

## Основные предпосылки и практика использования глубоких водоносных горизонтов для захоронения жидких радиоактивных отходов

СПИЦЫН В. И., ПИМЕНОВ М. К., БАЛУКОВА В. Д., ЛЕОНТИЧУК А. С., КОКОРИН И. Н.,  
ЮДИН Ф. И., РАКОВ Н. А.

Решение проблемы надежного и безопасного захоронения радиоактивных и прежде всего высокоактивных отходов представляется чрезвычайно важной и одной из первоочередных задач, стоящих сегодня перед атомной промышленностью [1, 2]. Принимая во внимание намеченные во многих странах масштабы и темпы развития ядерной энергетики и строительства заводов по регенерации отработавшего ядерного топлива, следует признать весьма актуальным международное сотрудничество в деле поиска приемлемых методов окончательного захоронения радиоактивных отходов, позволяющих исключить в настоящее время и в будущем отрицательное воздействие радиоактивности на биосферу [3].

Подземное захоронение радиоактивных жидких отходов в глубокие водоносные горизонты, надежно изолированные от других горизонтов и от поверхности земли, детально исследуется в опытном и опытно-промышленном масштабах в течение ряда лет в Советском Союзе [1, 2, 4, 5] с учетом действующего законодательства в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов [6].

В работах [7] и [8] рассматривались основные научные разработки и результаты подземного захоронения низко- и среднеактивных отходов. В настоящем докладе представлены соображения по обоснованию и организации подземного захоронения в глубокие водоносные горизонты, а также первые результаты укрупненных полевых опытных работ по захоронению высокоактивных жидких отходов.

### Основные положения по обоснованию и организации подземного захоронения радиоактивных жидких отходов

Подземное захоронение таких отходов — это сложная комплексная проблема, решение которой, специфичное для каждого атомного объекта, требует детального изучения геологического строения и гидрогеологических условий райо-

на, а также физико-химических, научно-технических и санитарно-гигиенических исследований. Только совокупность сведений по этим вопросам позволит обосновать возможность и безопасность подземного захоронения в том или ином районе.

Предварительно на основе новейших данных по геологическому строению, тектонике, гидрогеологии и полезным ископаемым организации Министерства геологии СССР дают региональную оценку закрытых и полужакрытых геологических структур («карманов» литосферы [9]), содержащих подземные воды, не пригодные для хозяйственного использования и надежно изолированные от современной гидрографической сети и подземных вод, применяемых для водоснабжения, бальнеологических или производственных целей. Такая предварительная оценка служит основанием для разработки программы и методики детальных исследований района предполагаемого размещения подземного хранилища в глубоком водоносном горизонте.

Надежным и безопасным захоронением радиоактивных жидких отходов считается такое положение отходов в недрах, которое исключает возможность их выхода на поверхность земли, в реки, озера и моря, загрязнение ими пресных подземных вод хозяйственно-питьевого значения, минеральных вод лечебного и промышленного значения, а также загрязнение эксплуатируемых и перспективных для разработки месторождений полезных ископаемых. Поэтому подземное захоронение для многих районов служит действенным средством предотвращения загрязнения используемых природных вод.

Согласно действующему законодательству [6], подземное захоронение высокотоксичных промышленных сточных вод рассматривают как один из способов пользования недрами наряду с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, строительством горнодобывающих предприятий, строительством и эксплуатацией разнообразных подземных сооружений, подземным хранением нефти, газа и других продуктов.

Санитарно-радиационная безопасность подземного захоронения радиоактивных жидких

отходов обеспечивается использованием геологической структуры, которая должна надежно локализовать отходы в пределах пласта-коллектора в течение всего времени распада радиоактивных элементов до предельно допустимых концентраций. Поэтому основным признаком надежности структуры следует считать наличие в разрезе, особенно в кровле пласта-коллектора, мощных выдержанных водоупоров.

Пласт-коллектор, в котором создаются подземные хранилища таких отходов, должен соответствовать следующим основным требованиям:

залегать в застойной зоне или зоне замедленного водообмена;

иметь значительное распространение по площади, мощность, пористость, проницаемость, обеспечивающие удаление (поглощение) отходов расчетного объема;

перекрываться (и подстилаться) регионально выдержанными водоупорными породами, исключаящими гидравлическую связь между пластом-коллектором и другими горизонтами;

не использоваться в качестве источника водоснабжения и не содержать полезных ископаемых, на разработку которых может оказать влияние создаваемое подземное хранилище;

находиться за пределами районов активной тектонической деятельности.

Наиболее благоприятными в этом отношении являются горизонты крупных артезианских бассейнов платформенного типа, залегающие в зоне застойного режима и содержащие высокоминерализованные воды. По структурным условиям для подземного захоронения жидких отходов плотностью меньше плотности пластовых вод целесообразно использовать купольные антиклинальные поднятия, а синклинальные и закрытые моноклинальные структуры — при более высокой плотности отходов.

Решение о возможности подземного захоронения радиоактивных жидких отходов принимается с учетом результатов физико-химических исследований, которые определяют поведение отходов и содержащихся в них радионуклидов в геологических и гидрогеологических условиях района и прогнозируют скорость и возможные пути их распространения в недрах. До нагнетания в недра отходы, как правило, проходят стадию подготовки, обеспечивающую длительную устойчивую работу нагнетательных скважин.

Возможность создания подземного хранилища в глубоких водоносных горизонтах в каждом случае подтверждают расчетом надежности и санитарно-радиационной безопасности. С этой

целью оценивают возможные пути миграции радионуклидов в недрах: распространение по пласту-коллектору, диффузия через перекрывающие водоупорные породы. Оценивают также разбавление отходов в пласте-коллекторе и сорбцию радионуклидов на породах.

Конструкция и технологические схемы подземных и поверхностных сооружений хранилищ обосновываются и проектируются только по данным детальных геологоразведочных работ, физико-химических и санитарно-гидрогеологических исследований. Для нагнетания проектируются закрытые системы с использованием герметичной запорно-регулирующей арматуры, контролирующих приборов и бессальниковых насосов. Подобные условия проектирования гарантируют санитарную безопасность эксплуатации всех сооружений подземного хранилища.

Технологическая схема подземного захоронения позволяет осуществить высокую степень автоматизации и контроль основных процессов и параметров с помощью гидрогеологических, промыслово-геофизических и физико-химических методов. Скважины, выполнившие свое назначение, ликвидируют, используя высококачественные тампонажные цементы и другие реагенты, обеспечивающие разобщение и изоляцию всех вскрытых водоносных горизонтов.

Для способа подземного захоронения характерны следующие положительные факторы:

полезный объем глубоких водоносных горизонтов (пластов-коллекторов), куда удаляют радиоактивные жидкие отходы, измеряют миллионами кубометров, поэтому радиоактивные отходы локализируются в недрах на небольшой площади в течение расчетного срока работы хранилища (20—30 лет);

медленное движение отходов по пласту-коллектору позволяет организовать систему контроля за распространением отходов;

породы пласта-коллектора обладают определенной сорбционной емкостью практически по отношению ко всем радионуклидам, в силу чего распространение их по пласту ограничивается; фронт токсичных и долгоживущих нуклидов заметно отстает от фронта движения жидкой фазы отходов;

резко сокращается или исключается полностью загрязнение открытых водоемов и поверхности земли, а также водоносных горизонтов, используемых для хозяйственно-питьевых или производственных целей;

при благоприятных геолого-гидрогеологиче-

ских условиях отсутствует зависимость от климатических особенностей района;

хранилища (подземные и наземные) относительно просты и надежны в работе; основные технологические процессы, связанные с захоронением отходов, легко поддаются автоматизации и дистанционному телемеханическому контролю;

при создании подземного хранилища используют, как правило, небольшую площадь (20—30 га) для строительства основных наземных сооружений, располагаемых в первом поясе зоны санитарной защиты; какие-либо ограничения на использование земель во втором и третьем поясах не налагаются [10];

подземное захоронение превосходит по технико-экономическим показателям другие способы обезвреживания, хранения и удаления радиоактивных отходов.

Исследования и расчеты [5] показали, что этот способ является более рентабельным уже при объемах перерабатываемых отходов 50—100 м<sup>3</sup>/сут и глубине захоронения 1000—1500 м по сравнению с такими методами очистки, как упарка, ионный обмен, электролиз и химические комбинированные методы очистки. Однако необходимо учитывать, что при захоронении высокоактивных отходов есть предел удельного содержания активности в условиях пласта, связанный с максимально допустимой температурой среды, которая не должна превышать температуру кипения жидкости в пласте.

#### Основные требования, предъявляемые к отходам, поступающим на захоронение

Жидкие отходы большого объема должны усредняться и иметь значение pH среды, близкое к pH пластовых вод. Для большого числа вариантов хранилищ допустим интервал pH 6—9. При ограничении объема и кратковременном сбросе возможно расширение интервала pH. Для растворов, обладающих свойствами буферных смесей, а также стабилизированных комплексонами, диапазон pH может быть также более широким.

Компоненты, образующие в условиях пласта осадки, следует исключать из растворов или переводить в форму, устойчивую в жидкой фазе. Это условие относится к катионам, гидролизующимся в условиях pH пласта, и к ионам, вступающим в реакции с компонентами пластовой воды, которые образуют осадки. Такое требование относится главным образом к продуктам коррозии или компонентам отходов от дезакти-

зации. При стабилизации осадкообразующих компонентов их содержание не ограничивается.

Суммарная засоленность отходов допустима до концентраций, близких к насыщенным растворам при температурных условиях пласта-коллектора. Существуют определенные пределы содержания и дисперсности взвешенных веществ, лимитируемые общей шламоемкостью призабойной зоны нагнетательных скважин и планируемым сроком их службы.

**Низкоактивные сбросы** (сбросы с реакторов, моющие, дезактивационные и др.) содержат большое количество поверхностно-активных и комплексообразующих соединений. Жидкости имеют высокую окисляемость, стабилизированные в объеме взвешенные и эмульгированные вещества, небольшую засоленность (1—10 г/л). Совместимость таких сбросов с пластовыми условиями обеспечивается усреднением (доведением pH до рабочего диапазона) и осветлением перед захоронением.

Приняты два взаимосвязанные по аппаратурному оформлению варианта технологической подготовки таких сбросов, которые на отдельных этапах захоронения упрощаются исключением из работы того или иного узла подготовки: коагуляция и фильтрация на механических фильтрах (в качестве коагулянтов используют соли железа, кальция, магния, а также компоненты самих сбросов); при наличии емкостей-усреднителей, обеспечивающих длительную выдержку растворов и разбавление детергентов, предварительная коагуляция исключается, что экономически выгодно.

**Среднеактивные отходы** (засоленные технологические растворы в основном от дезактивации технологического оборудования и отходы небольшого объема от технологии регенерации топлива) имеют высокое солесодержание, продукты коррозии и радиолитиза, а также обладают химической активностью к пластовому материалу. При взаимодействии таких отходов с пластовыми породами появляются в составе отходов алюмокремниевые соединения и возможна их коагуляция в поровом пространстве при разбавлении. Кроме того, за счет сорбционных свойств на поверхности пород накапливаются соли и изменяется поверхностная активность минералов. Технологическая подготовка среднеактивных отходов предполагает стабилизацию гидролизующихся компонентов, коррекцию pH среды, соблюдение необходимого уровня солесодержания, а также определенную последовательность их смешивания и нагнетания в скважины.

Опытно-промышленное захоронение таких отходов, осуществляемое в СССР свыше тринадцати лет, подтвердило исследовательские прогнозы поведения всех составляющих отходов в условиях пластов-хранилищ в пористых горизонтах и позволило отработать в естественных условиях системы контроля и управления контуром распространения отходов в пласте. За весь период захоронения никаких аварийных ситуаций не наблюдалось.

**Высокоактивные отходы.** В основу изучения возможности создания в пласте-коллекторе хранилища таких отходов положен многолетний опыт работы со среднеактивными отходами. Исследования [8, 11] были направлены на обеспечение сохранения стабильности жидкой фазы в процессе удаления отходов (приемистость скважин и равномерное распределение жидких отходов в пласте); выявление допустимого уровня удельной радиоактивности в пласте для нормального теплоотвода; разработку приемов, не допускающих превышения предельного для данных условий уровня удельной радиоактивности в пласте; изучение процессов радиолитизации в гетерогенной среде «отходы — породы» и закрепление радионуклидов в твердой фазе. Было установлено, что при захоронении высокоактивных отходов стабильность жидкой фазы в процессе нагнетания, а следовательно, и подготовка к захоронению могут обеспечиваться либо предварительной промывкой скважины слабокислыми растворами и созданием переходной зоны между пластовой водой и отходами, либо введением в отходы дополнительных реагентов (комплексонов) и коррекцией pH среды.

Накопление радионуклидов может регулироваться разбавлением отходов, введением в них комплексонов или предварительной промывкой призабойной зоны скважины растворами, изменяющими поверхностную активность пород (комплексоны, поверхностно-активные вещества и др.). Закрепление радионуклидов на породах будет происходить за счет влияния ионизирующего излучения на их сорбционные параметры в среде электролита. С увеличением поглощенной дозы ухудшается возможность десорбции, а следовательно, и миграции в связи со структурными изменениями исходных минералов. Особенно это относится к радионуклидам стронция и цезия, которые закрепляются на породах.

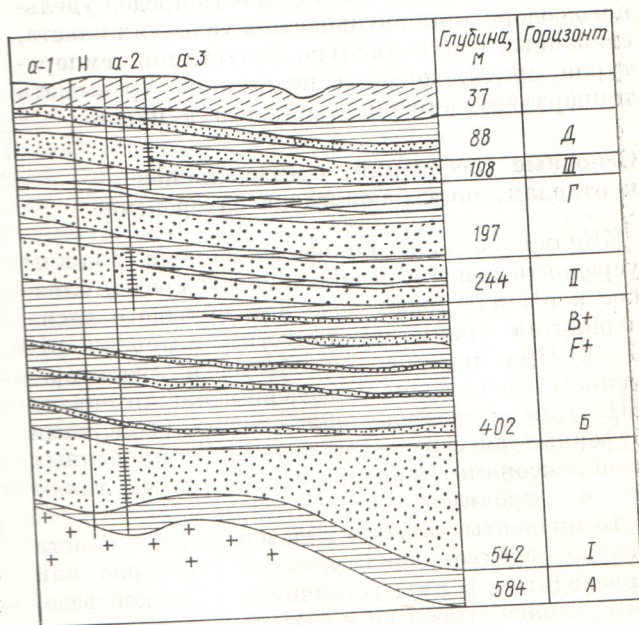
Таким образом, при захоронении жидких высокоактивных растворов происходит надежная фиксация радионуклидов в твердой фазе.

## Опытные полевые работы по захоронению высокоактивных отходов

Опытные работы по захоронению высокоактивных отходов в глубокие поглощающие горизонты были начаты в 1972 г. после геологоразведочных работ на участке и экспериментальных исследований. Основная цель этих работ — отработка методов подготовки отходов к подземному захоронению; изучение условий транспортировки и нагнетания высокоактивных отходов в недра; проверка надежности работы скважин различного назначения, запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов и автоматики; исследование эффективности различных промышленно-геофизических методов контроля процесса захоронения; проверка в полевых условиях данных теоретических и экспериментальных исследований.

**Геологические и гидрогеологические условия участка.** Опытный участок расположен в районе развития предгорных отложений, образовавшихся у самого края бассейна осадконакопления.

Результаты геологоразведочных работ на этом участке подтвердили наличие значитель-



Р и с. 1. Геологический разрез:

А — аргиллит и глина; Б — глинистая толща с прослоями и линзами песка, песчаника и алевролита; В — глина с прослоями известковистого алевролита, глинистого алевроита, песка и песчаника; Г — глина с прослоями песка; Д — супесь, переходящая в суглинок; Н — нагнетательная скважина; а-1 — а-3 — наблюдательные скважины

ной (до 500 м) толщи рыхлых отложений (рис. 1). В качестве пласта-коллектора для опытных работ по захоронению высокоактивных отходов выбран водоносный горизонт I (песчано-гравелитовая пачка с прослоями и линзами глины, алевролита и песчаника), расположенный в центральной части депрессии докембрийского фундамента, выполненной мощной толщей юрских отложений. Глубина залегания кровли горизонта I в пределах опытного участка 350—410 м, общая мощность 55—85 м, средняя эффективная мощность 25—35 м. В центральной части депрессии, где расположен опытный участок, пласт-коллектор подстилается глинами водоупора А. От расположенного выше водоносного горизонта II (песок от мелко- до крупнозернистого) пласт-коллектор отделен 150—170-метровой толщей алевролитов и глин водоупора Б. Вследствие литологического экранирования по периферии горизонт I представляет собой относительно замкнутую водоносную систему.

Пласт-коллектор представлен разномерными песками, алевролитами с подчиненными прослоями и линзами конгломератов, брекчий, гравелитов и глин. Фациальная неоднородность обусловила и его фильтрационную неоднородность: максимальная проводимость (25—36 м<sup>2</sup>/сут) наблюдается в центральной части депрессии; с удалением к периферии проводимость пород постепенно ухудшается и на границах рассматриваемой области снижается до 0,6—3,3 м<sup>2</sup>/сут. Коэффициент фильтрации отдельных проницаемых прослоев в зависимости от содержания пылеватых и глинистых фракций колеблется от 0,2 до 1,4 м/сут. Коэффициент пьезопроводности более выдержан по площади и в среднем составляет  $1,6 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/сут. Средняя эффективная пористость пород горизонта I составляет 7—10%.

По данным гидрогеологических исследований (откачки, нагнетания воды), горизонт I надежно изолирован от водоносных горизонтов II и III (песок с линзами суглинка), что подтверждается разницей в отметках статических уровней горизонтов, отсутствием колебаний уровней в горизонтах II и III при длительных гидрогеологических опробованиях горизонта I, различием химического состава вод горизонтов. Общее направление естественного потока подземных вод в горизонте I — с юга на север, средняя скорость — 2,2 м/год. Статический уровень подземных вод горизонта I в районе опытного участка находится на глубине 60 м от уровня поверхности земли.

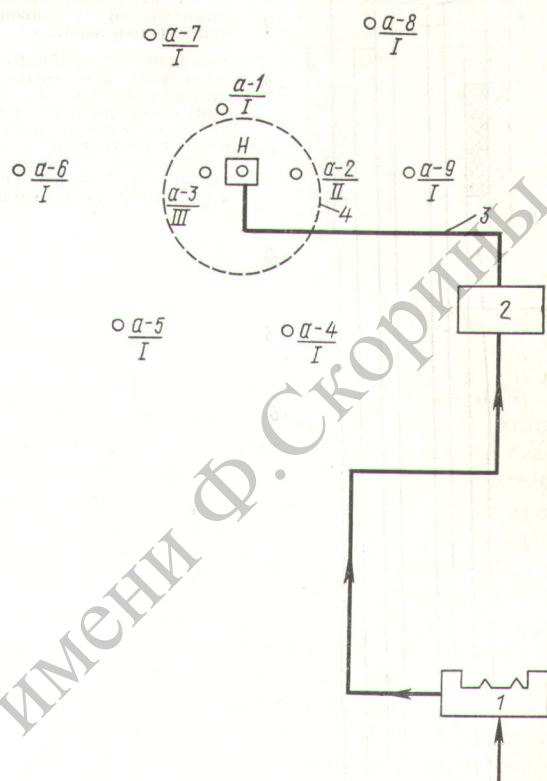


Рис. 2. Схема опытного участка:

1 — установка для подготовки отходов перед захоронением и для перекачки их в приемные баки; 2 — насосная станция нагнетания; 3 — напорные трубопроводы; 4 — контур распространения отходов (○ — скважины)

Схема и конструктивные особенности сооружений опытного участка. Опытный участок (рис. 2) расположен недалеко от хранилища высокоактивных жидких отходов. Из хранилища отходы поступают на установку, где осуществляется их подготовка перед захоронением, заключающаяся в основном в коррекции среды, содержания и уровня радиоактивности. Подготовленные отходы перекачиваются в емкости насосной станции нагнетания по напорному трубопроводу из нержавеющей стали, уложенному в железобетонный канал, покрытый эпоксидной смолой. Из насосной станции под давлением до 10—12 кгс/см<sup>2</sup> отходы по напорному трубопроводу поступают к устью нагнетательной скважины, далее в пласт-коллектор. Все сооружения опытного участка обеспечивают необходимую защиту обслуживающего персонала, возможность промывки и дезактивации трубопроводов и оборудования, соблюдение других мероприятий санитарно-радиационной безопасности. Основные технологические па-

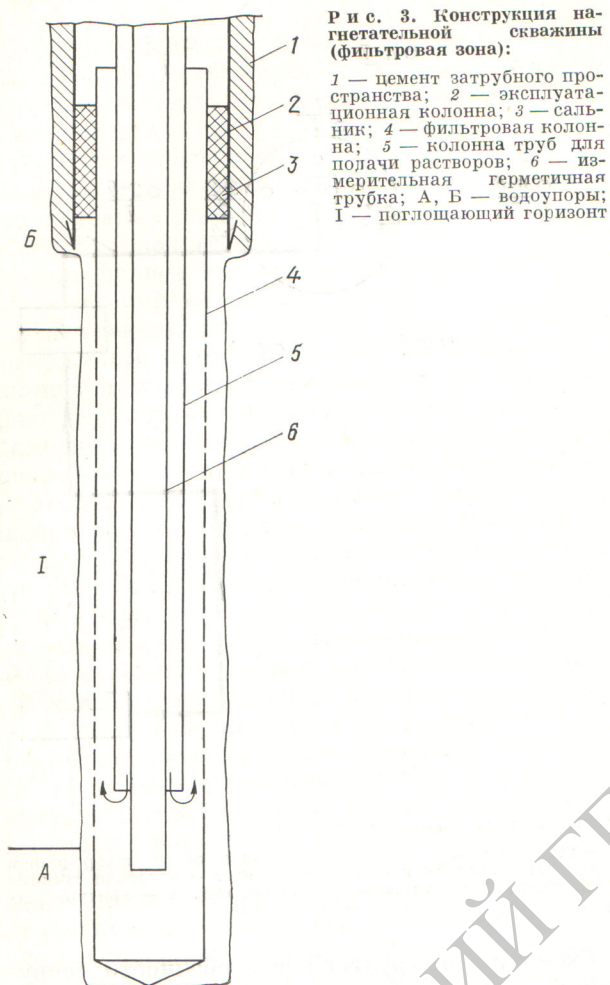


Рис. 3. Конструкция нагнетательной скважины (фильтровая зона):

1 — цемент затрубного пространства; 2 — эксплуатационная колонна; 3 — сальник; 4 — фильтровая колонна; 5 — колонна труб для подачи растворов; 6 — измерительная герметичная трубка; А, Б — водоупоры; I — поглощающий горизонт

раметры работы скважины и участка (расход и давление нагнетания, удельная активность и среда раствора, содержание взвешенных веществ и др.) контролируются дистанционно с выводом показаний на пульт управления, находящийся в насосной станции, куда выведены также показания датчика температуры и газового счетчика. В павильоне над устьем нагнетательной скважины для дублирования и контроля измерений установлены вторичные показывающие приборы и предусмотрена возможность отбора проб газа, выделяющегося из нагнетательной скважины в процессе хранения отходов.

На опытном участке расположено 10 скважин: одна нагнетательная (Н); шесть наблюдательных (а-4—а-9), вскрывающих пласт-коллектор и находящихся примерно в 100 м от скважины

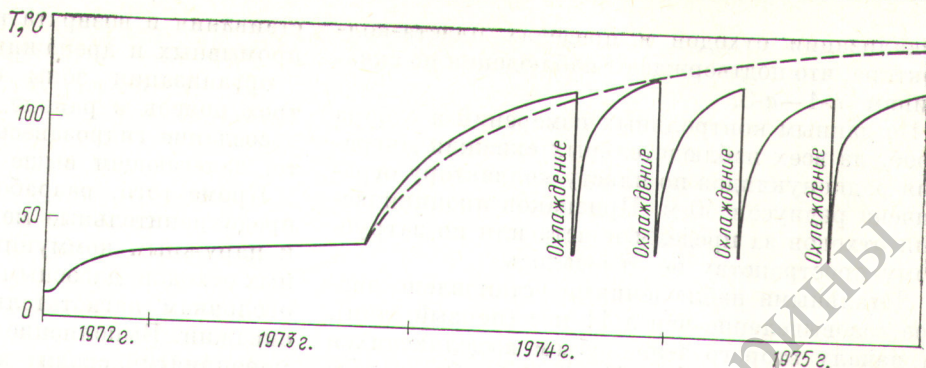
Н; две наблюдательные (а-2 и а-3), вскрывающие водоносные горизонты II и III (с их помощью контролируют химический состав пластовой жидкости и изменение уровней во вскрытых горизонтах); одна наблюдательная «глухая» (а-1) в 50 м от скважины Н выведена на такую же глубину. Эта скважина обсажена сварной колонной труб из нержавеющей стали, заполнена чистой водой, она служит для контроля за процессом захоронения с использованием промыслово-геофизических методов.

Скважина Н (рис. 3) оборудована сварной эксплуатационной и фильтровой колоннами труб из нержавеющей стали. Затрубное пространство эксплуатационной колонны зацементировано от подошвы до устья. Отходы нагнетают по специальной лифтовой трубе, спущенной внутрь до подошвы пласта-коллектора. Внутри колонны, по которой ведется нагнетание отходов, находится глухая измерительная трубка, заполненная чистой водой. Она используется для измерений температуры и  $\gamma$ -поля непосредственно в призабойной зоне скважины. Все остальные скважины обсажены трубами нефтяного ряда с фильтровыми колоннами из нержавеющей стали. После выполнения предусмотренной программы наблюдений и контроля их ликвидируют.

#### Контроль и наблюдения на опытном участке.

На опытном участке используют различные виды контроля. При гидрогеологическом и гидрохимическом контроле периодически или непрерывно измеряют уровень воды в скважинах а-2—а-9 и давление на оголовках скважин, а также периодически отбирают пробы пластовой жидкости из контрольных скважин для сокращенного и полного химического и радиохимического анализов. Технологический контроль (на насосной станции) предусматривает непрерывное измерение расходов химических реагентов, отходов и продажной жидкости; измерение удельной активности и температуры отходов, поступающих на захоронение, и содержания взвешенных веществ (твердой фазы). При технологическом и промыслово-геофизическом контроле (на оголовке скважины Н) измеряют расходы (дублирование данных по насосной станции), температуру и  $\gamma$ -поле в призабойной зоне скважины; количество и состав газов, выделяющихся через скважину Н, а также отбирают пробы для химического и радиохимического анализа. Промыслово-геофизический контроль (по скважинам а-1—а-9) предусматривает гамма- и термокартаж по стволу скважины.

Рис. 4. Изменение наблюдаемой температуры (—) в горизонте I (--- расчет)



### Основные результаты опытных работ

В настоящее время продолжается опытно-промышленное захоронение отходов низкого и среднего уровня активности. В хранилище НИИАР до 1976 г. на глубину 1500 м удалено 750 тыс. м<sup>3</sup> дезактивационных и других сбросов низкого уровня. На опытной установке по захоронению отходов среднего уровня активности к 1976 г. в пласт-коллектор удалено ~ 2,0 млн. м<sup>3</sup> отходов суммарной активностью 95,0 млн. Ки. Распространение контура отходов в пласте на уровне СДК находится в пределах 400 м от центра нагнетания и соответствует прогнозам.

Опытное захоронение высокоактивных жидких отходов проведено в два этапа (в 1972 и 1973 гг. с интервалом 14 мес) по варианту с подготовкой пласта и оттеснением отходов. Уда-

лено 450 и 1050 м<sup>3</sup> отходов (7,5 и 53 млн. Ки) соответственно на первом и втором этапах. Интенсивность нагнетания составляла 20—35 м<sup>3</sup>/ч, давление не превышало 12—14 кгс/см<sup>2</sup>. После первого этапа наблюдался небольшой подъем температуры до 36—40 °С. Наблюдения второго этапа дали материал, представленный на рис. 4 и 5. После второго этапа в течение года рост температуры хорошо соответствовал расчету, температура постепенно стабилизировалась на уровне 120 °С (температура кипения в пласте 253 °С). Периодические охлаждения путем подачи в скважину 7—10 м<sup>3</sup> воды температурой 15—20 °С проводились в целях обеспечения точности работы измерительных приборов.

Результаты систематического контроля за изменением  $\gamma$ -полей и термокаротажа по стволу скважины Н (см. рис. 5) свидетельствуют о

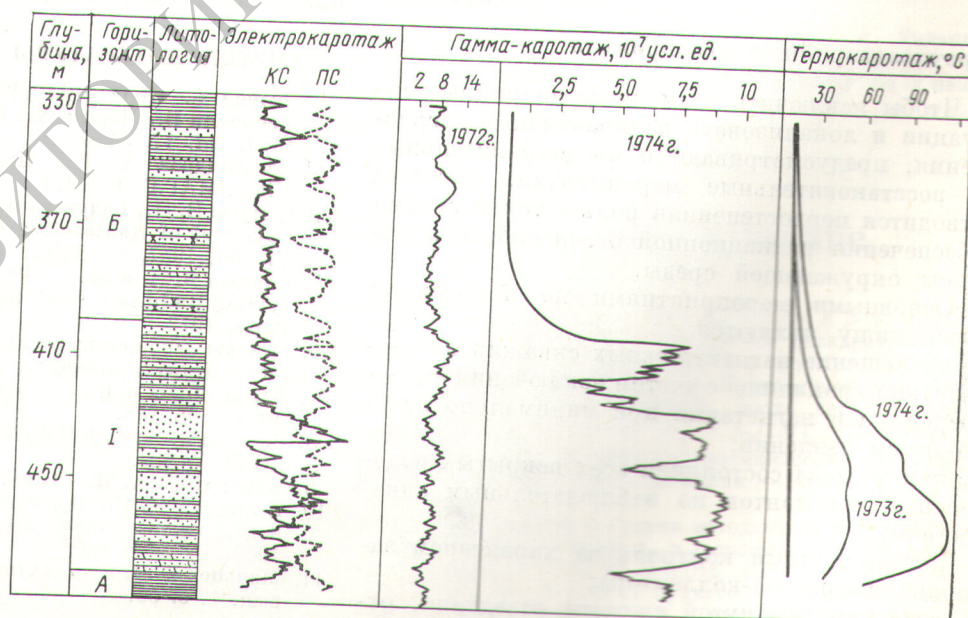


Рис. 5. Результаты геофизического контроля по нагнетательной скважине

локализации отходов в пределах пласта-коллектора, что подтверждают наблюдения по скважинам а-1—а-3.

По данным контрольных измерений и отбора проб, из всех наблюдательных скважин миграция радионуклидов по пласту-коллектору ограничена радиусом 40 м. Признаков проникновения отходов за пределы пласта или по затрубному пространству не отмечалось.

Детальными наблюдениями установлено первое газовыделение через 11 мес (первый этап). К началу второго этапа объем выделяющихся газов составил 0,06 н.м<sup>3</sup>/сут. Для сброса газа предусмотрена система с редуктором и фильтром аэрозолей. Рост объема выделяющегося газа отмечен после второго этапа (до 0,4 н. м<sup>3</sup>/сут). Однако постепенно произошла стабилизация процесса на уровне 0,1—0,15 н. м<sup>3</sup>/сут, что почти вдвое ниже прогнозированного. Состав газа: азота 90—99 %, остальное — кислород, окислы азота, углекислый газ; водорода <0,2 %. Газовыделение является следствием радиолиза, газы неактивны.

Таким образом, первые результаты опытного захоронения высокоактивных жидких отходов и трехлетнее наблюдение за состоянием пласта-коллектора и узлов сооружений подтвердили техническую возможность, санитарно-радиационную безопасность и экономическую целесообразность этого способа удаления отходов удельной активностью до 10—25 Ки/л. Наблюдения продолжаются.

### Противоаварийные мероприятия

Чтобы исключить возможные аварийные ситуации и локализовать радиоактивные загрязнения, предусматриваются предохранительные и восстановительные мероприятия, которым отводится первостепенная роль с точки зрения обеспечения радиационной безопасности и охраны окружающей среды.

Основными мероприятиями по подземному хранилищу являются:

размещение нагнетательных скважин на территории хранилища с учетом исключения интерференции и нагнетания при минимально необходимом давлении;

контроль за состоянием всех вскрытых водоносных горизонтов по наблюдательным скважинам;

дистанционный контроль за характером заполнения пласта-коллектора;

создание замкнутой системы отведения, от-

стаивания и возврата на нагнетание декантата промывных и дренажных вод;

организация зоны санитарной защиты из трех поясов в районе подземного хранилища; создание гидрозавесы в водоносном горизонте, залегающем выше пласта-коллектора.

Кроме того, разработаны и осуществляются предохранительные мероприятия, относящиеся к наружным коммуникациям для радиоактивных отходов, насосным станциям и резервуарам, оголовкам нагнетательных и наблюдательных скважин. Выполнение всех предохранительных мероприятий сводит к минимуму возможность возникновения аварийных ситуаций при подземном захоронении. Помимо указанных предусматриваются восстановительные мероприятия, которые подразделяются на неотложные (прекращение подачи отходов, обозначение места аварии, заполнение ствола скважины раствором с высокой плотностью и др.) и последующие ликвидационные (устранение причины утечки отхода, сбор и захоронение в специально отведенном месте загрязненного грунта, создание в дополнение к гидрозавесе химических завес в загрязненном водоносном горизонте с целью фиксации и ограничения объема загрязнений, ремонтно-восстановительные или ликвидационные работы на скважинах и т. п.). На протяжении всего периода работ по подземному захоронению жидких отходов в СССР предохранительные мероприятия обеспечивали полную санитарную безопасность при удалении отходов в недра, и поэтому проведения восстановительных мероприятий не требовалось.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эклунд С. «Бюл. МАГАТЭ», 1974, кн. 16, № 1/2.
2. Леннеман В., Паркер Х., Нест П. «Бюл. МАГАТЭ», 1975, кн. 17, № 4.
3. Александров А. П., Пономарев-Степной Н. Н. «Бюл. МАГАТЭ», 1974, кн. 16, № 3.
4. Спицын В. И., Балуклова В. Д. In: Proc. IAEA Symp. «Disposal of Radioactive Wastes into the Ground». Vienna, 1967, SN-93/13.
5. Спицын В. И. и др. In: Proc. OESD Symp. «Management of Radioactive Wastes from Fuel Reprocessing». Paris, 1972.
6. Основы законодательства СССР и союзных республик о недрах. «Правда», 1975, 11 июля.
7. Юдин Ф. П. и др. «Атомная энергия», 1968, т. 25, вып. 2, с. 128.
8. Спицын В. И. и др. IV Женевск. конф., 1971. Докл. СССР № 426.
9. Виноградов А. П. «Коммунист», 1973, № 11, с. 58.
10. Белицкий А. С., Орлова Е. И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. М., «Медицина», 1968.
11. Мальцев Е. Д. и др. «Атомная энергия», 1962, т. 12, вып. 1, с. 36.