

УДК 621.039.762

## ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 50-ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

П.М. ВЕРЕЩАГИН<sup>1</sup>,  
В.М. Курочкин<sup>1</sup>, А.В. Понизов<sup>2</sup>,  
А.И. Рыбальченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ,

<sup>2</sup>ФБУ «НТЦ ЯРБ»

Приводится ретроспективный анализ истории формирования представлений о свойствах и закономерностях протекания процессов в геологической среде, возникающих при захоронении различных отходов в виде растворов, оформления этих представлений в виде научно-практических основ технологии захоронения. Рассмотрены практические результаты захоронения жидких радиоактивных отходов и нерадиоактивных промстоков предприятий атомной промышленности, новые знания, полученные в результате практического опыта, их использование при выработке нормативно-правовых требований по пользованию недрами в области захоронения (размещения) отходов. Обсуждаются проблемы захоронения жидких радиоактивных отходов в связи с планируемым закрытием пунктов захоронения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** жидкие радиоактивные отходы, глубокие геологические формации, глубинное захоронение, мониторинг недр и скважин.

Захоронение жидких радиоактивных отходов атомной промышленности в Российской Федерации осуществляется более 50 лет, нерадиоактивных промстоков несколько менее. Накоплен опыт и знания, которые помогают осветить некоторые вопросы идеологии недропользования применительно к обращению с отходами.

Основная идея размещения или захоронения отходов в геологической среде – создание в недрах рукотворных объектов, аналогичных месторождениям полезных ископаемых в части их изоляции в ограни-

IDEOLOGY, PRACTICAL AND SCIENTIFIC  
RESULTS OF 50 YEARS OF EXPERIENCE  
THE DEEP WELL INJECTION OF LIQUID  
RADIOACTIVE WASTE AND  
NON-RADIOACTIVE WASTE  
OF NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES

P.M. VERESHCHAGIN, V.M. KUROCHKIN,  
A.V. PONIZOV, A.I. RYBALCHENKO

Provides a retrospective analysis of the history of ideas about the properties and regularities of percolation processes in geological Wednesday in connection with the disposal of different wastes in the form of solutions, registration of these submissions in the form of scientific and practical bases of technology of burial. Practical results of the dumping of liquid radioactive waste and non-radioactive waste Atomic industry, new knowledge gained from practical experience with its use in the formulation of legal requirements on use of mineral resources in the area of burial (placement) of waste. Discussed further problems dumping of liquid radioactive waste in connection with the planned closure of burial.

**KEYWORDS:** liquid radioactive waste, deep geological formations, deep well injection, interior and wells monitoring.

ченных объемах геологической среды и сохранения в недрах в течение длительных периодов времени. Создавая такие объекты, мы пытаемся повторить природные процессы образования скоплений веществ в геологической среде. Полезные ископаемые в месторождениях по агрегатному состоянию бывают трех видов: твердые, жидкие и газообразные, поэтому и захоронение отходов может рассматриваться в этих трех видах. В данном докладе рассматривается захоронение жидких отходов, включая радиоактивные.

### **ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Размещение ниже поверхности земли отходов жизнедеятельности, производства и потребления, способных оказывать негативное воздействие на человека и его окружение – это традиционный способ обращения с отходами и также традиционно называется захоронением. Применение подобной практики для значительных объемов отходов, таких как отходы переработки полезных ископаемых, различных отраслей промышленности требовало значительных затрат, поэтому общепринятой практикой до начала и первой половины XX столетия являлось накопление отходов на поверхности в виде отвалов, прудов, шламо- и водохранилищ, непосредственный сброс отходов в поверхностные водотоки и водоемы.

Интенсивный рост народонаселения, вовлечение в хозяйственный оборот новых земель потребовал более экономного использования земной поверхности и взоры промышленников обратились на недра. В Германии и в США в 20-х годах XX века начали закачивать через скважины сточные воды химических производств и образующихся при разработке нефтяных месторождений [5, 23].

Наибольшее развитие эта технология получила в США, где к настоящему времени имеется несколько сот скважин для закачки отходов [25]. Захоронение жидких радиоактивных отходов осуществлялось на национальной станции испытания реакторов в Айдахо и в Ок-Ридже, в последнем случае оно окончилось неудачей, в определенной степени скомпрометировавшей эту технологию обращения с радиоактивными отходами. Технология закачки отходов в США носит название глубокой инъекции (deep injection, deep well injection) и не эквивалентно понятию захоронение (burial), которое применялось для обращения с радиоактивными отходами на ряде предприятий США [22].

Широкое распространение глубокой закачки промстоков в США и опасения загрязнения пресных подземных вод заставили правительство США принять меры по регулированию закачки путем создания правовых документов по защите питьевых вод от загрязнения, программ контроля глубокой закачки, который должен осуществляться государством [12]. Основными объектами контроля являлись горизонты питьевых вод, залегающие выше используемых для закачки, в то время как на состояние последних обращалось меньше внимание, как не представляющих интереса для возможного использования.

Предложение об использовании глубоких горизонтов в геологической среде для удаления жидких радиоактивных отходов, образующихся в больших объемах на предприятиях атомной промышленности СССР, выполнявших оборонные задачи, было представлено в конце 50-х - начале 60-х годов в связи с

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

явной опасностью сброса отходов на поверхность земли, в поверхностные водоемы, хранения отходов в поверхностных открытых бассейнах-хранилищах и в специальных сооружениях [17]. Принятое в то время генеральное направление обращения с радиоактивными отходами (их перевод в твердые формы) требовало значительных затрат времени и средств, решения сложных технологических и конструктивных проблем.

Закачка радиоактивных отходов имела свою специфику в связи с большой потенциальной опасностью радиоактивных отходов, которая медленно уменьшается с течением времени, содержанием в отходах соединений, способных при контакте с геологической средой коагмулировать ее поровое пространство, возможной миграцией компонентов отходов в опасных концентрациях на значительные расстояния. На начальных этапах решения проблемы учитывался опыт США в обращении с радиоактивными отходами, прежде всего, в атомных центрах в Ок-Ридже, Хэнфорде и других, где осуществлялось собственно захоронение («закапывание») в канавах, ямах ниже поверхности земли, сбросы в поглощающие колодцы. Поэтому разрабатываемую технологию размещения (удаления) жидких отходов в глубокие геологические горизонты и в СССР стали называть «подземным захоронением», что не соответствовало содержанию этой деятельности. В настоящее время эта деятельность обозначается как глубинное захоронение, в том числе в нормативно-правовых документах. Предложения об обозначении этой технологии как «размещение» жидких отходов и сточных вод в глубоких горизонтах в целях создания более благоприятного имиджа до последнего времени не получало необходимой поддержки, однако в Правилах охраны подземных водных объектов, утвержденных постановлением правительства РФ, применяется термин «размещение» [13].

### **НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ ОТХОДОВ**

В основе технологии глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов лежит использование естественных изолирующих свойств геологической среды, благодаря которым обеспечивается изоляция отходов от среды непосредственного обитания на длительные периоды времени, достаточные для распада радионуклидов – компонентов отходов до безопасных концентраций. Изолирующие свойства геологической среды проявляются в образовании и сохранении в течение миллионов лет различных месторождений полезных ископаемых: жидких и газообразных углеводородов, природных радиоактивных элементов. Подобными свойствами обладают далеко не все геологические формации, поэтому месторождения полезных ископаемых сравнительно редки и с трудом обнаруживаются при целенаправленных поисках.

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Геологам были известны условия возникновения месторождений полезных ископаемых и их сохранения в течение геологических масштабов времени, в том числе залежей пластовых жидкостей, отличных по своему составу и свойствам от окружающих их подземных вод. Необходимо было с этой точки зрения оценить возможность захоронения отходов в районе действующих предприятий атомной промышленности.

Были сформулированы общие требования к геологическим формациям, которые могли бы быть использованы для захоронения жидких отходов: должны иметься пластообразные залежи (горизонты) горных пород, обладающих естественной пустотностью (пористостью), заполненной подземными водами, которые могут перемещаться под влиянием градиента давления и замещаться жидкостями, закачиваемыми через скважины. Горизонты, пригодные для захоронения отходов (коллекторские горизонты или пласты-коллекторы), должны быть изолированы от верхних горизонтов подземных вод слабопроницаемыми горизонтами, обладающими водоупорными свойствами. Естественные скорости движения подземных вод в коллекторских горизонтах должны быть достаточно малы, чтобы за время движения захороненных отходов до областей взаимосвязи с поверхностными водами (областей разгрузки) произошел естественный распад радиоактивных веществ – компонентов отходов до безопасных уровней.

Имелись и противоположные точки зрения относительно использования геологической среды какместилища отходов, основанные на упрощенных представлениях: закономерности движения подземных вод в глубоких горизонтах принимались аналогичными поверхностным водотокам без учета временного фактора и процессов взаимодействия растворенных веществ с горными породами. Высказывались опасения, что изменения напряженного состояния геологической среды в результате закачки отходов могут вызвать землетрясения [9].

Имелся также негативный опыт по закачке радиоактивных пульп и шламов в слабопроницаемые породы в Ок-Ридже (США) с применением технологии гидроразрыва пласта в 50–60 х годах [26]. Многократное использование скважины для закачки отходов на глубину ~330 м при высоких давлениях, способных образовывать трещины в горных породах, приводило к распространению отходов в вертикальном направлении вдоль стволов скважин до поверхности. Этот эпизод упоминается и до настоящего времени оппонентами при критике захоронения жидких радиоактивных отходов в глубокие коллекторские горизонты.

**РАЗВИТИЕ РАБОТ ПО ЗАХОРОНЕНИЮ  
ЖИДКИХ ОТХОДОВ В СССР**

Исследования по решению задачи захоронения жидких радиоактивных отходов были начаты в двух

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

направлениях: во-первых, это проведение геологических изысканий в районе действующих предприятий атомной промышленности, на которых образовывались значительные объемы жидких радиоактивных отходов и, во-вторых, сбор материалов и анализ геологического строения всей территории СССР для выделения благоприятных районов для захоронения.

В результате работ по первому направлению было установлено, что из четырех предприятий «априори» благоприятными геологическими условиями обладает только одно: Научно-исследовательский институт атомных реакторов в г. Димитровграде (Ульяновская область). Геологический разрез представлен мощной толщей преимущественно карбонатных отложений (известняки), проницаемые пористые горизонты изолированы от пресных подземных вод зоны активного водообмена слоями глин и известняков толщиной несколько сот метров и содержат высокоминерализованные воды, относятся к зоне застойного режима. Скорости естественного движения подземных вод характеризуются значениями не более первых см/год. В последние годы было также установлено, что подземные воды эксплуатируемых горизонтов обладают естественной радиоактивностью в основном за счет содержания калия-40 и радия-226: удельная суммарная радиоактивность подземных вод в десятки раз выше предельной для питьевых вод. В районе имелись нефтяные залежи, в том числе в горизонтах, выбранных для размещения отходов, образовавшиеся миллионы лет назад и сохранившиеся до наших дней.

Для трех остальных объектов – предприятие «Маяк» (Озерск, Челябинская область), Сибирский химический комбинат (Северск, Томская область), Горно-химический комбинат (Железногорск, Красноярский край) применение глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов было проблематичным: проницаемые горизонты содержали практически пресные воды, что свидетельствовало о возможной взаимосвязи подземных и поверхностных вод и их относительно активном гидродинамическом режиме, на участке предприятия «Маяк» в разрезе отсутствовали четко выраженные слои слабопроницаемых пород – водоупоров, изолирующих глубокие горизонты от поверхности.

Однако анализ геологического строения и гидрогеологических условий участков в Томской области и в Красноярском крае показал, что в подобных условиях при закачке (нагнетании) отходов в песчано-глинистые горизонты в них могут формироваться области локализации радиоактивных элементов, изолированные от поверхности и первых от поверхности водоносных горизонтов. Имеются природные аналоги – гидрогенные месторождения урана, образовавшиеся в песчано-глинистых горизонтах с пресными водами [2].

Были проведены геологоразведочные работы, выделены перспективные (коллекторские) песчано-

глинистые горизонты, определены их фильтрационно-емкостные свойства, установлена возможность нагнетания в них подготовленных отходов через скважины, определены характеристики естественного движения подземных вод, под влиянием которого будет происходить миграция отходов, оценены изолирующие свойства слабопроницаемых горизонтов, залегающих выше перспективных для закачки отходов и отделяющих их от поверхности.

Проведенные расчеты показали, что отходы будут локализованы в пределах ограниченного участка недр вне областей возможной взаимосвязи выбранных горизонтов с неглубокими горизонтами и с поверхностными водами как минимум 900 лет, что считалось достаточным для распада большей части радиоактивных нуклидов отходов с периодом полураспада до 30 лет.

На Сибирском химическом комбинате в настоящее время пункте глубинного захоронения «площадки 18 и 18а» филиала «Северский» ФГУП «НО РАО», было выбрано два участка недр: «площадка 18а» с интервалами закачки отходов в центральной части на глубинах 314–341 м, и «площадка 18» с интервалами закачки 270–320 м и 349–386 м [2].

На Горно-химическом комбинате в настоящее время пункте глубинного захоронения «полигон «Северный» филиала «Железногорский» ФГУП «НО РАО» было выбрано два горизонта с интервалами закачки в центральной части: II горизонт – 180–280 м, I горизонт – 355–500 м [18].

Горизонты, залегающие на меньших глубинах, предназначались для захоронения низкоактивных отходов, нижние горизонты также и для среднеактивных отходов.

На участке Научно-исследовательского института атомных реакторов были выделены два перспективных горизонта, залегающих в интервалах глубин 1130–1410 м и 1440–1550 м и содержащие высокоминерализованные воды. Горизонты минерализованных вод отделены от неглубокозалегающих горизонтов пресных вод мощной толщей водоупорных пород в интервале глубин 150–450 м [18].

Для предприятия «Маяк» не удалось получить информацию, необходимую и достаточную для обоснования возможности захоронения жидких радиоактивных отходов, однако последующие исследования на действующих объектах показали, что причина этого не столько в неблагоприятных геологических условиях, сколько в ошибках, допущенных при проведении геологоразведочных работ, о чем свидетельствуют результаты работ ФГУПП «Гидроспецгеология» по обоснованию возможности захоронения жидких отходов в районе предприятия Маяк, выполненные в 2002–2012 гг. [3].

Предложения о создании объектов размещения отходов на предприятиях в Томской области и в Красноярском крае не получали единогласной поддержки,

т. к. представления о свойствах горных пород и гидрогеологических условиях горизонтов зоны активного водообмена основывались на опыте создания и эксплуатации водозаборов подземных вод, где вопросы распространения различных веществ в подземных водах не рассматривались. Высказывались мнения о существовании «подземных рек», якобы аналогичных поверхностным водотокам и способных вынести все отходы на поверхность.

Тем не менее первое экспериментальное захоронение жидких радиоактивных отходов было осуществлено в 1963 г. на Сибирском химическом комбинате, полученные результаты подтвердили принципиальную возможность захоронения отходов в песчано-глинистые горизонты, содержащие пресные воды. В 1966 г. была начата эксплуатации опытной установки в Научно-исследовательском институте атомных реакторов в Димитровграде, в 1967 г. начато промышленное захоронение отходов Горно-химического комбината в Железногорске [18].

Ввиду ограниченного периода времени, отпущенного на проведение исследований и изысканий до начала захоронения, было много неясностей применения технологии закачки отходов в глубокие горизонты, поэтому проектные решения приходилось разрабатывать с применением инженерного коэффициента запаса (т.е. с учетом неопределенностей) и предусматривать проведение натурных исследований с созданием экспериментальных участков (полигонов), затем опытных и опытно-промышленных полигонов. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов неоднократно подвергалось жесткой критике организациями, конкурирующими в области разработки технологий обращения с отходами, и природоохранными организациями. Это потребовало проведения исследований для доказательства безопасности и обеспечения социальной приемлемости данной технологии обращения с отходами. Проводились исследования и в период эксплуатации пунктов захоронения с целью уточнения свойств геологической среды и особенностей протекания в ней гидрогеологических, физико-химических и микробиологических процессов. Проводились необходимые эксперименты и опытные работы, выполнялись прогнозные расчеты.

Период эксплуатации создаваемых установок – пунктов глубинного захоронения был установлен не более 15 лет, после чего предполагался переход на отверждение отходов, однако в последующем потребовалось неоднократно продлевать сроки эксплуатации пунктов захоронения. При подготовке исходных данных для разработки обоснований продления проектного срока, при обосновании безопасности продолжения эксплуатации использовались результаты исследований условий и результатов захоронения. Проводились специальные исследования и проработки для захоронения новых видов отходов, не пред-

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

усмотренных первоначальными проектами.

Положительный опыт создания и эксплуатации пунктов глубинного захоронения позволил продолжить работу по определению районов СССР, геолого-гидрогеологические условия строения которых благоприятны для глубинного захоронения жидких отходов и промстоков. В 1970 г. была разработана прогнозная карта гидрогеологических условий захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные комплексы масштаба 1:25 000 000, которая в 1999 г. была актуализирована [14].

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Основной практический результат захоронения жидких радиоактивных отходов – изоляция свыше 65 млн м<sup>3</sup> опасных отходов общей активностью ~10<sup>19</sup> Бк от среды непосредственного обитания человека и животных в глубоких геологических горизонтах в границах горных отводов недр, специально выделенных для этих целей. Захороненные отходы, находящиеся на глубинах нескольких сот и более метров, не воздействуют на объекты окружающей среды. Благодаря природным свойствам геологических образований удерживать в ограниченных объемах пластовые жидкости и растворенные в них соединения, естественной закрытости геологических структур и низких скоростей естественного движения подземных вод, локализация компонентов отходов будет обеспечиваться достаточно длительный период времени, в течение которого отходы должны утратить свои токсичные свойства. Это подтверждается результатами прогнозных расчетов, выполненных на различных стадиях создания и эксплуатации полигонов захоронения.

Практическая значимость технологии захоронения жидких радиоактивных отходов может быть охарактеризована сопоставлением данных о захоронении отходов Сибирского и Горно-химического комбинатов с последствиями обращения с отходами на предприятии «Маяк», где глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов не применялось. В качестве основного способа обращения с жидкими средне- и низкоактивными отходами предприятия «Маяк» применялся их сброс в поверхностные промышленные водоемы (6 водоемов), образованные на месте природных водоемов и русел водотоков. Высокоактивные отходы хранились в емкостях и направлялись на установку остеклования. Общая площадь зеркала водоемов составляет несколько десятков кв. км, с которой происходит аэрозольный унос с зеркала водоемов компонентов отходов. В окружении этих водоемов загрязняется поверхность земли, также радиоактивные нуклиды поступают в реку Теча [8]. В то же время на Горно-химическом комбинате, где применяется глубинное захоронение жидких РАО,

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

площадь зеркала бассейнов хранилищ не превышает 1 км<sup>2</sup>, высокоактивные отходы в емкостях практически не хранятся, так как были закачаны в недра через специально оборудованные нагнетательные скважины пункта глубинного захоронения. На Сибирском химическом комбинате наиболее опасные бассейны-хранилища среднеактивных отходов, благодаря глубинному захоронению их жидкой части, выведены из эксплуатации и один из них законсервирован (закрыт грунтом), другие бассейны находятся в стадии закрытия. Открытые хранилища общей площадью до 3 км<sup>2</sup> содержат низкоактивные и очень низкоактивные отходы и образовались до применения технологии глубинного захоронения.

Практическая значимость работ по глубинному захоронению жидких РАО состоит также в использовании опыта захоронения радиоактивных отходов при обосновании, проектировании и строительстве аналогичных технологических установок (полигонов) для захоронения отходов, удельные содержания радиоактивных элементов в которых ниже отнесения их к радиоактивным отходам, и нерадиоактивных отходов (промстоков). К первым относятся полигоны глубинного захоронения производственных стоков Чепецкого механического завода (г. Глазов, Удмуртская республика) и Калининской АЭС (г. Удомля, Тверской обл.), ко вторым – полигон захоронения промстоков Кирово-Чепецкого химкомбината (Кировская область).

На предприятиях в Глазове и Кирово-Чепецке нерадиоактивные промстоки накапливались в хвостохранилищах и периодически сбрасывались в реки Чепца и Вятка. В результате фильтрации через дно хвостохранилищ загрязнялись грунтовые воды, разгружающиеся в реки. После начала захоронения в глубокие геологические горизонты, содержащие высокоминерализованные воды, которые являются более токсичными по сравнению с промстоками, и залегающие в интервалах глубин соответственно 1435–1600 м и 1260–1440 м, сбросы отходов в водотоки прекратились, а загрязнение грунтовых вод существенно уменьшилось.

На Калининской атомной станции в интервалы глубин 1285–1349 м удаляются сточные воды установок водоподготовки и тритиевые дебалансные воды. До ввода полигона захоронения в эксплуатацию в 2007 г. указанные стоки сбрасывались в водоем-охладитель – озеро Удомля. Озеро является замкнутым водоемом и невозможно выполнять его «продувку» – сбросы в водные объекты окружающей среды, как это осуществляется, например, на Балаковской и Ростовской АЭС, где засоленные и содержащие тритий воды водоемов-охладителей периодически сбрасываются соответственно в Саратовское и Цимлянское водохранилища. В результате сбросов указанных растворов в озеро Удомля происходило увеличение со-

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

держания трития и солей жесткости, что затрудняло поддержание необходимого водного режима Калининской АЭС. Применение глубинного захоронения решило эту проблему [15].

На основании положительного опыта эксплуатации полигона Калининская АЭС и Росэнергоатом выдвинули предложение о захоронении также и радиоактивных отходов, объем которых составляет около 5% от объема захораниваемых нерадиоактивных промстоков. Был разработан проект реконструкции данного полигона, который не был реализован в связи с вводом в действие Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами...», согласно которому захоронение жидких радиоактивных отходов допускается только на действующих пунктах глубинного захоронения. Вместе с тем, в постановлении правительства от 11.02.2016 № 94 допускается возможность захоронения жидких радиоактивных отходов в горизонты высокоминерализованных вод.

В проекте Федерального закона об обращении с радиоактивными отходами, подготовленном в ГК «Росатом», подобные ограничения отсутствовали, однако были внесены при рассмотрении в Государственной думе РФ.

Краткая характеристика практического опыта захоронения отходов приводится в табл. 1.

В 2013 г. МАГАТЭ была проведена экспертиза технологии глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов на предмет оценки ее соответствия международным требованиям экологической безопасности. Однако материалов, представленных на экспертизу организацией, которая никогда ранее не занималась проблемами данной технологии в нашей стране (ФГБУН «ИБРАЭ РАН»), оказалось недостаточно, и окончательное заключение сделано не было [24].

Опыт глубинного захоронения радиоактивных отходов был также использован при создании аналогичных полигонов для предприятий других отраслей промышленности в Дзержинске Нижегородской области, Волжском Волгоградской области и ряде других. На ТЭЦ-32 г. Москвы по проекту АО «ВНИПИПромтехнологии» была построена установка добычи-возврата недр природных вод, использованных в качестве регенерационных растворов [7].

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ  
ОТХОДОВ И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ**

При экспериментальном, затем опытным и промышленном захоронении радиоактивных отходов первой задачей исследований являлась проверка адекватности представлений, использованных при обосновании и создании пунктов захоронения (о строении и свойствах геологической среды участков

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

захоронения, протекающих процессах) реальной природно-технической системе, исходя из фактических данных, полученным в ходе наблюдений на начальных этапах захоронения (этапе опытно-промышленной эксплуатации). Наблюдения выполнялись с помощью специально предусмотренных для этих целей наблюдательных скважин и включали три основных вида: гидродинамические наблюдения, отборы проб подземных вод на различные виды анализа с помощью скважинных пробоотборников и на изливе при откачках воды, геофизические измерения. Присутствие в отходах радиоактивных элементов, которые являлись индикаторами отходов и могли обнаруживаться в малых концентрациях в пробах подземных вод и непосредственно в породах в условиях их естественного залегания, позволили установить ряд важных особенностей строения геологической среды и закономерностей распространения отходов.

Было обнаружено преимущественное заполнение отходами отдельных наиболее проницаемых слоев. В результате суммарная толщина (рабочая или эффективная мощность) слоев (пропластков) коллекторских горизонтов оказалась существенно ниже, чем предполагалось по данным геологоразведочных работ. Этот факт был относительно новым и многие ведущие гидрогеологи, работающие в области разведки и эксплуатации водозаборов подземных вод, подвергали сомнению реальность подобных явлений. Одновременно этот факт был настораживающим, поскольку обуславливал распространение отходов больше прогнозного. Однако действующая (эффективная) пористость проницаемых слоев оказалась выше прогнозной, интенсивно проявлялись сорбционные и диффузионные процессы, что имело обратный эффект и частично компенсировало сокращение рабочей мощности [19].

Была установлена зависимость рабочей мощности коллекторских горизонтов пунктов захоронения в Железногорске, сложенных песчано-глинистыми породами, от давления нагнетания отходов. При давлениях на уровне гидроразрыва пласта и выше рабочая мощность сокращалась, и отходы распространялись на значительные расстояния. Максимальные давления нагнетания отходов были ограничены.

В результате закачки отходов в коллекторских горизонтах образуются области распространения отходов (ореолы рассеяния компонентов отходов в горных породах и подземных водах), которые оконтуриваются по изолиниям концентраций компонентов-индикаторов отходов в подземных водах и/или других показателей на уровне порога чувствительности их определения и/или фонового содержания, а также предельно допустимых концентраций в пресных водах питьевого качества. Результаты многолетних анализов проб подземных вод, отбираемых из скважин пунктов захоронения в Северске и в Железногорске, позво-

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

лили установить высокие задерживающие свойства пород по отношению к большинству радиоактивных элементов – компонентов отходов, что обеспечивало локализацию отходов в центральных частях пунктов захоронения. В краевых частях области распространения отходов, на контуре отходов фиксируются в основном тритий (период полураспада 12,3 года) и рутений – 106 (период полураспада 1 год). Долгоживущие радионуклиды в краевых частях ореолов рассеяния отходов находятся в коллоидной форме, в которой они эффективно задерживаются глинистыми породами слабопроницаемых горизонтов, залегающих выше коллекторских, и таким образом характеризуются существенно ограниченным вертикальным распространением отходов вверх по разрезу, по направлению к дневной поверхности земли [16].

Высокие изолирующие свойства слабопроницаемых горизонтов (водупоров), залегающих выше коллекторских, и отсутствие гидравлической взаимосвязи пласта-коллектора отходов со смежным по разрезу буферным горизонтом и вышележащими, были подтверждены данными наблюдений за уровнями подземных вод в разных водоносных горизонтах, залегающих выше коллекторских, в области развития купола репрессии в коллекторском горизонте – области наибольшего изменения пластового давления в результате нагнетания отходов. По проекту ВНИПИ-промтехнологии на пункте захоронения в Северске были пробурены скважины со вскрытием горизонтов в области распространения отходов. Образцы пород отбирались также из интервалов слабопроницаемых пород, залегающих над «кровлей» коллекторского горизонта. Было установлено, что миграция компонентов отходов за период почти 50 лет для короткоживущих радионуклидов, не задерживаемых породами, характеризуется значениями первых метров, а для сорбируемых нуклидов, в том числе долгоживущих, первыми десятками сантиметров. Это объяснялось преобладанием кондуктивного массопереноса (диффузия) над конвективным (фильтрация), а также вследствие возможного проявления начального градиента фильтрации в глинах [4].

Были выполнены исследования изменений напряженного состояния геологической среды вследствие закачки отходов на пункте захоронения в Железногорске, на участке которого в области влияния закачки имеется тектоническая структура – Правобережное тектоническое нарушение. Исследования выполнялись Институтом физики земли РАН и включали создание системы постоянных сейсмических наблюдений и выполнение наблюдений в режиме реального времени, высокоточные геодезические наблюдения. Техногенных источников сейсмической активности выявлено не было, на уровне порога чувствительности отмечено изменение положения поверхности земли вблизи нагнетательной скважины, при нагнетании от-

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ходов во II (верхний) горизонт пункта глубинного захоронения [20].

Большой комплекс исследований пришлось выполнить при обосновании безопасности и разработке технологии захоронения высокоактивных отходов, которые отличались от ранее захораниваемых отходов высокими концентрациями солей и радиоактивных элементов, в том числе ядерно-опасных, способностью отходов разогреваться до нескольких сот градусов. Были изучены процессы взаимодействия отходов с горными породами и определен состав отходов, при которых накопление радионуклидов в породах будет минимальным, проведены расчеты разогрева пород и газообразования в коллекторских горизонтах, обоснованы режимы периодической порционной закачки. Результаты опытного и опытно-промышленного захоронения таких отходов, выполненные наблюдения подтвердили правильность принятых технологических решений. Разогрев коллекторского горизонта достигал 180° С, что в 1,5–2 раза (в зависимости от глубины) ниже температуры парообразования в пластовых условиях. После прекращения захоронения наблюдалась стабилизация и затем снижение температуры. Захоронение высокоактивных отходов выполнялось в Железногорске с 1972 г. и в Северске с 1975 г. вплоть до 2011 года [21]. В 1987 г. творческому коллективу сотрудников ВНИПИпромтехнологии, ИФХЭ РАН, ФГУП «Гидроспецгеология», производственных предприятий была присуждена премия Совета Министров СССР за проведение исследований, разработку и внедрение технологии захоронения высокоактивных отходов.

Были выполнены исследования возможности закачки ограниченных объемов пульпообразных отходов с использованием технологии гидроразрыва пласта [11]. При проведении последующих работ было установлено, что процесс образования трещин гидроразрыва контролируется соотношением компонент горного давления: литостатического и бокового распора, и при закачке пульпы в режиме гидроразрыва на глубины нескольких сотен метров приводит к ухудшению затрубной цементации нагнетательных скважин и возникновению затрубных перетоков.

На предприятии в Димитровграде захоронение жидких радиоактивных отходов первоначально (в опытно-промышленном режиме) осуществлялось в коллекторский горизонт, сложенный песчано-глинистыми породами (III проницаемая зона, интервал глубин 1430–1550 м). Было установлено интенсивное снижение поглощающей способности скважин в результате ухудшения (по причине кольматации) фильтрационно-емкостных свойств пласта и прифилтровой зоны нагнетательных скважин, не позволявшее выполнять захоронение отходов в регламентном режиме. Было также предположено, что нагнетание отходов с низким содержанием солей в горизонты высо-

коминерализованных вод приводит к «разбуханию» глинистых минералов и снижению открытой пористости горных пород песчано-глинистого состава. Но в дальнейшем эта гипотеза не подтвердилась, так как выполненные в ходе специальных исследований нагнетания высокоминерализованных вод показали по-прежнему низкую приемистость скважин. После завершения строительства основного комплекса поверхностных сооружений захоронение отходов производится преимущественно в вышележащий горизонт в интервале глубин 1120–1410 м, сложенный карбонатными породами, которые обладают достаточно высокой для размещения отходов естественной пустотностью в связи с наличием пор, трещин, каверн и более крупных карстовых пустот. На данном объекте также были выполнены работы по удалению в недра пульпообразных отходов после предварительной их подготовки, которые накапливались на дне емкостей-накопителей ЖРО и представляли опасность для окружающей среды.

По данным мониторинга состояния недр было установлено, что отходы поглощаются преимущественно трещинными зонами малой мощности (толщины), то есть, что эксплуатируемые горизонты одновременно проявляют и коллекторские и изолирующие (флюидоупорные) свойства. Площадь области распространения компонентов отходов оказалась значительно больше, чем прогнозировалась по результатам геологоразведочных работ. Но при этом, содержания компонентов отходов на контуре этой области и большей ее части оказались существенно меньше прогнозных. Наблюдаемое резко неравномерное рассеяние компонентов отходов в плане и разрезе объясняется существенной фильтрационной (плановой и профильной) неоднородностью пласта и интенсивным протеканием при захоронении легких по плотности отходов в горизонты высокоминерализованных подземных вод ряда физико-химических процессов (сорбции, плотностной конвекции и других). Выявленные особенности распространения отходов не снизили безопасность захоронения в целом вследствие изолированности коллекторских горизонтов от поверхности и удаленности возможных областей разгрузки – сотни километров, однако обусловили необходимость увеличения границ горного отвода недр. Последнее обстоятельство указывает на то, что размер горного отвода недр на подобных участках следует устанавливать равным не менее 10 км. Кроме этого, на данном пункте накоплен уникальный 30-летний опыт постэксплуатационного режима, подтвердивший, что после прекращения захоронения жидких РАО радиоактивность горных пород и подземных вод в области рассеяния компонентов отходов в эксплуатировавшемся горизонте интенсивно снижается и что постинжекционный мониторинг на большей части горного отвода недр может продолжаться не более 50 лет.

На начальном этапе эксплуатации полигона захоронения промстоков Калининской АЭС в коллекторский горизонт, залегающий в интервале глубин 1285–1349 м и представленный песчано-глинистыми породами, отмечалось быстрое падение приемистости нагнетательных скважин. В результате исследований составов отходов было установлено, что это связано с присутствием в отходах соединений железа, образующих слаборастворимые соединения. Для предотвращения этого явления были изменены технология и технологическая схема подготовки отходов, благодаря чему стало возможным закачивать отходы в слабокислой среде, обеспечивающей стабилизацию соединений железа в растворе.

Исследование состава и свойств промстоков Кирово-Чепецкого комбината и происходящих в скважинах и недрах процессов позволило установить причины кольматации фильтров скважин и коллекторского горизонта (интервал глубин 1260–1440 м) – образование в отходах завода полимеров грибоподобных биомасс при предварительном хранении отходов пред захоронением. Изменение технологии подготовки и предварительного хранения отходов позволило предотвращать подобные явления.

При проведении контрольных наблюдений в скважинах полигонов захоронения в Глазове и Удомле в интервалах глубин 1360–1600 м (Глазов) и 1285–1349 м (Удомля) было обращено внимание на, казалось бы, незакономерное явление: формирование и сохранение в фильтровых зонах наблюдательных скважин пластовой жидкости, плотность которой в результате смешения с отходами ниже, чем природных пластовых водах выше по стволу скважины. По общепринятым представлениям более легкая по плотности жидкость в пористом горизонте и тем более в стволе скважины, находящаяся ниже более плотной жидкости, должна была бы всплывать (гравитационная дифференциация) и смешиваться с плотной жидкостью, что означало ухудшение условий локализации (в том числе изоляции) более легких отходов в коллекторском горизонте. В действительности никакого «всплытия» обнаружено не было, а размыв границы между легкой и плотной жидкостью в скважине происходил только вследствие (турбулентной) диффузии и незначительного влияния спуско-подъемных операций при отборе проб воды и выполнении геофизических исследований скважин.

Это явление способствует изоляции в глубоких горизонтах отходов, плотность которых меньше плотности высокоминерализованных природных вод, а также указывает на возможное недооценивание роли турбулентной диффузии в глубокозалегающих водоносных горизонтах на участках захоронения отходов [1].

Была установлена повышенная естественная радиоактивность высокоминерализованных вод глубоких

ТАБЛИЦА 1.

Общая характеристика практических и научных результатов применения технологии глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов и промстоков

Объект, год начала захоронения	Глубины нагнетания, м	Состав пород используемого горизонта	Вид отходов.	Основные практические результаты	Основные научные результаты
Пункт глубинного захоронения «площадки 18, 18а», г. Северск, 1963	270–320 314–386	Пески, песчаники	ЖРО	Удалено 55 млн м <sup>3</sup> ЖРО, прекращение сбросов ЖРО в окружающую среду, отказ от сооружения поверхностных водоемов	Подтверждена высокая изолирующая способность горизонтов глин, залегающих выше коллекторских горизонтов, установлена роль коллоидных форм в миграции компонентов ЖРО
Пункт глубинного захоронения «Опытно-промышленный полигон», г. Димитровград, 1966	1130–1410 1440–1550	Известняки Песчаники	ЖРО	Удалено 3,4 млн м <sup>3</sup> ЖРО, прекращение сбросов ЖРО в окружающую среду, отказ от сооружения установок по отверждению и хранению ТРО	Установлена существенная фильтрационная неоднородность глубокозалегающих трещиновато-пористых горизонтов; выявлено значительное повышение естественной радиоактивности подземных вод с глубиной; определен диапазон значений естественной радиоактивности подземных вод эксплуатируемых горизонтов; подтверждено существенное снижение радиоактивности пород и подземных вод на большей части области распространения отходов в постэксплуатационный период; подтверждено отсутствие всплывания легких по плотности отходов вверх по разрезу; установлено образование широкой в плане зоны рассеяния (дисперсии) компонентов отходов в минимальных и следовых концентрациях в эксплуатируемом горизонте
Пункт глубинного захоронения «Полигон «Северный», г. Железногорск, 1967	180–280 355–500	Пески, песчаники, алевролиты	ЖРО	Удалено 6,7 млн м <sup>3</sup> ЖРО, прекращение сбросов ЖРО в окружающую среду, отказ от сооружения поверхностных водоемов и хранилищ	Установлена существенная фильтрационная неоднородность эксплуатируемых горизонтов и влияние режима нагнетания отходов на их фильтрационно-емкостные свойства, подтверждено повышение пластовой температуры при захоронении ВАО с последующим ее снижением, установлены высокие задерживающие свойства пород, установлено незначительное проявление геодинамических процессов, протекающих при нагнетании отходов
Полигон глубинного захоронения Кирово-Чепецкий химкомбинат, г. Кирово-Чепецк, 1987	1260–1440	Известняки	Промстоки	Удалено 9,0 млн м <sup>3</sup> промстоков, прекращены сбросы в окружающую среду, уменьшено загрязнение грунтовых вод	Установлено, что причины ухудшения приемистости скважин — биологические процессы, протекающие в отходах, которые могут быть предотвращены путем корректировки требований физико-химической совместимости промстоков с геологической средой; подтверждено отсутствие всплывания легких по плотности отходов вверх по разрезу
Полигон глубинного захоронения АО «Чепецкий механический завод», г. Глазов, 1992	1435–1600	Известняки	Промстоки	Удалено 8,5 млн м <sup>3</sup> промстоков, прекращены сбросы в окружающую среду, уменьшено загрязнение грунтовых вод	Установлена существенная фильтрационная неоднородность эксплуатируемых горизонтов; подтверждено отсутствие всплывания легких по плотности отходов вверх по разрезу; установлено образование широкой в плане зоны рассеяния (дисперсии) компонентов отходов в минимальных и следовых концентрациях в эксплуатируемом горизонте; установлена значимая роль турбулентной диффузии при поступлении легких по плотности промстоков в ствол скважин, заполненных рассолом

Объект, год начала захоронения	Глубины нагнетания, м	Состав пород используемого горизонта	Вид отводов.	Основные практические результаты	Основные научные результаты
Полигон глубинного захоронения, Калининская атомная станция, г. Удомля, 2007	1285–1349	Песчаники	Промстоки	Удалено 1 млн м <sup>3</sup> солевых и тритиевых стоков. Прекращены сбросы стоков в водоем-охладитель, обеспечен необходимый водный режим АЭС	Установлено влияние форм соединения железа в стоках на приемистость нагнетательных скважин; подтверждено отсутствие всплывания легких по плотности отходов вверх по разрезу; установлена значимая роль турбулентной диффузии при поступлении легких по плотности промстоков в ствол скважин, заполненных рассолом

горизонтов, используемых для захоронения, обусловленная природным изотопом калия-40. Так, удельная активность природных подземных вод коллекторского горизонта в Глазове может достигать значений 300 Бк/л что, например, в 300 раз выше предельных значений для питьевых вод. Этот факт должен учитываться при установлении критериев оценок воздействия захоронения промстоков и оценок состояния недр.

Один из вопросов, возникающий при обосновании и проектировании глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов, это принципиальная возможность прогнозирования состояния геологической среды в местах захоронения через сотни и тысячи лет: будут ли сохраняться геологическое строение и гидрогеологические условия, скорости и направления движения подземных вод, например, через 1 тыс. лет? Ответ на это вопрос может быть получен на основании изучения геологической истории территории и работ известного ученого в области философии естествознания академика Б.М. Кедрова, в частности, его учения о геологической форме движения материи [6, 10].

Краткая характеристика результатов исследований при захоронении отходов приводится в табл. 1.

**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СОВРЕМЕННОМ  
ЭТАПЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАХОРОНЕНИЯ  
ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Эксплуатация пунктов захоронения будет продолжена в соответствии с лицензионными сроками, завершающимися в 2020–2026 гг. В связи с длительным временем эксплуатации основных сооружений – буровых скважин, должны проводиться работы по оценке их технического состояния, ремонтно-восстановительные работы, ликвидация, если ремонт и продление эксплуатационных ресурсов не целесообразны. Для выполнения этих работ необходимо применять методы и технические средства, аналогичные используемым в нефтяной промышленности, но доработан-

ные с учетом требований обеспечения радиационной безопасности.

Завершающий этап глубинного захоронения жидких РАО – вывод из эксплуатации, консервация и закрытие пунктов захоронения, что связано с изменением характера производств, образующих отходы, внедрением новых безотходных технологий, внедрением технологий отверждения отходов. В числе первых таких объектов – пункт захоронения в Железногорске и в последующем пункты захоронения в Северске и Димитровграде. Решение проблемы закрытия пунктов захоронения представляет собой трудную задачу, особенно если учитывать высокую суммарную радиоактивность отходов, накопленную в эксплуатируемых горизонтах пунктов захоронения в Железногорске и Северске (~10<sup>19</sup> Бк), повышение требований к безопасности окружающей среды от вредного воздействия отходов, существенно отличающихся от принятых ранее при создании пунктов захоронения, «старение» конструктивных элементов скважин и необходимости применения специальных технологий их ликвидации. Решение подобных сложных задач требует комплексного подхода и проведения дополнительных исследований и изысканий в следующих направлениях:

– уточнение и расширение ранее существовавших представлений (концептуальной модели) о пункте глубинного захоронения отходов, как природно-технической системе, в первую очередь о строении и свойствах геологической среды, протекающих в ней процессах, на основе опыта захоронения и контрольных наблюдениях за период с середины 60-х годов прошлого столетия, пополнение баз данных;

– прогнозирование возможных изменений геологической среды в районе пунктов глубинного захоронения для периодов времени сохранения отходами своих опасных свойств на основе дальнейшего развития принципов геологического актуализма;

– прогнозирование процессов миграции компонентов отходов в недрах, возможных воздействий на окружающую среду и население с использованием откорректированных моделей с целью определения

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

приемлемости ожидаемых воздействий или необходимости проведения дополнительных мероприятий по снижению уровня воздействий;

– исследования процессов изменения конструктивных элементов скважин в течение длительных периодов времени, создание новых композиций тампонажных материалов, отвечающих требованиям долговременной изоляции, способов их применения;

– исследование локальных участков загрязнения первых от поверхности водоносных горизонтов в местах дефектных скважин и трубопроводов, исследование и разработка способов реабилитации водоносных горизонтов и локализации загрязнений на этих участках.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Байдарико Е.А., Загвозкин А.А., Рыбальченко А.И.** Мониторинг захоронения промстоков в глубокие геологические горизонты, содержащие высокоминерализованные воды // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 2. С. 154–160.
2. **Батурин С.Г., Грушевой Г.В., Зеленова О.И. и др.** Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования. М.: Атомиздат, 1980.
3. **Белов К.В.** Обоснование возможности создания полигона по захоронению жидких промышленных отходов в сложных гидрогеологических условиях (на примере Теча-Бродской структуры, район ПО «Маяк»). Диссертация. М.: Фонды МГРИ. 2012.
4. **Гольдберг В.М., Скворцов Н.П.** Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986.
5. **Итоги науки и техники.** Серия Гидрогеология. Инженерная геология. М.: ВИНТИ, 1976. Т. 4.
6. **Кедров Б.М.** О соотношении форм движения материи в природе. Философские проблемы современного естествознания. М., 1959.
7. **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.
8. **Материалы самооценки для предоставления международным экспертам в рамках миссии МАГАТЭ по оценке безопасности Российской технологии подземного захоронения жидких радиоактивных отходов.** ИБРАЭ РАН, 2013.
9. **Мосинец В.М., Пименов М.К., Борцов Э.А. и др.** Проблема возбужденных землетрясений. Обзор, ОНТИ ВНИПИПромтехнологии. М., 1982.
10. **Панюков П.Н.** О геологической форме движения материи. Методологические проблемы науки. М., 1970.
11. **Пименов М.К., Панасюк В.Г., Атакулов Т. и др.** Исследование возможности захоронения радиоактивных отходов в непроницаемые геологические

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН, А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- формации с помощью гидроразрыва пласта // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Горное дело». Вып. 1 (25). М., ЦНИИАтоминформ, 1977. С. 89–101.
12. **Поздняков С.П., Рыбальченко А.И.** Международный симпозиум по захоронению промстоков // Геозкология. 2004. № 5. С. 477–478.
  13. **Постановление Правительства РФ от 11.02.2016 г. № 94 «Об утверждении правил охраны подземных водных объектов».**
  14. **Прогнозная карта гидрогеологических условий захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные комплексы масштаба 1:25 000 000.** М.: Мингео СССР, 1970.
  15. **Рыбальченко А.И., Верещагин П.М., Каймин Е.П. и др.** Глубокое хранилище жидких радиоактивных отходов Калининской АЭС // VI международная научно-техническая конференция «Безопасность, Эффективность и экономика атомной энергетики». М., 21–23 мая 2008.
  16. **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. № 22-19.
  17. **Рыбальченко А.И., Курочкин В.М., Ершов Б.Г. и др.** 50 лет глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов – практические и научные результаты // Геозкология. 2014. №1. С. 86–90.
  18. **Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др.** Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИЗДАТ, 1994.
  19. **Рыбальченко А.И.** Применение геофизических методов при контроле подземного захоронения радиоактивных жидких отходов. Диссертация. Фонды АО «ВНИПИПромтехнологии», 1977.
  20. **Система сейсмического мониторинга полигона глубинного удаления жидких токсичных отходов // Отчет ОКБ ИФЗ РАН, Фонды ВНИПИПТ, 1989.**
  21. **Спицын В.И., Пименов М.К. и др.** Основные предпосылки и практика использования глубоких водоносных горизонтов для захоронения жидких радиоактивных отходов // Атомная энергия. 1978. Т. 44. Вып. 2.
  22. **Хоникевич А.А.** Очистка радиоактивно-загрязненных лабораторий и исследовательских ядерных реакторов. Издание третье, переработанное и дополненное. М.: Атомиздат, 1974.
  23. **Aust H., Kreising R.** Hydrological Principles for the Deep-Well Disposal of Liquid Wastes and Wastewaters. UNESCO. Deutsches IHP/OHR Nationalcommittee. Koblenz, BRD. 1985.
  24. **International Peer Review on the Deep Well Injection Practice for the Liquid Radioactive Waste in the Russian Federation. Report of the IAEA International Re-**

**ФИЛОСОФИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ:  
ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ  
И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

view Team. 28 June – 5 July, 2013, Moscow, Russian Federation. International Atomic Energy Agency.

25. **CLARK E., BONURA J.D.K., VAN VOORHEES R.F.** An overview of injection well history in the United States of America. Underground Injection Science and Technology. Berkeley National Laboratory, USA. ELSEVIER, 2005.
26. **WALLACE DE LAGUNA.** Disposal of Radioactive Wastes by Hydraulic Fracturing. «Nuclear Engeniring and Design». 3, 1966. Vol. Part I. P. 345.

**П. М. ВЕРЕЩАГИН, В. М. КУРОЧКИН,  
А. В. ПОНИЗОВ, А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО**  
ИДЕОЛОГИЯ, ПРАКТИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ  
РЕЗУЛЬТАТЫ 50- ЛЕТНЕГО ОПЫТА ГЛУБИННОГО  
ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ  
И НЕРАДИОАКТИВНЫХ ПРОМСТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

23

---

**Верещагин Павел Михайлович,**

к.т.н., начальник Комплексной научно-исследовательской лаборатории глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»

☎ 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 33,  
тел.: +7(499)324-32-46, e-mail: Vereshchagin.P.M@vnipt.ru

**Курочкин Виталий Михайлович,**

зам. начальника Комплексной научно-исследовательской лаборатории глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»

☎ 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 33,  
тел.: +7(499) 324-51-96

**Понизов Антон Владимирович,**

начальник отдела безопасности предприятий топливного цикла Федерального государственного унитарного предприятия «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», филиал «Железнодорожный».

☎ г. Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5,  
тел.: +7 (499) 264-05-39, e-mail: ponizov@secnrs.ru

**Рыбальченко Андрей Иванович,**

к.-г.м.н., ведущий научный сотрудник Комплексной научно-исследовательской лаборатории глубинного захоронения жидких радиоактивных и промышленных отходов. Акционерное общество «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»

☎ 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 33,  
тел.: +7(499)324-15-65, e-mail: Rybalchenko.A.I@vnipt.ru