сначала должны быть разработаны и документированы процессы и процедуры эксплуатации ПГЗРО, а затем по результатам мониторинга ключевых параметров обеспечиваться соблюдение эксплуатационных пределов и условий. В случае выхода за эксплуатационные пределы и условия оператор должен предпринимать корректирующие

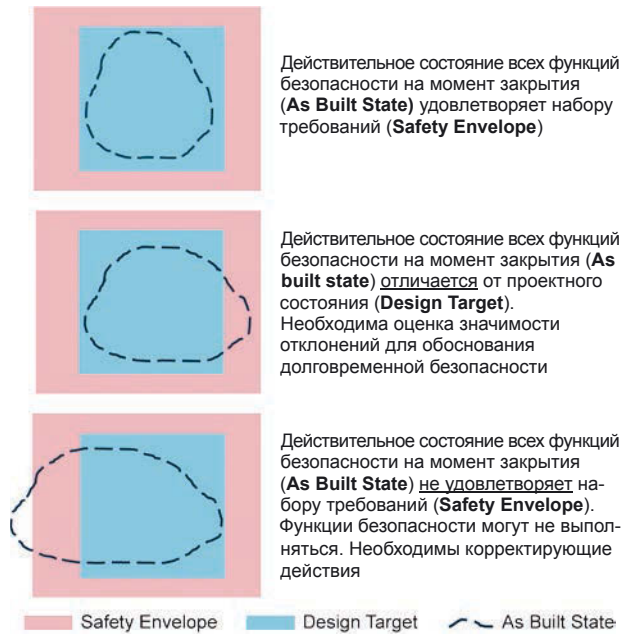


Рис. 2. Различные случаи соотношения состояний Safety Envelope, Design Target и As Built State

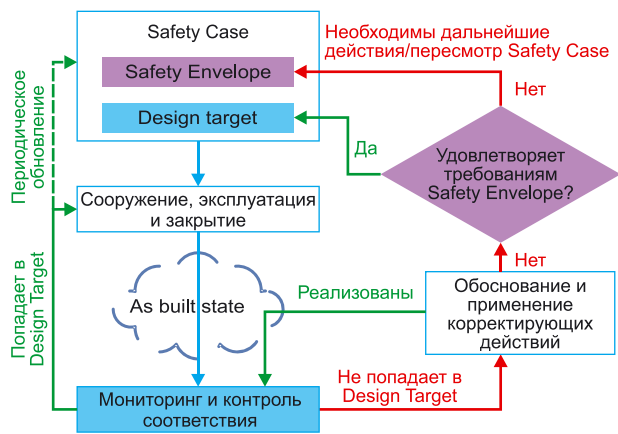


Рис. 3. Схема принятия решений по ключевым параметрам мониторинга [6]

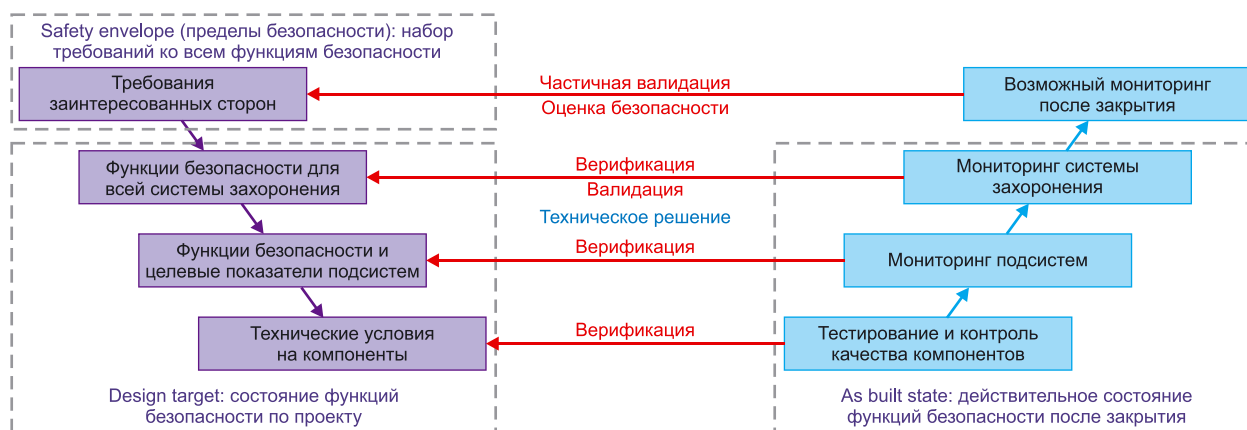


Рис. 4. Сущности проекта GEOSAF в структуре системы управления требованиями

действия с целью восстановления нормального режима эксплуатации с учетом возможных последствий этих действий для долговременной безопасности ПГЗРО.

Направления деятельности GEOSAF

В настоящее время работа GEOSAF III осуществляется в трех группах. Группа 1 фокусируется на вопросах обеспечения безопасности в период эксплуатации ПГЗРО, анализируя существующие требования и руководства по безопасности для того, чтобы определить, насколько необходим новый руководящий документ и что должен был бы в себя включать единый документ, охватывающий все аспекты безопасности в период эксплуатации ПГЗРО. На текущем этапе продолжается рассмотрение проблемных тематик и формирование состава соответствующего документа.

Группа 2 занимается уточнением предложенных понятий Safety Envelope, Design Target, As Built State, их взаимосвязи и интеграции с основными компонентами используемых МАГАТЭ Safety Case и Safety Assessment. Многие вопросы, поднятые в данной группе, до сих пор остаются дискуссионными и требуют согласования с другими продолжающимися в настоящее время проектами МАГАТЭ, в том числе по системам мониторинга геологических захоронений, долговременной эволюции окружающей среды, построению «дорожной карты» проекта геологического захоронения, обобщение опыта использования подземных исследовательских лабораторий и других.

С точки зрения управления требованиями, Safety Envelope, Design Target, As Built State могут быть представлены в виде известной V-диаграммы, которая тем не менее не дает ответа на вопрос, как добиться соответствия конфигурации системы захоронения в момент закрытия безопасному состоянию и как реагировать при отклонении результатов мониторинга от принятых в проекте значений ключевых параметров.

Практические примеры из опыта стран, в которых работа над обоснованием долговременной безопасности продолжается уже довольно давно и достигла значимых положительных результатов, в частности, Швеции и Финляндии, используются для анализа и уточнения предлагаемого подхода к использованию мониторинга для обеспечения долговременной безопасности в данном контексте.

Группа 3 рассматривает аспекты управления неопределенностями, отклонений действительного состояния ПГЗРО от проектного, осуществления корректирующих действий и обновления Safety Case. На предыдущих этапах был выделен ряд конкретных практических вопросов, возникающих по данным аспектам в процессе разработки Safety Case. На данном этапе проводится поиск ответов на эти вопросы в стандартах безопасности МАГАТЭ и определение тех вопросов, ответов на которые действующие стандарты безопасности не содержат.

В части управления неопределенностями это такие вопросы: как определить, какие неопределенности существенны для безопасности и связаны с наибольшим риском; как организовать программу исследований и мониторинг таким образом, чтобы уменьшить неопределенности; как управлять неопределенностями на протяжении всего жизненного цикла и т. д. Сопоставление практических вопросов и утверждений из руководящих документов показало, что в документах МАГАТЭ по большей части содержатся общие соображения, подробная классификация видов неопределенностей, а также требования учитывать неопределенности на всех этапах жизненного цикла, но без указания конкретных методик и критериев достаточности учета тех или иных неопределенностей. Более практическую информацию по учету неопределенностей группа предполагает найти в отчете по инициативе MeSa группы IGSC (Integration Group for the Safety Case) NEA, в рамках которой был проведен обзор современных подходов к оценке безопасности [7].

Основные вопросы, которые рассматриваются в части управления отклонениями, — как идентифицировать отклонения и отличить их от неопределенностей, как оценить последствия, при каком уровне отклонений должны уведомляться регулирующие органы, достаточно ли знаний, методов и инструментов для планирования и осуществления корректирующих мероприятий на всех стадиях жизненного цикла и так далее.

Главный вопрос по аспектам обновления обоснования безопасности и периодической оценке долговременной безопасности ПГЗРО, на который еще не найден однозначный ответ, заключается в установлении связей между этими обновлениями и модификацией Design Target или Safety Envelope. Отдельно обсуждаются аспекты практического применения и достаточности документов SSG-31 [8] и SSG-23 [1] для управления отклонениями и обновления обоснования безопасности. Первичный анализ соответствующих документов показал, что аналогично вопросам учета неопределенностей в руководящих документах содержатся общие требования на темы управления отклонениями и корректировки Safety Case, но без описания конкретных подходов и инструментов. Поэтому работа группы продолжается в направлении обобщения опыта стран — участниц проекта. Работа группы осуществляется в тесном сотрудничестве с группой 2.

Заключение

Создание объектов глубинного захоронения радиоактивных отходов — это всегда уникальный проект в силу особенностей вмещающей среды, свойств подлежащих захоронению отходов, доступных технических решений, культурно-исторического контекста и других факторов. Две основных задачи в таком проекте — обеспечить уверенность в безопасности людей и окружающей среды в долгосрочной перспективе после закрытия (обоснование безопасности) и продемонстрировать, что все элементы системы захоронения и система в целом могут быть реализованы (обоснование осуществимости).

Рассматриваемые в рамках проекта GEOSAF понятия призваны интегрировать деятельность, предшествующую закрытию, обеспечивающую долговременную безопасность, так, чтобы отклонения конфигурации ПГЗРО от предусмотренных проектом и обоснованием безопасности параметров барьеров и функций безопасности (Design Target) не привели к выходу системы захоронения из безопасного состояния, определяемого набором критериев безопасности (Safety Envelope). Обоснование безопасности, подготовленное на ранних стадиях проекта геологического захоронения на основании проектируемой конфигурации, должно периодически обновляться и учитывать данные о действительном состоянии системы захоронения и её изменении во времени (As Built State).

На любом этапе жизненного цикла ПГЗРО сопоставление действительного состояния системы захоронения с его проектной конфигурацией должно быть подкреплено анализом возможного влияния обнаруженных отклонений и предполагаемых корректирующих воздействий на долговременную безопасность после его закрытия.

Участники проекта GEOSAF полагают, что предлагаемый ими подход может быть интегрирован в концепцию Safety Case и эффективно реализован при его использовании на как можно более ранних стадиях проекта создания ПГЗРО, включая разработку системы мониторинга.

Благодарность

Автор выражает благодарность Отделу радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов МАГАТЭ за приглашение принять участие в работе международного проекта GEOSAF III, а также научному секретарю этого проекта Гуськову А. В. за консультации при подготовке данной статьи.

Литература

1. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-23, IAEA Safety Standards. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2012.
2. GEOSAF. The International Intercomparison and Harmonisation Project on demonstrating the safety of geological disposal. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/geosaf-i-final-report.pdf>.
3. Report of the GEOSAF Working Group on Operational Safety. [Электронный ресурс] — URL: <https://www-ns.iaea.org/downloads/rw/projects/geosaf/companion-report-on-operational-safety.pdf>.
4. Захоронение радиоактивных отходов, Конкретные требования безопасности № SSR-5, Нормы МАГАТЭ по безопасности, МАГАТЭ, — Вена, 2011 год.
5. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-14, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.
6. Managing integration of pre-closure activities and post-closure safety in the Safety Case for Geological Disposal. Draft technical document [Электронный ресурс] — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/geosaf-2-tecdoc-draft.pdf>.
7. Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. Outcomes of the NEA MeSA Initiative. Nuclear Energy Agency. Organisation for Economic Cooperation and Development, 2012.
8. Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities, Specific Safety Guide No SSG-31, IAEA Safety Standards. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2014.

Информация об авторах

Свительман Валентина Семеновна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: svitelman@ibrae.ac.ru

Библиографическое описание статьи

Свительман В. С. Международный проект по демонстрации эксплуатационной и долгосрочной безопасности пунктов геологического захоронения РАО (GEOSAF Part III) // Радиоактивные отходы. 2019. № 1(6). С. 56—61.

THE REVIEW OF THE INTERNATIONAL INTERCOMPARISON AND HARMONISATION PROJECT ON DEMONSTRATING THE SAFETY OF GEOLOGICAL DISPOSAL (GEOSAF PART III)

Svitelman V. S.

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia

Article received 18 February 2019

This paper brings attention to the International Intercomparison and Harmonisation Project on Demonstrating The Safety Of Geological Disposal (GEOSAF Part III). The current stage of the project aims at developing practical guidance for the safety case based on the experience of the different countries in developing and reviewing the safety case. The main topic in this context is the linkage between regulatory requirements for safety functions, design specification for their implementation and the true state of the disposal system at different steps of disposal lifecycle. Alongside the requirement system aspects, the issues of uncertainties and deviations management are considered.

Keywords: *Radioactive waste, Deep geological disposal facility, safety case and safety assessment.*

Acknowledgements

The author would like to express the gratitude to the IAEA Division of Radiation, Transport and Waste Safety for the invitation to participate in GEOSAF III project and to the scientific secretary of the project Guskov A. V. for his advice and guidance during the preparation of this paper.

References

1. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-23, IAEA Safety Standards. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2012.
2. GEOSAF. The International Intercomparison and Harmonisation Project on demonstrating the safety of geological disposal. [Electronic source] — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/geosaf-i-final-report.pdf>.
3. Report of the GEOSAF Working Group on Operational Safety. [Electronic source] — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/companion-report-on-operational-safety.pdf>.

[www- https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/companion-report-on-operational-safety.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/companion-report-on-operational-safety.pdf).

4. Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements No SSR-5, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.

5. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-14, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.

6. Managing integration of pre-closure activities and post-closure safety in the Safety Case for Geological Disposal. Draft technical document [Electronic source] — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/geosaf-2-tecdoc-draft.pdf>.

7. Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste. Outcomes of the NEA MeSA Initiative. Nuclear Energy Agency. Organisation for Economic Cooperation and Development, 2012.

8. Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities, Specific Safety Guide No SSG-31, IAEA Safety Standards. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2014.

Information about authors

Svitelman Valentina Semenovna, PhD, Research associate, Nuclear Safety Institute of RAS (115191, Moscow, Bolshaya Tulsкая St., 52), e-mail: svitelman@ibrae.ac.ru

Bibliographic description

Svitelman V. S. The Review of the International Intercomparison and Harmonisation Project on Demonstrating the Safety of Geological Disposal (GEOSAF Part III). *Radioactive Waste*, 2019, no. 1(6), pp. 56—61. (In Russian).