

УДК 556.3:621.039.1

В. В. МАРТЬЯНОВ, В. Б. КИЗИМ (ФГУП «РАДОН»)

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ



В. В. МАРТЬЯНОВ,  
начальник отдела,  
канд. техн. наук



В. Б. КИЗИМ,  
старший научный  
сотрудник

*Проанализированы документы, регламентирующие как проведение опытно-фильтрационных работ (ГОСТ 23278-78, СНИП 1.02.07-87 и СНИП 11-02-96), так и ограничение техногенного облучения в контролируемых условиях (НРБ-99/2009). Показано, что по некоторым аспектам эти документы входят в противоречие. Установлено, что применение определенных методов в качестве основных позволяет получать необходимую и достаточную гидрогеологическую информацию, обеспечивая при этом здоровье персонала.*

**Ключевые слова:** хранилища радиоактивных отходов, опытно-фильтрационные работы, радионуклиды, безопасность персонала, эффективная доза облучения, водопроницаемость, одиночный экспресс-налив.

Значительная роль при эксплуатации и выводе из эксплуатации хранилищ радиоактивных отходов (РАО) отводится изучению поведения радионуклидов в окружающей среде и принятию на основе полученных знаний корректирующих решений с целью устранения или предотвращения их избыточного выхода в окружающую среду.

В частности, в работе [1] отмечается, что в случае выявления отступлений от конечного состояния площадки размещения РАО, приводящих к снижению уровня безопасности, должны быть выполнены все практически осуществимые мероприятия, направленные на обеспечение безопасности, в том числе меры по снижению миграции радионуклидов, дезактивация грунта, очистка поверхностных и подземных вод. В конечном итоге от характера и особенностей распределения радионуклидов во вмещающих породах будет зависеть объем и продолжительность восстановительных работ и, соответственно, связанные с ними эксплуатационные затраты.

Изучение естественного (геологического) барьера площадки размещения хранилищ РАО на различных стадиях их эксплуатации осуществляется посредством комплексных геолого-гидрогеологи-

ческих и гидрогеохимических исследований. Значительная роль при этом отводится гидрогеологическим методам исследований, позволяющим получать информацию и контролировать поведение жидкой фазы во вмещающих породах. Именно с жидкой фазой осуществляется основной перенос радионуклидов в окружающей среде [2].

К одним из основных видов гидрогеологических исследований относятся опытно-фильтрационные работы (ОФР), направленные на получение исходных данных о фильтрационных и сорбционно-емкостных свойствах природных и инженерных барьеров. Проведение ОФР регламентировано ГОСТ 23278-78 [3], СНИП 1.02.07-87 [4] и СНИП 11-02-96 [5]. Получаемые при этом исходные данные входят в перечень необходимых для моделирования и прогнозирования миграции радионуклидов, а также последующего проведения оценки безопасности [6].

Однако ОФР на радиационно опасных объектах имеют свою специфику, связанную с безопасностью персонала и ограничением времени проведения работ. Последнее по НРБ-99/2009 [7] входит в противоречие по некоторым аспектам со СНИП 1.02.07-87 и СНИП 11-02-96, а значит, и НП 069-06. Данное противоречие требует поиска приемлемых решений. Нахождение компромисса в этом вопросе позволит получить достоверную информацию о свойствах инженерного и геологического барьера (исходными данными в соответствии с требованиями НП 069-06 и НП 055-04) без риска получения избыточной дозы облучения (НРБ-99/2009).

Поиск компромиссных вариантов является обычным процессом, когда исследования проводятся на стыке различных и на первый взгляд несовместимых научных и технологических проблем. Учитывая, что сохранение здоровья персонала при осуществлении своих профессиональных обязанностей является главной задачей, в данной работе сделана попытка обосновать оптимальные условия проведения ОФР на радиационно опасном объекте при соблюдении норм НРБ-99/2009.

Следует принять во внимание, что в России право граждан на радиационную безопасность закреплено в Конституции РФ, нескольких Федеральных законах (№ 118-ФЗ от 14.06.2008, № 122-ФЗ от 22.08.2004) и обеспечивается соблюдением специально разработанных санитарных правил и нормативов. Поэтому любые работы (в том числе, гидрогеологические исследования) и последствия этих работ на территории долговременного хранения РАО должны соответствовать этим санитарным правилам и нормативам.

С позиции радиационной безопасности проведение ОФР на радиационно опасных объектах может привести как к облучению людей выше установленных норм, так и к радиоактивному загрязнению окружающей среды, т. е. к радиационной аварии [1, 2]. Появилась необходимость проанализировать общепринятые методы исследований и выбрать наиболее подходящие, применение которых, во-первых, не приведет к радиационной аварии, а во-вторых, обеспечит получение необходимой и достаточной гидрогеологической информации.

С целью оптимизации проведения ОФР авторами проведены следующие исследования:

- проанализированы данные по ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях согласно п. 3 НРБ-99/2009;
- проанализированы существующие регламентированные виды ОФР по получению исходных данных о свойствах природного и геологического барьера, включая продолжительность проведения работ;
- на основании сравнительного анализа выбраны оптимальные виды ОФР применительно к условиям ближней зоны хранилищ низкоактивных твердых РАО.

В ходе проведения бурения и ОФР могут возникнуть следующие негативные последствия:

- избыточное облучение персонала при длительном нахождении на радиационно опасном объекте и при контакте с извлекаемыми в процессе работ радиоактивными кернами и растворами;
- загрязнение окружающей среды в результате залпового выброса радиоактивных компонентов с жидкой фазой из хранилища через ослабленные зоны в процессе проведения длительных откачек или нагнетаний воды в скважины.

Поэтому из соображений минимизации вероятности возникновения негативных последствий ОФР основными их критериями оптимизации становятся минимальная продолжительность ( $t \rightarrow \min$ ) проведения опытов, минимальный перепад давлений, создаваемых во время испытаний, и минимальное количество извлекаемых из скважин материалов.

Рассмотрим требования НРБ-99/2009 по техногенному облучению персонала в ходе проведения работ на радиационно опасных объектах (без учета населения).

Согласно требованиям к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях [1, 2], устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группа А) — лица, работающие с техногенными источниками излучения;
- персонал (группа Б) — лица, работающие на радиационном объекте или на территории его санитарно-защитной зоны и находящиеся в сфере воздействия техногенных источников.

Для различных категорий облучаемых лиц нормальные условия эксплуатации источников излучения характеризуются пределами доз, приведенными в **табл. 1**.

**Таблица 1. Пределы доз облучения**

Нормируемые величины	Пределы доз
	Персонал (группа А)*
Эффективная доза E	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год

\* Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для группы А.

**Таблица 2. Методы полевых испытаний, рекомендуемые ГОСТ 23278-78**

Гидрогеологические условия залегания грунтов	Методы полевых испытаний		Условия преимущественного применения
Выше уровня грунтовых вод или кровли напорного пласта (зона неполного водонасыщения)	Основной	Налив воды в шурфы	—
		Вспомогательные	Нагнетание воды в скважины
	Нагнетание воздуха в скважины		Скальные трещиноватые, песчаные и глинистые грунты
	Допускаемые к применению	Налив воды в скважины	Большая мощность зоны аэрации
		Измерение параметров трещиноватости	Скальные трещиноватые массивы
	Ниже уровня грунтовых вод или кровли напорного пласта (зона водонасыщения)	Основной	Откачка воды из скважины
Вспомогательные		Нагнетание воды в скважины	Скальные трещиноватые грунты
		Измерение расхода воды в скважине (расходомерия)	Слоистые грунты
Допускаемые к применению		Налив воды в скважины	Полупроницаемые грунты
		Откачка воды из шурфов	В водонасыщенных полупроницаемых грунтах или при высоком уровне грунтовых вод
		Режимные наблюдения	При наличии стационарной сети режимных скважин
		Индикаторный	При определении действительной скорости движения подземных вод

Как видно из табл. 1, годовая эффективная доза облучения  $E$  без риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов для персонала группы Б, к которой относятся исследователи-геологи и гидрогеологи, устанавливается на уровне

$$E = 20 \text{ мЗв}/4 = 5 \text{ мЗв} \quad (1)$$

и не должна превышать максимального значения  $E_{\text{max}}$ :

$$E_{\text{max}} = 50 \text{ мЗв}/4 = 12,5 \text{ мЗв}. \quad (2)$$

Для персонала группы Б установлена длительность работы  $T$  — 2000 рабочих часов в год. Следовательно, нормируемая мощность дозы облучения  $M$  персонала группы Б соответствует значению

$$M = E/T = 5 \text{ мЗв}/2000 \text{ ч} = 2,5 \text{ мкЗв}/\text{ч} \quad (3)$$

и не должна превышать максимальную мощность дозы облучения  $M_{\text{max}}$ :

$$M_{\text{max}} = E_{\text{max}}/T = 12,5 \text{ мЗв}/2000 \text{ ч} = 6,25 \text{ мкЗв}/\text{ч}. \quad (4)$$

Условия табл. 1 и зависимостей (1)–(4) можно использовать для оптимизации времени проведения ОФР и выбора необходимых методов исследований.

Таблица 3. Виды и продолжительность опытно-фильтрационных работ

Вид откачки (налива)	Технологическая схема испытаний	Задача опыта	Продолжительность, сут
Экспресс-откачка (экспресс-налив)	Одиночная откачка (налив)	Ориентировочная оценка водопроницаемости пород	До 0,5
Пробная откачка (пробный налив)	То же	Предварительная оценка водопроницаемости пород	Свыше 0,5, но не более 2
Опытная откачка (опытный налив)	– « –	Определение приближенных значений водопроницаемости пород	Свыше 2 (до 3); допускается до 12 при соответствующем обосновании в программе изысканий

Как отмечалось ранее, применение гидрогеологических методов исследований в различных природных условиях регламентировано ГОСТ 23278-78 [4], общие требования которого сведены в табл. 2.

Геологические объекты не являются идеальными моделями и практически в каждом конкретном случае уникальны. Поэтому ГОСТ 23278-78 устанавливает, что при проведении испытаний необходимо учитывать особенности геологической среды, и допускает при невозможности выполнения некоторых работ отклонение от стандартных параметров опытов [3]. Условия полевых испытаний необходимо определять на основе предварительных расчетов так, чтобы в результате были получены представительные зависимости параметров.

Так как в задачу исследований входит изучение цементированных хранилищ (техногенный аналог трещиноватых скальных пород), и инструментом исследований должны выступать исследовательские скважины, то из перечня методов, рекомендованных в табл. 2, исключается применение наливов воды в шурфы и откачки воды из шурфов.

Кроме того, вышеприведенным условиям (возможность изысканий облучения персонала) не отвечают ОФР, связанные с

Таблица 4. Виды геолого-гидрогеологических исследований

Номер вида работ	Характер исследований	МЗД на объекте, мкЗв/ч	$E$ , мкЗв	Продолжительность работ, ч	Время достижения величины $E$ , ч	Защитные мероприятия
1	Сопровождение буровых работ, включая литологическое описание вмещающих пород и отбор проб жидкой и твердой фазы	0,8–25 <sup>1</sup> 0,4–1,5 <sup>2</sup>	2,5	1–6 <sup>3</sup>	3,12–0,1 6,25–1,67	Дополнительная защита к штатной (свинцовые коврики на поверхность + свинцовые халаты для персонала)
2	ОФР по изучению восстановления уровня грунтовых вод после оборудования скважин для режимных наблюдений	0,8–25 <sup>1</sup> 0,4–1,5 <sup>2</sup>	2,5	1–48 (1–2) <sup>4</sup>	3,12–0,1 6,25–1,67	То же
3	ОФР по получению данных о водно-физических свойствах вмещающих пород (определение коэффициента фильтрации методом экспресс-налива)	0,1–1,5	2,5	1–6	25–1,67	Частая смена персонала
4	Периодические замеры УГВ, включая отбор проб жидкой фазы	0,1–1,5	2,5	0,1–0,5	25–1,67	То же

<sup>1</sup> Хранилище твердых радиоактивных отходов (ТРО).

<sup>2</sup> Ближняя зона хранилища ТРО.

<sup>3</sup> Продолжительность сооружения скважины зависит от глубины бурения и прочностных свойств разбуриваемого материала (бетон, суглинка, супеси и т. д.).

<sup>4</sup> В скобках указано «чистое» время пребывания у скважины.

откачкой воды из скважин, поскольку откачка из скважин, осуществляемая непосредственно из хранилищ РАО, приведет к извлечению значительных количеств жидкой фазы, содержащей выщелоченные радиоактивные компоненты, и повысит и без того значительную мощность дозы на поверхности.

В соответствии с положением «опасность загрязнения окружающей среды», из перечисленных в табл. 2 методов исключается нагнетание воды и воздуха, так как для нагнетания необходимо создавать значительное давление, что может привести к аварийному выбросу жидкой фазы на поверхность (создаваемая величина напора при нагнетании должна быть не менее 10 м).

Таким образом, из перечисленных в ГОСТ 23278-78 методов наиболее подходящими для применения в условиях площадки долговременного хранения РАО является налив воды в скважины, при котором не создаются значительные перепады давлений ( $\Delta H \ll 10 \text{ м} \approx 1 \text{ атм}$ ).

Вид и продолжительность опытных откачек (или наливов), проводимых с целью определения или оценки водопроницаемости при гидрогеологических исследованиях, рекомендованы и установлены положениями СНиП 11-02-96 и СНиП 1.02.07-87 (табл. 3).

Из методов, перечисленных в табл. 3, исходя из критерия « $t \rightarrow \min$ », для применения на площадке хранения РАО наиболее подходит одиночный экспресс-налив с наименьшей продолжительностью (до 0,5 сут). По результатам экспресс-наливов, согласно табл. 3, можно провести ориентировочную оценку водопроницаемости различных элементов природно-технической системы «хранилища РАО — ближняя зона — вмещающие породы».

Опытно-фильтрационные работы входят в состав геолого-гидрогеологических исследований и, помимо периодических режимных наблюдений, осуществляются практически одновременно с проведением буровых работ, которые сопровождаются наибольшей радиационной нагрузкой на персонал.

Практика проведения ОФР в процессе бурения мониторинговых скважин показала, что при вскрытии инженерных барьеров мощность эффективной дозы (МЭД) варьирует в интервале 0,8–25 мкЗв/ч, что иногда в несколько раз превышает  $M_{\max}$ . Следует также отметить, что прирост мощности дозы происходит также за счет изымаемых из хранилища или из загрязненных участков ближней зоны ядерного материала и проб жидкой фазы, имеющих удельную активность до  $10^4$ – $10^6$  Бк/кг.

Проведение ОФР после завершения бурения и ввода скважин в эксплуатацию связано с меньшей радиационной нагрузкой. Величина МЭД в зависимости от местоположения мониторинговых скважин относительно хранилища РАО обычно варьирует от 0,4 до 1,5 мкЗв/ч и не превышает нормируемого значения  $M = 2,5$  мкЗв/ч. Причем продолжительность данных работ в зависимости от вида ОФР (замер уровня грунтовых вод, проведение опытных наливов) изменяется от десятков минут до 2–4 ч.

В табл. 4 приведены виды геолого-гидрогеологических исследований, проводимых на площадке ФГУП «РАДОН», и их соот-

ветствие нормируемой эффективной дозе облучения для персонала категории группы Б, к которым относятся исследователи-геологи и гидрогеологи.

Данные табл. 4 помогают определить виды работ, которые требуют дополнительного защитного радиационного обеспечения или проведения иных мероприятий. В частности, продолжительность геолого-гидрогеологических работ в зависимости от их вида и специфики может достигать от нескольких минут до нескольких часов. При существующих значениях МЭД на изучаемом объекте нормируемую часовую эффективную дозу облучения персонал может получить в течение 5–6 мин. Поэтому обеспечение безопасного проведения работ по видам 1 и 2 требует дополнительной радиационной защиты. Для работ по видам 3 и 4 требуется более частая смена персонала или временное покидание объекта (скважины) на расстояние нескольких метров, где значения МЭД соответствуют фоновым показателям (0,08–0,12 мкЗв/ч).

В заключение можно отметить следующее.

Определение соответствия существующих методов геолого-гидрогеологических исследований требованиям НРБ-99/2009 позволяет выбрать оптимальный для конкретного радиационного объекта метод исследований, в частности экспресс-налив воды в скважины.

Приоритет выбранного экспресс-налива геолого-гидрогеологических исследований над остальными известными определялся следующими соображениями:

- возможностью исключить проблему обращения с радиоактивными растворами в процессе откачки, так как в хранилище и его ближней зоне формируется жидкая фаза с удельной активностью, достигающей 104 Бк/л по  $^{137}\text{Cs}$ ;
- возможностью исключить в процессе откачки интрузию высокоактивных вод непосредственно из тела хранилищ (в случае нарушения их целостности) в ближнюю зону хранилищ;
- для экспресс-налива в скважины требуется незначительное время, а значит, и непродолжительное присутствие персонала на радиационно опасном объекте.

Адаптация необходимых видов геолого-гидрогеологических исследований к требованиям НРБ-99/2009 позволяет решать поставленные задачи при обеспечении здоровья персонала. ГЖ

#### Библиографический список

1. НП-069-06. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности. — М., 2006. С. 73–82.
2. Мартынов В. В., Коренков И. П. Радиационно-гигиенические подходы к решению экологической безопасности хранилищ РАО // Медицина труда и промышленная экология. 2011. № 26.
3. ГОСТ 23278-78. Грунты. Методы полевых испытаний. — М., 1979. С. 65.
4. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства. — М., 1987.
5. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. — М., 1996.

6. РБ-011-2000. Оценка безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов. — М., 2000.
7. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. — М., 2009. 

Мартьянов Владимир Владимирович,  
e-mail: radonvlad@rambler.ru  
Кизим Виталий Борисович,  
e-mail: vitkizim@yandex.ru.

---

#### USE OF HYDROGEOLOGICAL METHODS IN TESTING NEAR REGIONS OF RADIOACTIVE WASTE STORAGEES

**Martianov V. V.**<sup>1</sup>, Head of department, Candidate of Engineering Sciences, e-mail: radonvlad@rambler.ru

**Kizim V. B.**<sup>1</sup>, Senior Researcher

<sup>1</sup> RADON Federal State Unitary Enterprise (Moscow, Russia)

A ranking place in the monitoring of radioactive waste storages (RAWS) belongs to the hydrogeological analysis methods. One of the primary hydrogeological researches is the experimental seepage operations aimed at collecting initial data on leak-off, sorption and storage properties of natural and engineering barriers.

The testing parameters, including the test duration, are governed by State Standard 23278-78 and Construction Norms and Rules Nos. 1.02.07-87 and 11-02-96. At the same time, any work at a radiation-hazardous installation is of specific character associated with safety and limited time exposure of personnel as per Radiation Standards-99/2009. The limitation on the exposure period under RS-99/2009 is in conflict in certain aspects with SS 23278-78 and CNRs 1.02.07-87 and 11-02-96. With the purpose to eliminate the conflict, the authors have analyzed the data on limitation of induced radiation under controlled conditions (according to RS-99/2009) and the specified types of experimental seepage operations aimed at collecting initial data, including the duration of the experiments.

As a result of the analysis of the listed above prescriptive documents, the authors have arrived at the conclusion that out of all recommended types of the experimental seepage operations, the best suited for the application at a storage site is the single express-pouring method by the outcomes of which a rough estimate of rock permeability is made (for natural and engineering barriers). In addition, the other types of geological-hydrogeological operations that need supplementary radiation protection and other shielding measures are specified.

Adaptation of the required types of geological-hydrogeological research to the Radiation Standards-99/2009 allows handling the set problems in the personnel health support.

**Key words:** radioactive waste storage, experimental seepage operations, radionuclides, personnel safety, reacting exposure dose, water permeability, single express-pouring.

#### REFERENCES

1. NP-069-06. *Prioverkhnostnoe zakhoroneniye radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti* (Rules and regulations-069-06. Near-surface burial of radioactive wastes. Safety requirements). Moscow, 2006, pp. 73–82.
2. Martyanov V. V., Korenkov I. P. *Radiatsionno-gigienicheskie podkhody k resheniyu ekologicheskoy bezopasnosti khranilishch radioaktivnykh otkhodov* (Radiation-hygienic approaches to solving of ecological safety of radioactive waste storages). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya – Occupational Medicine and Industrial Ecology*, 2011, No. 2b.
3. GOST 23278-78. *Grunt. Metody polevykh ispytaniy* (State Standard 23278-78. Soils. Field testing methods). Moscow, 1979, pp. 65.
4. SNiP 1.02.07-87. *Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva* (Sanitary rules and regulations 1.02.07-87. Engineering survey for construction). Moscow, 1987.
5. SNiP 11-02-96. *Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva* (Sanitary rules and regulations 11-02-96. Engineering survey for construction). Moscow, 1996.
6. RB-011-2000. *Otsenka bezopasnosti prioverkhnostnykh khranilishch radioaktivnykh otkhodov* (Radiation safety-011-2000. Estimation of safety of near-surface storages of radioactive wastes). Moscow, 2000.
7. NRB-99/2009. *Sanitarnye pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09* (Radiation standards-99/2009. Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09). Moscow, 2009.