

## ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ НЕДР И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПУНКТОВ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

И. А. Пронь, А. В. Ткаченко, В. В. Мартьянов, Ю. В. Трофимова, И. В. Яковлева  
ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», Москва

Статья поступила в редакцию 23 октября 2018 г.

*Рассмотрен подход к проведению мониторинга состояния недр и подземных сооружений (геомониторинг), реализуемый на пунктах глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов. Проведение мониторинга регламентировано требованиями нормативных правовых актов Российской Федерации и направлено на подтверждение безопасности захоронения ЖРО. В статье приведены краткие характеристики эксплуатируемых ФГУП «НО РАО» ПГЗ ЖРО и результаты мониторинга за 2017 год.*

**Ключевые слова:** жидкие радиоактивные отходы, захоронение отходов, пункты глубинного захоронения, мониторинг, наблюдательная скважина, геологическая среда.

Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов в Российской Федерации ведётся на трех полигонах — пунктах глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО), созданных в 1960-х гг. Деятельность по захоронению ЖРО с 2013 г. осуществляет ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО»).

По принятой классификации в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам...» [1], ЖРО относятся к классу 5. Захоронению в ПГЗ ЖРО подлежат средне- и низкоактивные жидкие радиоактивные отходы.

Перед захоронением ЖРО, образовавшиеся в результате производственной деятельности отраслевых предприятий, согласно требованиям ст. 30 Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...» [2] и федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных

отходов для захоронения» (НП-093-14) [3], приводятся в соответствие с критериями приемлемости, установленными для каждого ПГЗ ЖРО.

ФГУП «НО РАО» осуществляет захоронение ЖРО в недра (эксплуатационные горизонты) в пределах границ горного отвода в соответствии с действующей разрешительной документацией, включая лицензии на пользование недрами Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) и лицензии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

Одним из важных видов производственной деятельности при эксплуатации ПГЗ ЖРО, направленным на подтверждение безопасности, является проведение наблюдений (мониторинга) за процессом захоронения и поведением радионуклидов в месте их локализации (мониторинг состояния недр и подземных сооружений (геомониторинг)).

Проведение мониторинга регламентировано требованиями нормативных правовых актов Российской Федерации. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии

«Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности» (НП-055-14 [4]) устанавливает требования к проведению мониторинга системы захоронения РАО, включая контроль состояния естественных и инженерных барьеров безопасности. В отношении ПГЗ ЖРО естественными барьерами безопасности являются элементы природного геологического образования (вмещающие породы), обладающие низкими фильтрационными свойствами и ограничивающие распространение радионуклидов в выше- и нижележащие горизонты, к инженерным барьерам безопасности относятся элементы конструкции скважин.

Мониторинг состояния недр и подземных сооружений, осуществляемый на ПГЗ ЖРО, направлен на определение контура распространения техногенно измененных вод под воздействием захоронения ЖРО в недрах, своевременное получение информации о протекании связанных с захоронением процессов, оценку технического состояния скважин, выявление признаков возникновения нарушений нормальной эксплуатации, связанных с отказами инженерных барьеров безопасности на ранней стадии, накопление, документирование и хранение данных контрольных наблюдений и результатов их обработки в виде периодически пополняемых баз данных. Под техногенно измененными водами понимаются воды, состав которых отличается от природных по химическим или радионуклидным показателям в связи с захоронением ЖРО.

Получаемые результаты мониторинга состояния недр и подземных сооружений используются в качестве исходных данных для верификации разработанных и применяемых для обоснования долговременной безопасности ПГЗ ЖРО моделей и при необходимости оптимизации режимов захоронения ЖРО.

Мониторинг ПГЗ ЖРО включает в себя получение фактических данных о состоянии недр и подземных сооружений в результате проведения гидродинамических, гидрогеохимических и геофизических исследований в наблюдательных скважинах. Мониторинг осуществляется в соответствии с регламентами, разработанными для каждого ПГЗ ЖРО и согласованными с проектной организацией, региональными управлениями Федерального медико-биологического агентства (ФМБА) и территориальными органами Роснедр.

Гидродинамический мониторинг осуществляется путем выполнения замеров уровней пластовой жидкости в нагнетательных и наблюдательных скважинах и/или давлений на их устьях для определения влияния захоронения ЖРО на структуру потока подземных вод и влияния захоронения на состояние недр.

Гидродинамический мониторинг осуществляется с применением уровнемеров и автономных регистраторов, а также высокочувствительных

глубинных манометров, поверка и калибровка которых выполняется в установленном порядке.

Результаты гидродинамического мониторинга оформляются в виде таблиц, карт-схем купола репрессии, карт-схем гидроизопьез, графиков изменения уровня. Результаты гидродинамического мониторинга направлены на подтверждение и прослеживание преимущественных направлений фильтрации и особенностей гидродинамического режима подземных вод. По результатам гидродинамического мониторинга оцениваются и анализируются: гидродинамическая структура потока, размеры купола репрессии, потенциальная гидравлическая связь различных горизонтов, техническое состояние скважин, инженерных барьеров безопасности, эксплуатационные параметры нагнетательных скважин, фильтрационные параметры вмещающей геологической среды и др.

Оценка результатов гидродинамического мониторинга позволяет в случае необходимости разработать и реализовать соответствующие управленческие решения по режиму эксплуатации ПГЗ ЖРО.

Гидрогеохимический мониторинг выполняется путем отбора проб пластовых жидкостей из эксплуатационных, буферных, вышележащих горизонтов и определения их физико-химических показателей, состава и радиационно-гигиенических характеристик с целью оценки соответствия гигиеническим критериям и нормативам радиационной безопасности согласно ГН 2.1.5.1315-03 [5], СанПиН 2.1.4.1074-01 [6], СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009) [7], а также оценки техногенного влияния захоронения ЖРО на состояние недр в соответствии с СП 2.1.5.1059-01 [8]. Гидрохимический мониторинг выполняется в соответствии с ежегодно установленными графиками в наблюдательных скважинах ПГЗ ЖРО.

Отбор и транспортирование проб пластовых жидкостей осуществляется в соответствии с государственными стандартами и нормативно утвержденными рекомендациями. Определение показателей отобранных проб проводится по утвержденным методикам в аккредитованных лабораториях.

Основными контролируемыми показателями состояния недр при осуществлении гидрогеохимического мониторинга являются:

- общая минерализация и макрокомпонентный состав;
- концентрация нитрат-ионов;
- мутность и взвешенные вещества;
- водородный показатель;
- плотность;
- суммарная удельная альфа-активность подземных вод;
- суммарная удельная бета-активность подземных вод;
- удельная активность отдельных радионуклидов.

Результаты гидрогеохимического мониторинга хранятся в виде протоколов измерения и электронных баз данных.

Геофизические исследования (ГИС) выполняются путем измерения в скважинах геофизических полей, изменяющихся характеристик: радиоактивных излучений, температуры, электропроводности жидкости и др. как вследствие захоронения ЖРО, так и свойственных подземной геосфере.

Методы ГИС также активно применяются для наблюдений за техническим состоянием подземных сооружений. Акустическая цементометрия, электромагнитная дефектоскопия-толщинометрия, шаблонирование и другие методы используются для контроля технического состояния скважин. При оценке технического состояния скважин, помимо прочего, определяются их эксплуатационные характеристики, состояние конструктивных элементов: обсадных колонн и цементного камня в затрубном пространстве обсадных колонн. По результатам проводимых исследований технического состояния скважин может приниматься решение о их дальнейшей эксплуатации, ремонте или ликвидации.

Результаты геофизических исследований позволяют подтверждать пространственно-временную область распространения техногенно измененных вод в недрах, отслеживать потенциальную вертикальную фильтрационную неоднородность массива вмещающих горных пород с определением глубин и мощностей эксплуатационных горизонтов и разделяющих слабопроницаемых толщ в разрезе, обнаруживать потенциальные зоны разуплотнения материалов заполнения затрубного пространства скважин.

Результатами геофизических исследований являются карты-схемы и разрезы (профили) с областями распространения техногенно измененных вод, геофизические профили скважин.

Приборы, используемые для выполнения ГИС, имеют соответствующие сертификаты и свидетельства о метрологической аттестации.

Организация мониторинга состояния недр и подземных сооружений, периодичность, применяемые методы и приборы выбираются в зависимости от глубины наблюдаемого горизонта и его назначения, от местоположения наблюдательной скважины, присутствия компонентов ЖРО по данным предшествующих наблюдений, положения контура техногенно измененных вод в контролируемом горизонте.

Результаты мониторинга состояния недр и подземных сооружений ежегодно передаются в территориальные органы по недропользованию.

Ниже приводятся краткие характеристики эксплуатируемых ФГУП «НО РАО» ПГЗ ЖРО и результаты мониторинга за 2017 год.

### ПГЗ ЖРО филиала «Северский»

ПГЗ ЖРО филиала «Северский» расположен в г. Северске Томской области, на промплощадке ОАО «СХК», в пределах Томь-Обского бассейна, на правом берегу р. Томь.

Захоронение ЖРО осуществляется в осадочную толщу, сложенную переслаиванием терригенных песчано-глинистых пород мелового возраста (рис. 1) на глубины 260—430 м (в 2 эксплуатационных горизонта), перекрывающуюся выдержанным мощным (свыше 50 м) слоем слабопроницаемых глин позднемелового возраста и ограничивающуюся снизу слабопроницаемыми нижнемеловыми глинами. Таким образом, эксплуатационная толща по своим уникальным строению и свойствам обеспечивает надежную изоляцию ЖРО от среды обитания человека и его деятельности.

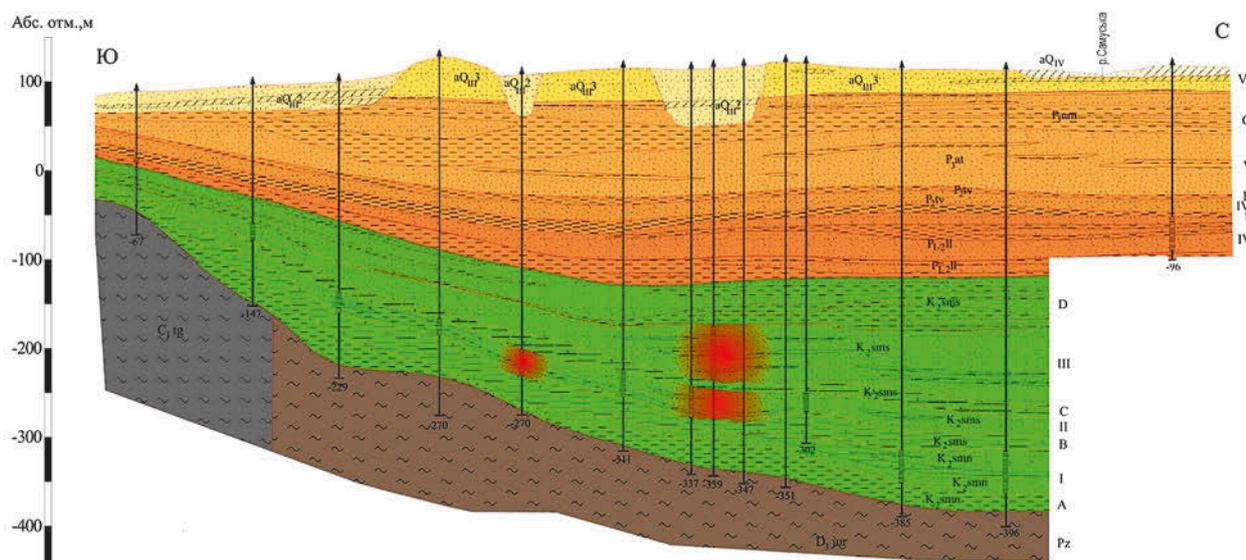


Рис. 1. Геологический разрез осадочного чехла в районе размещения ПГЗ ЖРО «Северский»

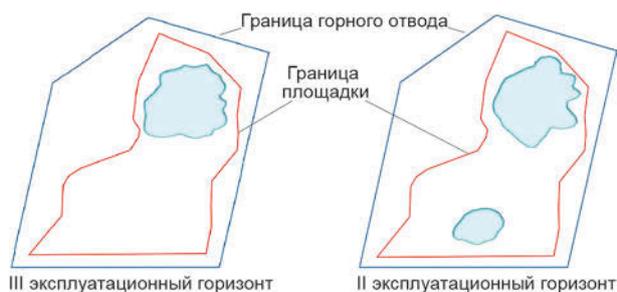


Рис. 2. Результаты мониторинга состояния недр ПГЗ ЖРО филиала «Северский» в 2017 г. (голубой – область техногенно измененных вод)



Рис. 4. Результаты мониторинга состояния недр (область техногенно измененных вод) ПГЗ ЖРО филиала «Железногорский» в 2017 г.

В настоящее время на ПГЗ ЖРО эксплуатируются 15 нагнетательных и 212 наблюдательных скважин как на эксплуатационные, так и на буферные и вышележащие горизонты на площади более 10 000 га.

Результаты гидрогеохимического мониторинга за 2017 год приведены на рис. 2. По результатам мониторинга, область распространения техногенно измененных вод находится не только в пределах горного отвода, но и не выходит за пределы площадки ПГЗ ЖРО.

Режимные гидродинамические наблюдения в 2017 году показывают, что отсутствуют колебания уровней вод в наблюдаемых горизонтах, что свидетельствует о минимальном воздействии эксплуатации ПГЗ ЖРО на недр.

По результатам геофизических исследований в скважинах в 2017 году, подтверждена площадь области распространения техногенно измененных вод в пределах горного отвода и определены технические состояния скважин и возможность их использования в регламентном режиме.

### ПГЗ ЖРО филиала «Железногорский»

ПГЗ ЖРО филиала «Железногорский» расположен в г. Железногорске, в 60 км севернее Красноярска, на территории производственной зоны ФГУП «ГХК», на правом берегу реки Енисей.

Захоронение ЖРО осуществляется в осадочную толщу юрских отложений, представленных породами песчаного и глинистого составов (рис. 3).

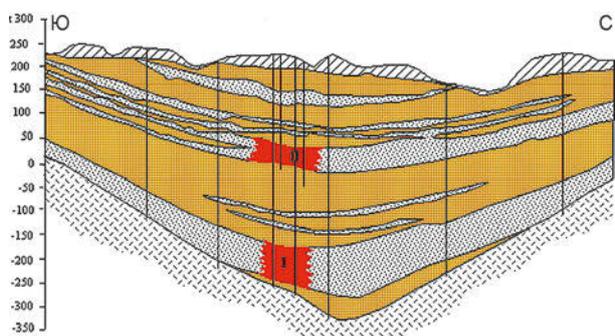


Рис. 3. Геологические разрезы ПГЗ ЖРО филиала «Железногорский»

Глубина эксплуатационных горизонтов составляет 180–500 м. По структурному строению район размещения ПГЗ ЖРО представляет собой мульду, ограниченную выходами кристаллических пород фундамента на дневную поверхность за пределами ПГЗ ЖРО. С запада район размещения ПГЗ ЖРО отделен слабопроницаемым неактивным правобережным тектоническим нарушением от р. Енисей.

От вышележащих и нижезалегающих пород осадочная толща юрских отложений отделена региональными слабопроницаемыми толщами глинистых пород мощностью более 40 и 45 м, соответственно.

Таким образом, структурное строение и характеристики эксплуатационных горизонтов и разделяющих толщ обеспечивают необходимый уровень безопасности как в период эксплуатации ПГЗ ЖРО, так и в долгосрочной перспективе в геологических масштабах времени.

В настоящее время на ПГЗ ЖРО эксплуатируются 13 нагнетательных и 74 наблюдательные скважины на эксплуатационные, буферные и грунтовый горизонты на площади более 4 000 га.

Анализ результатов гидрогеохимического мониторинга за 2017 год (рис. 4) показал, что область распространения техногенно измененных вод незначительно выходит за пределы промышленной площадки ПГЗ ЖРО, но не выходит за пределы горного отвода.

По результатам режимных гидродинамических наблюдений, отсутствуют значимые колебания уровней вод в контролируемых горизонтах, геофизические исследования в скважинах подтверждают область распространения техногенно измененных вод в пределах границ горного отвода и отсутствие нарушений в конструкциях скважин, препятствующих их эксплуатации и способных повлиять на безопасность ПГЗ ЖРО.

### ПГЗ ЖРО филиала «Димитровградский»

ПГЗ ЖРО филиала «Димитровградский» размещается в 6 км к юго-западу от г. Димитровграда Ульяновской области, на территории АО «ГНЦ НИИАР».

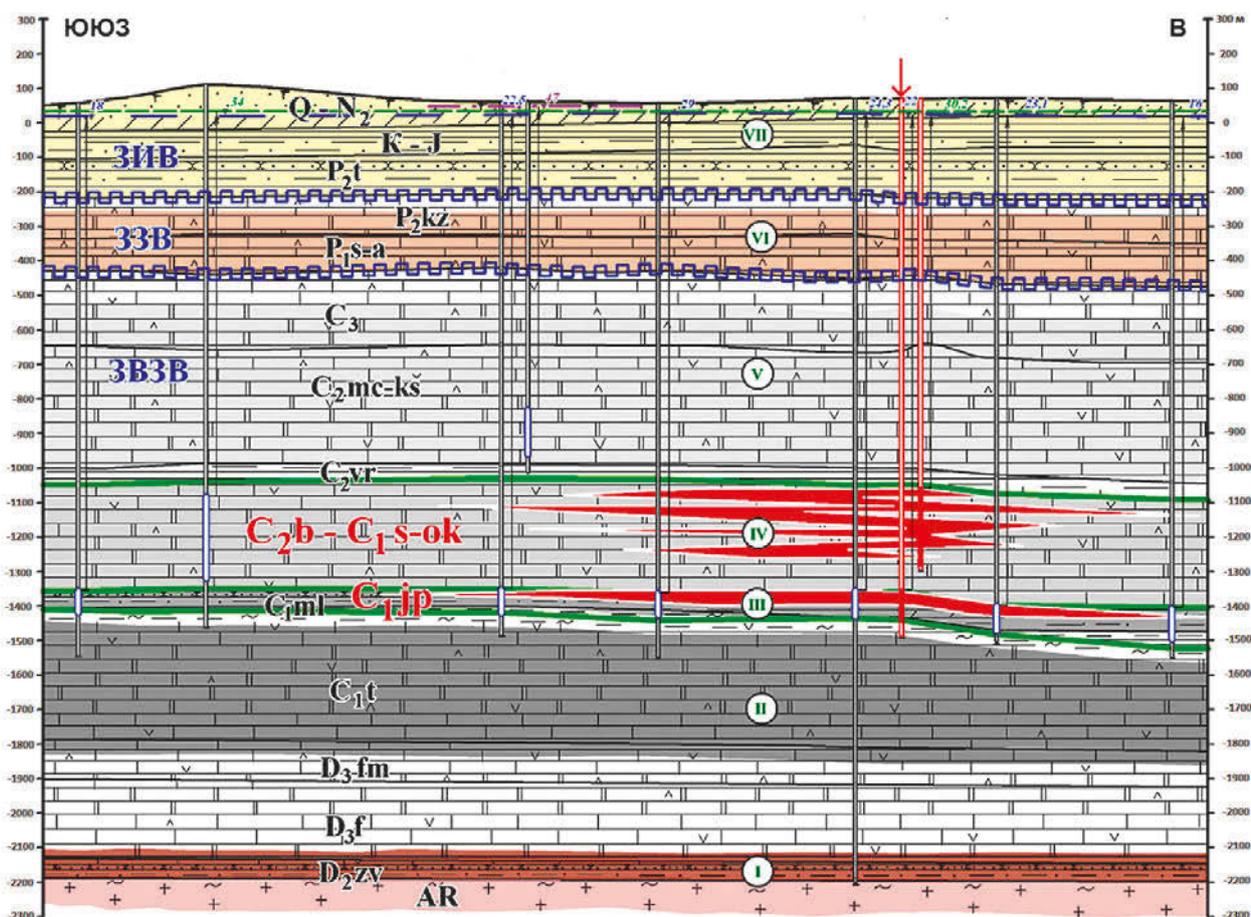


Рис. 5. Геологический разрез ПГЗ ЖРО «Димитровградский»

Захоронение ЖРО осуществляется в толщу пород терригенно-карбонатного состава каменноугольного возраста на глубину 1114–1514 м (рис. 5). Эксплуатируемые горизонты характеризуются застойным режимом. Они перекрываются мощной (более 40 м) толщиной слабопроницаемых глинистых пород, обеспечивающих изоляцию захороненных ЖРО от вышележащих горизонтов. Значительная глубина эксплуатационных горизонтов, их строение, фильтрационные и емкостные характеристики пород в комплексе с инженерными решениями обеспечивают безопасность ПГЗ ЖРО в эксплуатационный и постэксплуатационный периоды.

Всего на ПГЗ ЖРО имеются 4 нагнетательные скважины. Для проведения мониторинга состояния недр и подземных сооружений используются 28 наблюдательных скважин на площади более 15 000 га.

Анализ результатов гидрогеохимического мониторинга за 2017 год, представленный на рис. 6, показывает, что область распространения техногенно измененных вод находится в пределах горного отвода.

Проведение гидродинамических наблюдений в скважинах на глубинах порядка 1,5 км осуществляется по замерам высокочувствительными глубинными манометрами. Гидродинамические наблюдения подтверждают отсутствие

связи между эксплуатируемыми и вышележащими горизонтами. В вышележащих комплексах гидродинамическая реакция на захоронение ЖРО не отмечена.

Геофизические исследования в скважинах в 2017 году проводились в соответствии с намеченными производственными планами. Их результатом явилось уточнение области распространения техногенно измененных вод. Кроме этого, результаты геофизических исследований не выявили препятствующих эксплуатации и способных повлиять на безопасность ПГЗ ЖРО нарушений в конструкциях скважин.

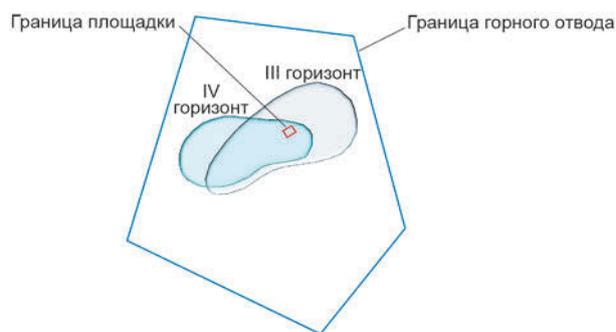


Рис. 6. Результаты мониторинга состояния недр (область техногенно измененных вод) ПГЗ ЖРО филиала «Димитровградский» в 2017 г.

Таким образом, на ПГЗ ЖРО ФГУП «НО РАО» разработана и функционирует система мониторинга состояния недр и подземных сооружений на основе комплексного подхода, включающего получение, накопление и обработку результатов проведения гидродинамических, гидрогеохимических и геофизических исследований в наблюдательных скважинах. Работы по мониторингу состояния недр и подземных сооружений выполняются силами и средствами ФГУП «НО РАО» с привлечением специализированных организаций, что в том числе обеспечивает независимость результатов мониторинга.

Подход, основанный на комплексной интерпретации и сопоставлении данных различных исследований, а также верификация отчетов распорядителем недр позволяет с высокой степенью уверенности говорить о достоверности результатов мониторинга состояния недр и эффективности функционирования системы мониторинга в целом.

Анализ деятельности ФГУП «НО РАО» по эксплуатации ПГЗ ЖРО, основанный на результатах мониторинга состояния недр и подземных сооружений с применением комплексного подхода за период до 2017 года включительно и их сопоставления с данными прогнозных расчетов долговременной безопасности, подтверждает безопасность изоляции ЖРО в настоящее время и в долгосрочной перспективе.

## Литература

1. Постановление Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
2. Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» (НП-093-14).
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности» (НП-055-14).
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03.
6. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01.
7. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09.
8. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. СП 2.1.5.1059-01.

---

## Информация об авторах

*Пронь Игорь Александрович*, заместитель генерального директора, Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, д. 49А, стр. 2), e-mail: iapron@nora.ru.

*Ткаченко Алексей Викторович*, кандидат технических наук, начальник управления по технической, геологической и разрешительной деятельности, Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, д. 49А, стр. 2), e-mail: avtkachenko@nora.ru.

*Мартьянов Владимир Владимирович*, кандидат технических наук, главный геолог Службы главного геолога, Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, д. 49А, стр. 2), e-mail: vvmartyanov@nora.ru.

*Трофимова Юлия Васильевна*, главный специалист Службы главного геолога, Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, д. 49А, стр. 2), e-mail: yvtrofimova@nora.ru.

*Яковлева Иоанна Витальевна*, главный специалист Службы главного геолога, Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (119017, Россия, Москва, ул. Пятницкая, д. 49А, стр. 2), e-mail: ivyakovleva@nora.ru.

## Библиографическое описание статьи

Пронь И. А., Ткаченко А. В., Мартьянов В. В., Трофимова Ю. В., Яковлева И. В. Подход к мониторингу состояния недр и подземных сооружений и результаты мониторинга пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 4(5). — С. 42–48.

## AN APPROACH TO MONITORING OF THE GEOSPHERE AND UNDERGROUND ENGINEER BARRIER SYSTEM OF DEEP GEOLOGICAL INJECTION FACILITIES AND SOME RESULTS OF MONITORING

**Pron I. A., Tkachenko A. V., Martyanov V. V., Trofimova I. V., Yakovleva I. V.**

**The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management», Moscow, Russia**

Article received 23 October 2018

*The paper discusses implementation an approach to monitoring of the geosphere and underground engineer barrier system of deep geological injection facilities operated by Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» since 2013 and the results of monitoring till 2017. This kind of monitoring is regulated by national norms and rules. Long-term monitoring is confirmed the injection facilities' safety.*

**Keywords:** *liquid radioactive waste, waste disposal, deep geological injection facilities, monitoring, observation well, geosphere.*

### References

1. Order of the Government of the Russian Federation of December 19, 2012 No 1069 "About criteria of reference of solid, liquid and gaseous waste to radioactive waste, criteria of reference of radioactive waste to special radioactive waste and to the deleted radioactive waste and criteria of classification of the deleted radioactive waste". (In Russian).
2. Federal Law of July 11, 2011 No 190-FZ "On Management of Radioactive Waste and Amendment of some acts of Law of the Russian Federation". (In Russian).
3. Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy Use "Criteria for Accepting Radioactive Waste for Disposal". NP-093-14. (In Russian).
4. Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy Use "Disposal of Radioactive Waste. Principles, Criteria and General Safety Requirements". NP-055-14. (In Russian).
5. Maximum Allowable Concentrations (MACs) of Chemical Substances Contained in Water of Water Bodies for Economic-Potable and Social-Domestic Water Use. GN 2.1.5.1315-03. (In Russian).
6. Potable Water - Hygienic Requirements for Water Quality in Central Potable Water Supply Systems - Quality Control. SANPIN 2.1.4.1074-01. (In Russian).
7. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). SanPiN 2.6.1.2523-09. (In Russian).
8. Hygienic Requirements for Groundwater Protection. SP 2.1.5.1059-01. (In Russian).

### Information about authors

*Pron Igor Aleksandrovich*, Deputy General Director for Operations, The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» (49A bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russian Federation), e-mail: iapron@norao.ru.

*Tkachenko Alexei Victorovich*, PhD, Head of Technical, Geological and Licensing Department, The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» (49A bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russian Federation), e-mail: avtkachenko@norao.ru.

*Martyanov Vladimir Vladimirovich*, PhD, Chief Geologist, The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» (49A bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russian Federation), e-mail: vvmartyanov@norao.ru.

*Trofimova Iuliia Vasilevna*, Chief Specialist of Service of the Chief Geologist, The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» (49A bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russian Federation), e-mail: yvtrofimova@norao.ru.

*Yakovleva Ioanna Vitalevna*, Chief Specialist of Service of the Chief Geologist, The Federal State Unitary Enterprise «National Operator for Radioactive Waste Management» (49A bld. 2, Pyatnitskaya st., Moscow, 119017, Russian Federation), e-mail: ivyakovleva@norao.ru.

### Bibliographic description

Pron I.A., Tkachenko A.V., Martyanov V.V., Trofimova I.V., Yakovleva I.V. An Approach to Monitoring of the Geosphere and Underground Engineer Barrier System of Deep Geological Injection Facilities and Some Results of Monitoring. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 42–48. (In Russian).