

УДК 621.039.7

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО,
ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук,
Rybalchenko.A.I@vniipt.ru



В. М. КУРОЧКИН,
научный сотрудник

АО «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

Представлено одно из важных направлений деятельности АО «ВНИПИпромтехнологии» с середины 1950-х годов и до настоящего времени — использование недр для размещения (захоронения) радиоактивных отходов, образующихся в виде растворов, и нерадиоактивных сточных вод предприятий атомной промышленности. В результате исследований и проектных проработок института как ведущего в этом направлении, в содружестве с институтами Академии наук, геологическими и другими проектными организациями были созданы объекты захоронения отходов предприятий атомной промышленности, обеспечена экологически безопасная эксплуатация объектов захоронения. Кратко освещены история решения проблемы, содержание выполненных работ, научные и практические результаты, направления дальнейшей деятельности.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, геологические формации, буровые скважины, нагнетание отходов, коллекторские горизонты, закачка отходов.

Введение

Использование глубоких участков недр для размещения (захоронения) отходов — это одно из новых направлений горного дела. Его начали развивать во второй половине XX столетия. Реализация опыта поисков, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых позволила создавать объекты размещения различных отходов в недрах, включая отходы в жидком виде и промышленные сточные воды.

Размещение (захоронение) жидких отходов и промстоков в глубоких горизонтах недр состоит в их нагнетании (закачке, инъекции) через глубокие буровые скважины в проницаемые (коллекторские) горизонты, изолированные от подземных вод питьевого качества. Коллекторские горизонты должны удовлетворять определенным требованиям в части изоляции отходов в выделенном участке недр (горный отвод) в течение достаточно длительных периодов времени.

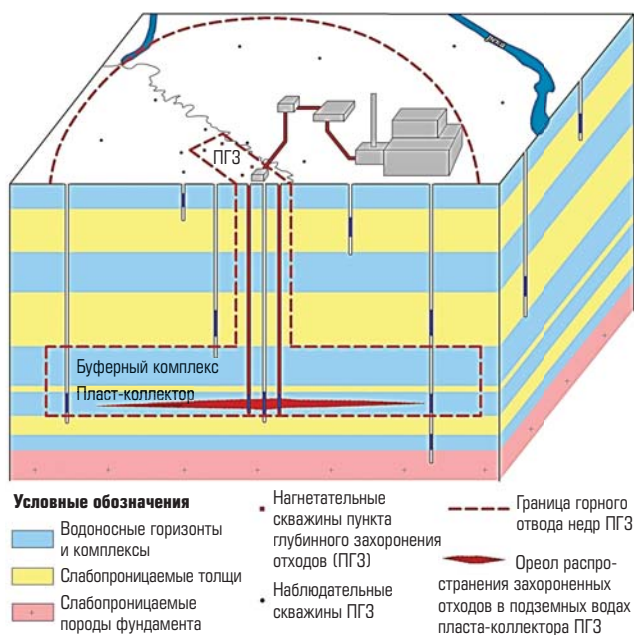
Рассматриваемый вид деятельности по обращению с отходами ранее называли захоронением, в последнее время в связи с совершенствованием нормативно-правовой базы применяют термин размещение, что больше соответствует содержанию этой деятельности. В контексте данной статьи применяют оба термина. Применительно к объектам размещения (захоронения) отходов обычно используют названия «полигон (пункт) глубинного захоронения», глубокое хранилище.

Организация работ по захоронению радиоактивных отходов

В 1950-х годах возникла проблема обращения с радиоактивными отходами, которые образовывались в больших количествах на предприятиях оборонной промышленности, накапливались в специальных сооружениях, сбрасывались на поверхность земли и в водные объекты. В результате происходило загрязнение окружающей среды, усиливалось негативное воздействие на людей, животный и растительный мир. В 1957 г. произошел взрыв емкости с радиоактивными отходами на предприятии «Маяк» на Южном Урале, что ускорило работы по обеспечению безопасности обращения с радиоактивными отходами.

По результатам рассмотрения в 1956–1957 гг. проблемы радиоактивных отходов в Министерстве среднего машиностроения и в Совете Министров СССР было принято решение о развертывании работ в двух основных направлениях: отверждение радиоактивных отходов, которые образовывались преимущественно в жидком виде, и удаление отходов (глубинное или подземное захоронение) в глубокие пористые (коллекторские) геологические горизонты через буровые скважины (см. **рисунок**). Подобные технологии применяли при разработке нефтяных месторождений, имелись примеры удаления (закачки) сточных вод в глубокие геологические горизонты.

Предложение о глубинном захоронении было поддержано Министерством геологии СССР, ведущими учеными Академии



Принципиальная схема объекта (полигона) размещения (захоронения) жидких отходов и промышленных сточных вод (промстоков)

наук. В 1957 г. был издан приказ министра среднего машиностроения СССР Е. П. Славского об организации в ГСПИ-14 (ныне АО «ВНИПИПромтехнологии») работ по исследованиям и разработке технологии захоронения жидких радиоактивных отходов.

Геологоразведочные работы по поиску и исследованию мест для захоронения отходов по заданию, подготовленному АО «ВНИПИПромтехнологии», были начаты Новосибирским территориальным геологическим управлением в конце 1957 г. в районе Сибирского химического комбината (Томская обл.).

В 1958 г. на совещании у министра среднего машиностроения Е. П. Славского были заслушаны доклады АО «ВНИПИПромтехнологии» и Академии наук СССР (академик РАН А. П. Виноградов) о научно-практических основах захоронения радиоактивных отходов в недра Земли. Распоряжением Совета Министров СССР о проведении геологоразведочных работ, научных исследований и опытных работ по захоронению жидких радиоактивных отходов были определены первоочередные предприятия для проведения испытаний: Сибирский химический комбинат (Томская обл.), Горно-химический комбинат (Красноярский край), химкомбинат «Маяк» (Челябинская обл.), а также Научно-исследовательский институт атомных реакторов (Ульяновская обл.). Распоряжением Совета Министров СССР к решению проблемы подземного захоронения были привлечены некоторые институты: Физической химии и Физики Земли АН СССР, НИИ «ВОДГЕО», МГУ им. М. В. Ломоносова и ряд других организаций.

Координационным совещанием по рассмотрению планов работ и распределению обязанностей между Министерством среднего машиностроения и Министерством геологии СССР

в 1959 г. было подтверждено, что АО «ВНИПИПромтехнологии» выполняет задачи контроля и координации всего комплекса работ, связанных с решением проблемы подземного захоронения жидких радиоактивных отходов. Все геологоразведочные работы, связанные с захоронением радиоактивных отходов, были поручены Всесоюзному гидрогеологическому тресту (Второе гидрогеологическое управление, ныне ФГБУ «Гидроспецгеология»), который в последующем выполнял все геологоразведочные работы для объектов захоронения отходов.

В 1961–1963 гг. АО «ВНИПИПромтехнологии» и другими проектными институтами Министерства среднего машиностроения на основании результатов геологоразведочных работ, исследований отходов и их взаимодействия с горными породами было выполнено проектирование объектов захоронения жидких радиоактивных отходов.

Захоронение жидких радиоактивных отходов

8 июня 1963 г. было начато захоронение жидких среднеактивных отходов Сибирского химического комбината на первом в СССР и мире экспериментальном полигоне («площадка 18а»). В последующем объекты захоронения жидких радиоактивных отходов стали называть полигонами подземного захоронения, в настоящее время они получили наименование пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО). Положительные результаты захоронения отходов на экспериментальном полигоне, выполненные наблюдения и исследования позволили подготовить исходные данные, разработать проект и ввести в 1967 г. в эксплуатацию опытно-промышленный полигон захоронения низкоактивных отходов («площадка 18»). В дальнейшем полигоны захоронения получили статус промышленных.

В 1966 г. была начата эксплуатация опытной установки по закачке жидких радиоактивных отходов в скважину Р-3 Научно-исследовательского института атомных реакторов (г. Димитровград, Ульяновская обл.), в 1967 и 1969 гг. введен в эксплуатацию полигон «Северный» (два горизонта) для захоронения низко- и среднеактивных отходов Горно-химического комбината (г. Железногорск, Красноярский край).

В результате на указанных объектах были полностью или частично прекращены сбросы радиоактивных отходов в окружающую среду. О результатах захоронения жидких радиоактивных отходов в СССР докладывали на международных конференциях, что было встречено международной общественностью с пониманием.

В районе предприятия «Маяк» в Челябинской обл. результаты геологоразведочных работ не позволили обосновать безопасность захоронения жидких радиоактивных отходов ввиду недостаточности исходных данных, полученных в процессе геологоразведочных работ, поэтому дальнейшее захоронение жидких радиоактивных отходов там не проводили.

В связи с положительным опытом захоронения жидких радиоактивных отходов на полигоне «Северный» Горно-химического комбината и началом строительства нового завода по переработке топлива АЭС были начаты геологоразведочные

работы на левобережье р. Енисей для строительства нового полигона захоронения. Получены положительные результаты, выполнено проектирование, осуществлено бурение скважин. Однако изменение планов развития атомной промышленности в 1990-х годах вынудило прекратить работы. В настоящее время разведанный участок и существующие скважины оформлены как источник резервного водоснабжения г. Красноярска.

К настоящему времени в глубоководные коллекторские горизонты – пласты-коллекторы удалено более 66 млн м³ радиоактивных отходов общей начальной активностью около 10¹⁹ Бк.

Основные результаты исследований и практических работ представлены в монографии, изданной в 1994 г. и переведенной и изданной в США в 1997 г. [1, 2]. Их докладывали на научно-практических конференциях АО «ВНИПИПромтехнологии», публиковали в «Горном журнале» и других периодических изданиях [3].

В 2007–2011 гг. были разработаны проекты реконструкции всех пунктов захоронения жидких радиоактивных отходов с целью продления проектных сроков эксплуатации. К настоящему времени проекты реализованы.

Захоронение нерадиоактивных отходов (промстоков)

Опыт обоснования, проектирования и эксплуатации полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов был использован при создании полигонов захоронения нерадиоактивных отходов предприятий атомной промышленности: Кирово-Чепецкого химкомбината (ввод в эксплуатацию в 1987 г.), Чепецкого механического завода (1992 г.), Калининской АЭС (2007 г.). Общий объем захоронения нерадиоактивных промстоков на сегодняшний день составляет около 25 млн м³. По инициативе Калининской АЭС в 2008 г. были начаты работы по расширению полигона для закачки и радиоактивных отходов, однако в связи с принятием в 2011 г. Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами...» эти работы были прекращены.

В таблице приведены сведения о захоронении радиоактивных отходов и нерадиоактивных промстоков предприятий атомной промышленности.

Опыт захоронения жидких радиоактивных отходов и промстоков предприятий атомной промышленности был использован при

создании полигонов захоронения отходов в других отраслях промышленности. По проектам, разработанным АО «ВНИПИПромтехнологии», были построены полигоны захоронения отходов предприятия «Оргстекло» в г. Дзержинске Нижегородской области, пос. Первомайский в Харьковской области.

Подготовлены обоснования для создания полигонов захоронения промстоков в районах Оренбурга, Астрахани, Волгограда, Пензы, Ярославля и других городов.

В 1992 г. АО «ВНИПИПромтехнологии» было подготовлено обоснование возможности использования глубоких горизонтов минерализованных вод на территории Москвы для добычи подземных вод и использования их на установках водоподготовки в качестве регенерационных растворов с последующим их возвратом (захоронением) в недра [4]. Предварительные геологоразведочные работы и бурение эксплуатационных скважин были выполнены ФГБУ «Гидроспецгеология». В настоящее время на нескольких ТЭЦ г. Москвы работают установки добычи и возврата в недра регенерационных вод.

Опыт сооружения, ремонта и ликвидации глубоких буровых скважин объектов захоронения отходов использовали при выполнении аналогичных работ на объектах проведения подземных мирных ядерных взрывов [5].

Возникла серьезная проблема с обезвреживанием большого количества пульпообразных радиоактивных отходов. Были выполнены исследования и разработана технология захоронения пульпообразных отходов способом гидроразрыва пласта. При проведении опытных работ при закачке имитаторов отходов с радиоактивными индикаторами в районе ПО «Маяк» и Ленинградской АЭС получены положительные результаты. Однако сложности транспортирования пульпы среднего и высокого уровня активности к месту захоронения не позволили применить эту технологию для радиоактивных пульпообразных отходов. Результаты проведенных исследований были использованы при разработке обоснования захоронения пульпообразных отходов бурения Приобского нефтяного месторождения [6]. Впоследствии компания Mi SVACO на основе этих данных разработала проект промышленной установки по захоронению, которая начала работать в 2008 г. [7].

В 2005 г. был разработан технический проект с технологической схемой и этапом опытных работ по удалению отходов бурения при освоении нефтегазовых месторождений шельфа

Объекты размещения (захоронения) жидких радиоактивных отходов и нерадиоактивных промстоков на предприятиях атомной промышленности в глубокие геологические горизонты

Предприятие	Начало захоронения, год	Вид отходов	Глубина захоронения, м
г. Димитровград, Ульяновская обл.	1966	Радиоактивные	1130–1410 1440–1550
г. Северск, Томская обл.	1963	То же	270–320 314–386
г. Железногорск, Красноярский край	1967	— >> —	180–280 355–500
«Кирово-Чепецкий химкомбинат, АО «ОХК «УРАЛХИМ»	1987	Промстоки	1260–1440
АО «Чепецкий механический завод»	1992	То же	1435–1600
Калининская атомная станция	2007	— >> —	1285–1349

о. Сахалин. Проект реализован. Исследования в этом направлении продолжаются [8].

Основные результаты научных исследований

Обоснование принципиальной возможности и безопасности захоронения жидких радиоактивных отходов на начальных этапах решения проблемы потребовало сбора и обобщения материалов по применению близких технологий в других отраслях промышленности, проведения исследований процессов захоронения радиоактивных отходов и их распространения в недрах, разработки специальных конструкций технологического оборудования. При решении практических задач по проектированию и эксплуатации полигонов проводили исследования, включающие обоснование моделей геологической среды и процессов захоронения, прогнозирование последствий захоронения, разработку методик исследований и проведение экспериментов на реальных объектах, обработку результатов наблюдений при эксплуатации полигонов захоронения, уточнение закономерностей протекающих при этом процессов. Моделирование процессов захоронения на полигонах выполняли с начала 1960-х годов методами электрогидродинамических аналогий, в дальнейшем исследования моделей и прогнозные расчеты выполняли на ЭВМ и ПК с использованием как оригинальных вычислительных программ, разработанных специалистами АО «ВНИПИпромтехнологии», так и современного программного обеспечения. Были разработаны алгоритмы и программы для расчета разогрева геологической среды в результате энерговыделения при радиоактивном распаде. Результаты прогнозных расчетов поведения отходов в недрах и характеристик протекающих процессов для коротких периодов времени (десять лет) были подтверждены в ходе фактических наблюдений.

По результатам анализа материалов контрольных наблюдений были установлены отличия фактического заполнения коллекторских горизонтов отходами от прогнозного, основывающегося на данных геологоразведочных работ. Для выяснения причин были выполнены исследования, разработаны и реализованы новые средства контроля и измерений, подтверждена безопасность захоронения. Особое внимание уделяли применению новых методов контроля процессов захоронения, состоянию пласта-коллектора и отходов, буровых скважин и другого оборудования, защите окружающей среды.

Были установлены новые особенности поведения отходов в недрах и протекающих процессов, в том числе закономерности распространения отходов при различии плотностей отходов и подземных вод [9], оценено влияние неоднородности горизонтов, подтверждена безопасность захоронения, что позволило обосновать продолжение эксплуатации полигонов более первоначально установленного проектами срока (15 лет). Совместно с Институтом физической химии РАН было обосновано захоронение новых видов отходов, не предусмотренных первоначальным проектом: высокоактивных отходов и отработавших экстрагентов. Захоронение высокоактивных отходов на Горнохимическом комбинате выполняли с 1972 г., на Сибирском химическом комбинате – с 1975 г. В связи с вводом в действие

Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами...» в 2011 г. захоронение высокоактивных отходов было прекращено.

Для получения дополнительных данных с целью оценки безопасности захоронения жидких радиоактивных отходов при продлении проектных сроков эксплуатации были разработаны проекты и выполнено бурение контрольных скважин в интервалы коллекторских горизонтов, содержащих отходы. Отобраны образцы, исследованные в Институте физической химии РАН, получены данные, подтверждающие высокие задерживающие свойства песчано-глинистых пород по отношению к радиоактивным компонентам отходов [10].

За период 1966–2008 гг. по тематике захоронения отходов были защищены восемь диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и одна диссертация на соискание ученой степени доктора наук.

Комплекс научно-исследовательских и практических работ по захоронению высокоактивных отходов, выполненных сотрудниками АО «ВНИПИпромтехнологии», ИФХ РАН, ФГБУ «Гидроспецгеология» и промышленных предприятий, в 1987 г. был отмечен премией Совета Министров СССР.

В 2013 г. в ИФХЭ РАН была проведена Всероссийская конференция «Фундаментальные аспекты безопасного захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях», на которой было представлено 23 доклада сотрудников АО «ВНИПИпромтехнологии» и различных организаций по захоронению жидких радиоактивных отходов в глубокие горизонты [10].

Результаты работ и исследований по захоронению жидких радиоактивных отходов презентовали (10 докладов) на двух международных симпозиумах по захоронению жидких токсичных отходов в глубокие горизонты («Deep well injection of toxic industrial waste»). Сообщения вызвали большой интерес у их участников [11, 12].

Выполнены четыре международных исследовательских проекта по захоронению жидких радиоактивных отходов в СССР и Российской Федерации. Результаты подтвердили эффективность и безопасность захоронения [13–16].

Разработка нормативных документов

Все работы по проектированию, строительству и эксплуатации полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов осуществляли с учетом действовавших в соответствующий период времени законодательных актов и нормативных документов. Одним из основных нормативных документов, регламентирующих все этапы создания, эксплуатации и консервации подземных хранилищ, являлись «Санитарные правила и технические условия эксплуатации и консервации глубоких хранилищ жидких радиоактивных и химических отходов предприятий ядерного топливного цикла» (СП и ТУ ЭКХ-93), которому предшествовали «Временные санитарные правила и технические условия...», разработанные в 1978 г.

В 2014–2016 гг. разработан и введен в действие пакет нормативно-методических документов по захоронению жидких радиоактивных отходов, включающий методику оценки

безопасности, правила эксплуатации и закрытия пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов [17].

Совместно с Институтом водных проблем РАН было выполнено обоснование внесения изменений в Федеральную закон «О недрах» с целью упрощения получения разрешений на размещение (захоронение) промстоков, образующихся при разработке месторождений калийно-магниевых солей и переработке рудных масс [18]. В настоящее время необходимые поправки в Федеральный закон внесены (Федеральный закон от 02.08.2019 г. № 272-ФЗ О внесении изменений в закон РФ «О недрах» и ст. 2 ФЗ «Об отходах производства и потребления»).

Заключение

Основные направления деятельности АО «ВНИПИПромтехнологии» в области захоронения (размещения) жидких радиоактивных отходов и промстоков предприятий атомной промышленности в настоящее время – это анализ и обобщение опыта эксплуатации пунктов и полигонов захоронения, результатов выполненных наблюдений и исследований с целью получения новых знаний о свойствах геологической среды и протекающих процессах. Эти сведения необходимы для обоснования продления проектных сроков эксплуатации объектов, последующего их вывода

из эксплуатации и закрытия, подготовки исходных данных для разработки обоснований и проектной документации для решения этих задач, разработки разделов проектной документации и необходимых нормативно-методических документов, оказания методической помощи при экспертизе и согласовании документации и решении вопросов социальной приемлемости.

Работы по захоронению жидких радиоактивных отходов способствовали развитию других родственных технологий. В составе профильного подразделения АО «ВНИПИПромтехнологии» по захоронению отходов по решению Министерства среднего машиностроения в 1965 г. была создана группа по исследованию технологии разработки месторождений урана способом подземного выщелачивания. В последующем на базе этой группы были созданы специализированная лаборатория, а затем проектный сектор и «Бюро комплексного проектирования и исследований подземных гидрогеотехнологий» (БКП ИПГ). В результате деятельности последнего уже к началу 1980-х годов около 40 % урана в СССР добывали способом подземного выщелачивания. Опыт исследований и разработки технологии захоронения жидких радиоактивных отходов был использован при организации в АО «ВНИПИПромтехнологии» работ по захоронению твердых и отвержденных радиоактивных отходов.

Библиографический список

1. Рыбальченко А. И., Пименов М. К., Костин П. П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994. – 256 с.
2. Rybalchenko A. I., Pimenov M. K., Kostin P. P., Balukova V. D., Nosukhin A. V. et al. Deep Injection Disposal of Liquid Radioactive Waste in Russia. – Columbus : Battelle Press, 1998. – 206 p.
3. Рыбальченко А. И., Курочкин В. М., Верещагин П. М. Практические и научные результаты, природоохранные и этические аспекты 50-летнего опыта захоронения жидких радиоактивных отходов в глубоких геологических горизонтах // Горный журнал. 2015. № 10. С. 16–20. DOI: 10.17580/gzh.2015.10.03
4. Ломакин Б. В., Дегтерев В. Н., Доможиров В. А. и др. Разработка и реализация на ТЭЦ-26 комплексной природоохранной технологии химводоподготовки и рационального использования недр // Электрические станции. 2004. № 3. С. 13–19.
5. Рыбальченко А. И., Касаткин А. В., Касаткин В. В., Ильичев В. А., Щёкотов И. В. Изоляционно-ликвидационные работы в скважинах для предотвращения загрязнения разрабатываемого Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения (Республика Саха, Якутия) техногенными радионуклидами // Проблемы и решения в экологии горного дела : тр. науч.-практ. конф. – М., 2017. С. 175–179.
6. Рыбальченко А. И., Атакулов Т. Г., Кузнецов А. Н. и др. Обращение с отходами бурения при освоении нефтегазовых месторождений в районах с особым экологическим статусом // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 3. С. 239–243.
7. Анохин В. Первый проект по закачке буровых отходов в Западной Сибири // Нефтегазовая вертикаль. 2009. № 14. С. 47–48.
8. Родионова А. Е., Рыбальченко А. И., Камнев Е. Н., Курочкин В. М. Теория и практика захоронения пульпообразных отходов разработки месторождений углеводородов и других полезных ископаемых // Проблемы и решения в экологии горного дела : тр. науч.-практ. конф. – М., 2017. С. 26–33.
9. Байдарико Е. А., Загвозкин А. Л., Рыбальченко А. И. Мониторинг захоронения промстоков в глубокие геологические горизонты, содержащие высокоминерализованные воды // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 2. С. 154–160.
10. Фундаментальные аспекты безопасного захоронения РАО в геологических формациях : Российская конф. – М.: ИД «Граница», 2013. – 158 с.
11. Tsang C.-F., Apps J. A. (Eds.). Deep Injection Disposal of Hazardous and Industrial Waste: Scientific and Engineering Aspects : First International Symposium. – California : Academic Press, 1996. – 775 p.
12. Tsang C.-F., Apps J. A. (Eds.). Underground Injection Science and Technology. – Amsterdam : Elsevier, 2005. Vol. 52. – 730 p.
13. Measurements, modelling of migration and possible radiological consequences at deep well injection sites for liquid radioactive waste in Russia : Final Report COSU-CT94-0099-UK. – European Commission, 1997.
14. Evaluation of the Radiological Impact Resulting from Injection operations in Tomsk-7 and Krasnoyarsk-26. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 1999. – 280 p.
15. Compton D. W., Novikov V., Parker F. L. Deep well injection of liquid radioactive waste at Krasnoyarsk-26. – Luxembourg : IASA, 2000. – 280 p.
16. Building Confidence in Deep Disposal: the Borehole Injection Sites at Krasnoyarsk-26 and Tomsk-7 : Final Report. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2003. – 132 p.
17. Рыбальченко А. И., Верещагин П. М., Курочкин В. М. Нормативно-правовое регулирование захоронения жидких радиоактивных отходов в глубоководных коллекторских горизонтах // Ядерная и радиационная безопасность России : тематический сб. – М., 2015. С. 41–46.
18. Венецианов Е. В., Алексеев В. Н., Кадыров О. Р., Рыбальченко А. И. Проблемы нормативно-правового регулирования захоронения высокоминерализованных сточных вод в глубоких горизонтах недр при разработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей и других полезных ископаемых // Решение экологических и технологических проблем на территории России, ближнего и дальнего зарубежья : тр. науч.-практ. конф. – М., 2019. С. 155–162. [ГЖ](#)