

# ОТРАБОТКА МЕТОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ, ПЛАНИРУЕМЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК ПОДЗЕМНОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В. С. Гупало<sup>1</sup>, В. А. Печатников<sup>1</sup>, И. В. Шрамко<sup>2</sup>,  
П. В. Николенко<sup>3</sup>, А. А. Чумаков<sup>1</sup>, Г. Д. Неуважаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

<sup>2</sup>ФГУП «Горно-химический комбинат», Железнодорожск, Красноярский край

<sup>3</sup>Горный институт НИТУ «МИСИС», Москва

Статья поступила в редакцию 15 января 2025 г.

*В статье представлены результаты отработки отдельных методов исследований, планируемых к применению при проходке выработок подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ). В условиях объекта-аналога выполнены видео- и ультразвуковой каротажи, а также поинтервальные нагнетания в скважинах. Результаты исследований позволили сформировать объем базовых исходных данных по приконтурной зоне породного массива, необходимых для оценок долговременной безопасности захоронения радиоактивных отходов (РАО): определены участки повышенной трещиноватости, количественно охарактеризованы геометрические параметры трещин и их пространственное положение; выявлены зоны влияния горной выработки, включая зоны разгрузки и опорного давления, а также естественного состояния массива; количественно оценены водопроницающие свойства горных пород на различных сегментах приконтурной зоны. Выполненная апробация методик измерений также позволило уточнить требования к организации исследовательских работ при проходке и оценить необходимые временные затраты.*

**Ключевые слова:** подземная исследовательская лаборатория, ультразвуковой каротаж, видеокаротаж, поинтервальные нагнетания, исследования при проходке, скважинный зонд, пакер, радиоактивные отходы.

В соответствии с международным опытом исследований массивов скальных горных пород, рассматриваемых для глубинного захоронения РАО, особое внимание при их изучении должно уделяться параметризации трещинной сети, способной оказывать негативное влияние на изолирующие свойства массива — природного барьера безопасности. Помимо естественной трещиноватости скальных пород при проходке и эксплуатации горных выработок в результате техногенного воздействия формируется нарушенная приконтурная зона (EDZ), для которой

характерно повышенное, по сравнению с природным состоянием, разуплотнение горных пород. По этой причине параметры EDZ должны учитываться в ходе прогнозных гидрогеологических и геомиграционных расчетов, выполняемых в рамках обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО). При этом необходимые количественные показатели, характеризующие EDZ, — мощность, пространственное положение трещин и изменение водопроницающих свойств горных пород на различном

удалении от выработки — могут быть получены только в ходе натурных замеров (*in-situ*) с применением скважинных методов исследований и специализированного измерительного оборудования.

С учетом требований к детальности и качеству исходных данных, используемых для оценок долговременной безопасности и формирующих надежность и доверие к получаемым на их основе результатам, в рамках настоящей работы выполнена опережающая отработка методик измерений в условиях объекта-аналога ПИЛ — подземных сооружений ФГУП «ГХК». Его выработки пройдены буровзрывным способом в схожих с участком «Енисейский» породах — подгорная часть комбината размещена в горном массиве, сложенном метаморфическим комплексом пород докембрийского возраста, прорванным мелкими штоками гранитов и дайками основного состава. Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием трещинно-грунтовых и трещинно-жильных вод. Первые из них развиты в верхней части массива и связаны с экзогенной трещиноватостью (зона поверхностного выветривания гнейсов, затухающая на глубинах до 80 м). Трещины выветривания перехватывают поверхностный сток и верховодку и формируют безнапорный трещинный обводненный комплекс. Трещинно-жильные воды можно выделить условно только по приуроченности к зонам локальной тектонической трещиноватости. Этот тип вод образует локальные линейно вытянутые водоносные зоны, прослеживающиеся на сотни метров в глубину. Вода насыщает их заполнитель, скапливается и максимально проявляется обычно в их висячем крыле. Воды обоих типов гидравлически связаны между собой, поэтому по составу и свойствам они мало отличаются друг от друга — питание трещинно-жильных вод происходит за счет перетекания из трещинно-грунтового водоносного комплекса.

Трещины, находящиеся ниже зоны экзогенной трещиноватости, в большинстве случаев закрыты или залечены вторичными минералами и водонепроницаемы. На отметках заложения основных сооружений подземные воды проявляются в виде капеза или увлажнения пород на отдельных участках выработок. Встречаемые в них водопроявления наблюдаются только по зонам расланцевания, дробления и в местах контактов даек с вмещающими породами. Величина водопритоков максимально достигала 0,1—0,2 л/мин, при обычных значениях 0,01—0,05 л/мин.

При отработке методик измерений, а также тестировании созданного в рамках «Комплексной программы исследований в период 2020—2022 гг.» [1] оборудования использовались скважины диаметром 76 мм, пробуренные службой горного надзора комбината для целей изучения состояния массива. Процесс осуществлялся алмазными коронками перпендикулярно стенкам подземных выработок (в горизонтальной плоскости) с положительным углом к горизонту  $3^{\circ}$ — $5^{\circ}$ , после чего стволы скважин промывались и очищались от бурового шлама.

В ходе выполненных работ был применен комплекс методов, включающий [2]: видеокаротажные обследования стволов скважин; ультразвуковой каротаж; поинтервальные нагнетания в изолированные участки стволов горизонтальных скважин.

На первом этапе выполнялся видео- (оптический) каротаж. Результаты такого обследования были направлены на уточнение границ геологических тел, предварительную оценку трещиноватости пород и определение ориентации трещин в пространстве. Для проведения исследований использовался скважинный зонд, предназначенный для изучения прискважинных зон существующих скважин и определения основных систем трещин и анизотропии массива пород (рис. 1). Также он оснащен блоками «координатной привязки» и «ориентации», делающими возможным установление пространственного положения зон нарушений в массиве, и двумя видеокамерами:

- фронтальной — для получения первичной информации о местоположении зонда по отношению к элементам геологического строения и выявления интересующих участков массива;
- боковой — для детального изучения особенностей горных пород, смонтированной на вращающейся оси и обеспечивающей получение изображения по всей окружности поверхности скважины.

Дополнительно, с целью подтверждения получаемой информации о трещинном строении массива, а также выработки рекомендаций по корректировке методик видео-обследования, проводились более трудоемкие исследования — с применением телевьюера QL40-OBI-2G. В его основе используется цифровой датчик высокого разрешения в сочетании со сверхширокоугольным объективом типа «рыбий глаз». Это оборудование позволяет осуществлять непрерывную запись изображения стенки скважины, развернутого на  $360^{\circ}$ . В ходе работ может достигаться разрешение до 1 800 пикселей по ее окружности, что дает возможность использовать телевьюер для



а



б

Рис. 1. Проведение видеокаротажа скважины

литологического, минералогического и структурного анализа. Встроенный модуль высокоточного ориентирования (инклинометр), состоящий из трехосевых магнитометра и акселерометра, осуществляет ориентировку изображения по глобальной системе координат и позволяет определить азимут и наклон ствола скважины.

Основной задачей интерпретации данных оптического каротажа являлось определение следующих характеристик массива горных пород: ориентации трещинных структур, типы трещин; наличие материала заполнителя. Принцип расчета углов падения и простирания единичного нарушения, пересекающего скважину, по данным оптического каротажа приведен на рис. 2.

Результаты интерпретации данных оптического каротажа по скважине № 50 представлены на сводной диаграмме (рис. 3), содержащей значения углов падения и азимутов простирания структурных элементов массива, а также развернутое изображение стенки скважины и ее восстановленный 3D керн.

Результаты применения комплекса оптических методов показали, что на расстоянии 70 см от зоны контакта «крепь — порода» выделяется серия открытых трещин различного раскрытия, в том числе крупная трещина большого раскрытия, расположенная на отметке 2,18 м от устья скважины. Исходя из количества трещин и величины их раскрытия данный участок массива

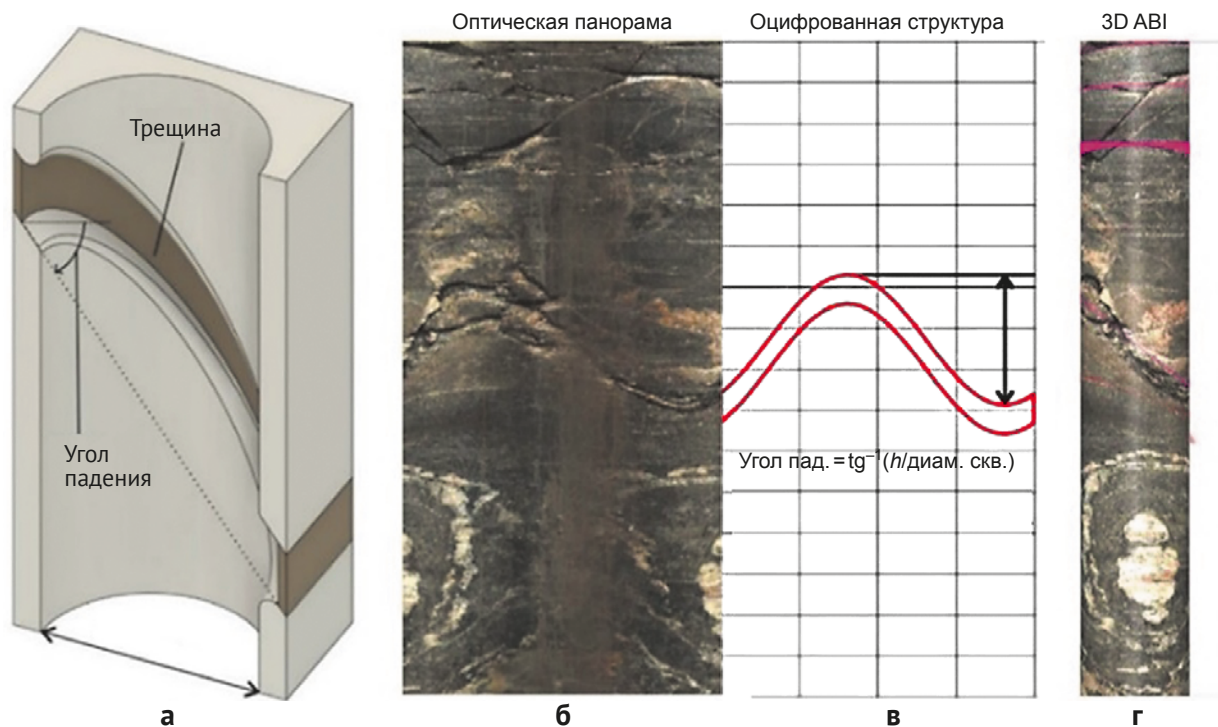


Рис. 2. Расчет угла падения нарушения: а) схематическое изображение скважины, пересеченной единичной трещиной; б) панорамное изображение стенки скважины; в) оцифрованная структура трещинного нарушения; г) восстановленный 3D керн скважины

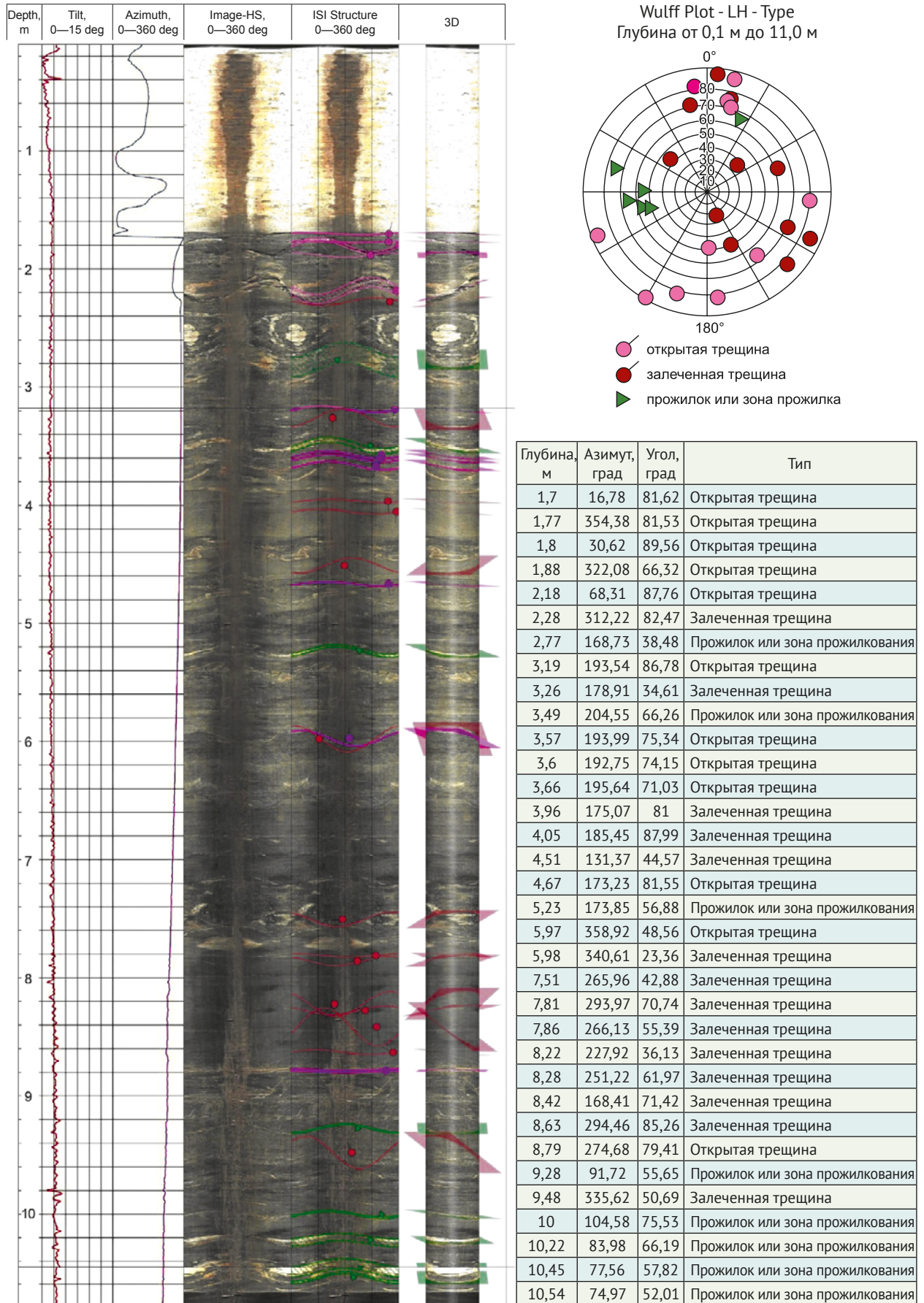



Рис. 3. Планшет с данными интерпретации видеокаротажа: направление нарушений отображается графически с помощью окружности (головы) и линии (хвост) — . Позиция головы слева направо показывает угол падения структуры, положение хвоста — ее азимутальное направление

можно отнести к зоне разгрузки выработки. На более глубоких интервалах скважины также фиксируются серии трещин малого раскрытия: единичные — на отметках 3,19; 4,67 и 5,97 м, группа — в диапазоне 3,57—3,66 м. Данные нарушения с наибольшей вероятностью относятся к естественной трещиноватости вмещающего массива.

На втором этапе работ, с целью детальной количественной характеристики нарушенности приконтурных зон, в т. ч. определения трещинной пористости (пустотности) пород, установления положения максимума зоны опорного давления, а также вычисления динамического модуля упругости и коэффициента Пуассона [1], [4], [5], [6], были изучены акустические показатели массива с применением ультразвукового каротажа. При его проведении использован каротажный комплекс (рис. 4), состоящий из скважинного зонда, низкочастотного ультразвукового дефектоскопа УСД-60Н, пневматической системы, обеспечивающей контакт преобразователей со стенками скважины, коммутирующего устройства и комплекта разборных досылочных штанг.

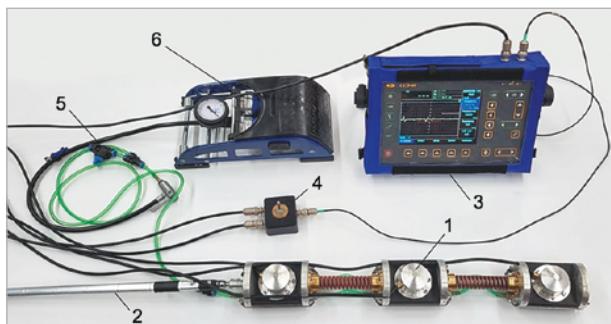


Рис. 4. Общий вид каротажного комплекса:

1 — ультразвуковой каротажный зонд; 2 — досылочная штанга; 3 — дефектоскоп УСД-60Н; 4 — коммутатор; 5 — воздушный клапан; 6 — пневматический насос

Скважинный зонд представляет собой модульную конструкцию, состоящую из трех акустических преобразователей, что позволяло использовать каждый из них в качестве излучателя или приемника. Основные технические

Таблица 1. Основные технические характеристики ультразвукового каротажного зонда

Характеристика	Значение
Резонансная частота преобразователей, кГц	80
Диаметр скважины, мм	76–80
Максимальная глубина измерительной скважины, м	15
Рабочее давление системы прижима, атм.	3
Общая длина зонда без досылочных устройств, мм	520

характеристики применяемого зонда представлены в табл. 1.

Интерпретация каротажной диаграммы осуществлялась на основе выявления аномалий скоростей распространения продольных волн вдоль оси скважины, которые вызываются такими особенностями строения массива, как единичные трещины с различными заполнителями, системы близкорасположенных трещин, пропластки пород с контрастными акустическими свойствами [7], [8]. По результатам анализа изменения скоростей волн до и после поинтервальных нагнетаний также выполнено разделение трещин по их раскрытию. Полученные данные акустических измерений по скважине № 50 показывают (рис. 5), что:

- в пределах крепи выделяются серии трещин с капиллярным (на отметке  $0,62 \pm 0,10$  м) и сверхкапиллярным (на отметках  $1,0 \pm 0,1$  и  $1,2 \pm 0,1$  м) раскрытиями. На данном участке скважины скорости распространения продольных волн колеблются в пределах 1800—3200 м/с, что соответствует ориентировочной прочности бетона на 10—20 МПа [ГОСТ 17624]. Снижение скоростей волн на границе железобетонной крепи и породы не регистрируется, что свидетельствует о хороших контактных условиях на их границе;
- после контакта «крепь — порода» регистрируется высокая концентрация трещин различного раскрытия, обусловленная зоной техногенной нарушенности пород. На данном интервале наблюдается общее падение скорости распространения продольной волны по сравнению со средней по разрезу, что также свидетельствует о его приуроченности к EDZ. По раскрытию выделяемые трещины подразделяются на капиллярные, находящиеся на отметках  $2,2 \pm 0,1$ ;  $3,0 \pm 0,1$  и  $3,4 \pm 0,1$  м, а также сверхкапиллярные — на  $1,8 \pm 0,1$  и  $2,4 \pm 0,1$  м от устья скважины. Техногенно нарушенная зона простирается до отметки 3,5 м, в области которой выделяется зона опорного давления. Из-за особенностей строения массива, а именно высокой прочности пород, низкой степени изначальной нарушенности и малой вертикальной компоненты исходного поля напряжений вследствие незначительной глубины заложения выработок, граница между зонами опорного давления и естественного напряженного состояния выявляется слабо;
- в целом массив после отметки 3,5 м отличается однородностью акустических свойств, что говорит о его незначительной нарушенности. Исключением являются отметки  $7,0 \pm 0,1$  и  $7,2 \pm 0,1$  м от устья скважины, где регистрируются единичные капиллярные трещины.

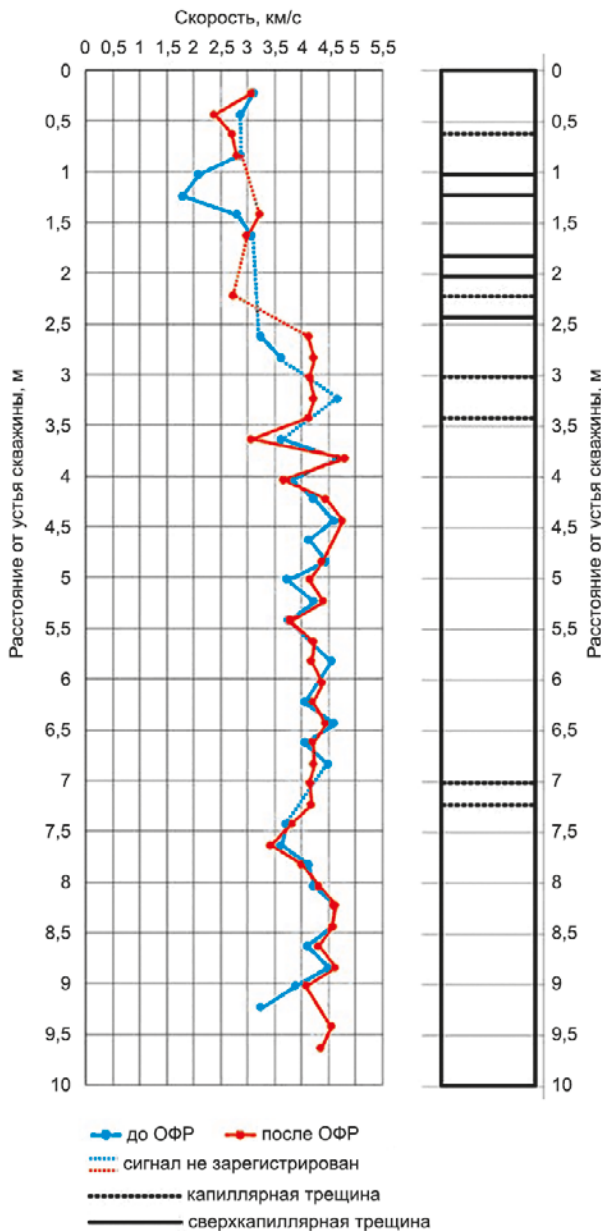


Рис. 5. Коротажная диаграмма скважины №50

Кроме детальной количественной характеристики нарушенных приконтурных зон выработок выполнены оценки значений динамических и статических упругих констант пород — модуля упругости ( $E_d$ ) и коэффициента Пуассона ( $\mu_d$ ), необходимых для моделирования геомеханических процессов на период эксплуатации подземных сооружений. Для этого в отдельных точках однородных участков массива (не содержащих трещин), определялись значения скоростей продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) волн. Определение указанных динамических констант осуществлялось в соответствии с [9] и заключалось в вычислении по полученным значениям  $V_p$  и  $V_s$  значений  $E_d$  и  $\mu_d$  (табл. 2). С целью перехода от динамических модулей упругости на статические также выполнен комплекс лабораторных

Таблица 2. Результаты оценок упругих констант горных пород

$V_p$ , м/с	$V_s$ , м/с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$E_d$ , ГПа	$\mu_d$
4 610	2 980	2 742	55,57	0,14
4 600	3 020	2 742	56,08	0,12

физико-механических испытаний образцов пород с определением соответствующих переводных коэффициентов.

На завершающем этапе исследований на основе поинтервальных нагнетаний воды в скважины были рассчитаны показатели гидравлической проницаемости массива. Для этого использовалась скважинная установка (рис. 6), включавшая в себя пакерирующее устройство, мерный сосуд, манометр, измеритель расхода воды, насос и соединительные шланги.

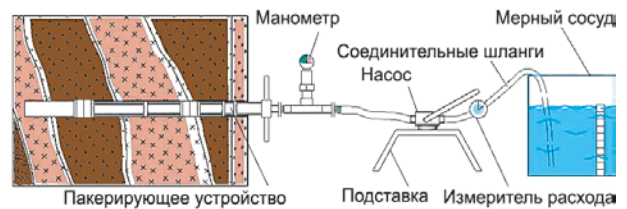


Рис. 6. Принципиальная схема установки для скважинных нагнетаний

Пакерирующее устройство в составе установки является нестандартным оборудованием и состоит из става труб диаметром 3/4" длиной 4—15 м. Один его конец оборудуется герметизирующими элементами, собираемыми с применением уплотнительных колец из вакуумной резины и позволяющими герметично перекрывать с двух сторон исследуемый участок массива длиной 0,5—1 м.

В ходе камеральных работ, в соответствии с [10], выполнялся расчет показателей проницаемости массива, включающих величины удельного водопоглощения ( $\Delta g$ ) и коэффициента



Рис. 7. Нагнетание воды в скважину

фильтрации массива. Гистограмма распределения удельного водопоглощения пород, на примере скважины № 50, приведена на рис. 8.

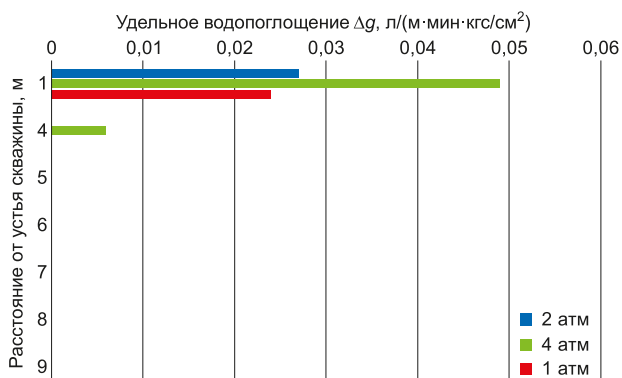


Рис. 8. Гистограмма распределения значений удельного водопоглощения по скважине № 50

Совместный анализ результатов опытных нагнетаний, видео- и акустического каротажей позволил охарактеризовать строение и состояние массива пород на участках расположения исследовательских скважин. Околовыработочное пространство на участке расположения скважины № 50 возможно разделить на 4 зоны: разгрузки, опорного давления, естественного состояния массива и железобетонная крепь, мощность которой составила 1,5 м.

Граница «крепь — порода» по результатам применения комплекса методов не выделяется, что говорит об отсутствии отслоения бетона от горной породы. В соответствии с измеренными значениями скорости прохождения продольной ультразвуковой волны ориентировочная прочность бетона крепи составляет 10–20 МПа. Результаты ультразвукового каротажа также свидетельствуют о наличии серии трещин разного раскрытия: капиллярного — на отметке  $0,62 \pm 0,10$  м, сверхкапиллярного —  $1,0 \pm 0,1$  и  $1,2 \pm 0,1$  м. Данные опытных нагнетаний подтверждают нарушения сплошности бетонной крепи на этом участке — в диапазоне 0–1 м водопроводимость составила  $0,01 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

Зона разгрузки (техногенно нарушенная зона) приурочивается к интервалу 1,5–3,5 м от устья скважины. Данная область массива характеризуется средним значением скорости продольной упругой волны, равным 3,3 км/с, что заметно ниже данного показателя в зоне естественного состояния массива. В результате видеокаротажного и ультразвукового обследований выделена серия разноориентированных трещин различного раскрытия: капиллярные —  $2,2 \pm 0,1$  и  $3,0 \pm 0,1$  м; сверхкапиллярные —  $1,8 \pm 0,1$  и  $2,4 \pm 0,1$  м. Водопроводимость массива совпадает

с интервалами развития трещиноватости: на промежутке 2–3 м не удалось поднять давление в системе из-за обильного водопоглощения, что свидетельствует о большом количестве сверхкапиллярных трещин.

На отметках  $3,24 \pm 0,10$  и  $3,82 \pm 0,10$  м от устья скважины фиксируется увеличение скорости распространения продольной ультразвуковой волны до 4,66 км/с, что свидетельствует о концентрации напряжений в данной области и позволяет отнести ее к зоне опорного давления. Результаты опытных нагнетаний показали крайне низкое значение водопроводимости этого интервала, что также свидетельствует о концентрации напряжений в данной области и связанной с этим сомкнутостью трещин.

Зона естественного состояния массива начинается с отметки 4 м от устья скважины и распространяется до забоя. Она характеризуется стабильным значением скорости распространения продольной волны, в среднем составляющим 4,13 км/с. Это говорит о монолитности массива на данном участке. Выявленные в ходе видеокаротажного обследования трещинные нарушения на указанном интервале не согласуются с результатами акустического каротажа, что свидетельствует об их залеченности или крайне малом раскрытии. Это также подтверждается и результатами опытных нагнетаний, т. е. в зоне естественного состояния массива водопроводящие интервалы отсутствуют.

Выполненный таким образом комплекс исследований позволил получить базовые исходные данные по приконтурной зоне породного массива, необходимые для оценок долговременной безопасности захоронения РАО:

- определить участки повышенной трещиноватости горных пород и количественно охарактеризовать геометрические параметры трещин, установить их пространственное положение, плотность трещинной сети в различных участках приконтурной зоны горной выработок;
- установить зоны влияния горных выработок на вмещающий породный массив: выделить зоны разгрузки, опорного давления, глубины естественной/природной трещиноватости в массиве;
- количественно охарактеризовать водопроводящие свойства пород на различных участках приконтурной зоны горных выработок.

Проведенная отработка методик измерений в условиях подземных объектов с использованием горизонтальных скважин и обработка первичных данных также позволили оценить временные затраты на их выполнение и уточнить требования к организации участков производства работ.

## Литература

1. Дорофеев А. Н., Большой Л. А., Линге И. И., Уткин С. С., Савельева Е. А. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 34–43.
2. Гупало В. С., Казаков К. С., Крючков Д. В., Панкратенко А. Н., Плешко М. С., Вознесенский А. С., Гайсин Р. М., Мосейкин В. В. Изучение состояния массива пород при строительстве подземной исследовательской лаборатории как этап получения исходных данных для оценок безопасности ПГЗРО // Радиоактивные отходы. 2019. № 1 (6). С. 90–99.
3. Schuster K., Amann F., Yong S., Bossart P., Conolly P. High-resolution mini-seismic methods applied in the Mont Terri rock laboratory (Switzerland). In book: Mont Terri Rock Laboratory, 20 Years. 2017, pp. 215–233. DOI: 10.1007/978-3-319-70458-6\_11.
4. Schuster K. Mini-Seismic Methods for the in-situ characterization of clay rocks — Examples from URL Meuse/Haute-Marne (France) and HADES URF (Belgium) // Geomechanics for Energy and the Environment. 2019. Vol. 17. Pp. 16–28. DOI: 10.1016/j.gete.2018.09.005.
5. Баяк И. О., Рыжков В. И. Определение параметров трещин и пор карбонатных коллекторов по данным волнового акустического каротажа // Технологии сейсморазведки. 2010. № 3. С. 32–42.
6. Nikolenko P. V., Zaitsev M. G. Effect of discontinuities on elastic wave velocities in high-stress rock samples: Experimental research using ultrasonic interferometry // Journal of Mining Science. 2022, vol. 58, pp. 936–944. DOI: 10.1134/S1062739122060084.
7. Румынин В. Г. Опыт изучения глинистых толщ и кристаллических массивов как геологических сред для окончательной изоляции РАО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1 (1). С. 44–55.
8. Voznesenskii A. S., Krasilov M. N., Kutkin Y. O., Tavostin M. N. Reliability increasing of an estimation of rocks strength by non-destructive methods of acoustic testing due to additional informative parameters // The Minerals, Metals & Materials Series. 2019. Pp. 411–423. DOI: 10.1007/978-3-030-05749-7\_41.
9. Пеньков Г. М., Карманский Д. А., Петраков Д. Г. Исследование зависимостей между физико-механическими свойствами песчаника и скоростью прохождения упругих волн // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2020. Т. 20. № 1. С. 27–36. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.1.3.
10. Moye D. G. Diamond drilling for foundation exploration. Civil Eng. Trans., Inst. Eng. Australia, 1967. Pp. 95–100.

## Информация об авторах

Гупало Владимир Сергеевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией методологии обоснования безопасности, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: gupalo@ibrae.ac.ru.

Печатников Валерий Анатольевич, заведующий отделом практических исследований долговременной безопасности Красноярского филиала, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (662971, Красноярский край, Железногорск, ул. 22 Партсъезда, д. 13), e-mail: pechatnikov@ibrae.ac.ru.

Шрамко Иван Викторович, главный геолог, ФГУП «Горно-химический комбинат» (662972, Красноярский край, Железногорск, ул. Ленина, д. 53).

Николенко Петр Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля, Горный институт НИТУ «МИСИС» (119991, Москва, Ленинский пр-кт, д. 6), e-mail: petrov-87@mail.ru.

Чумаков Андрей Александрович, младший научный сотрудник лаборатории Методологии обоснования безопасности, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: chumakov@ibrae.ac.ru.

Неуважаев Георгий Дмитриевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории Геомиграционного моделирования, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: neuvazhaev@ibrae.ac.ru.

## Библиографическое описание статьи

Гупало В. С., Печатников В. А., Шрамко И. В., Николенко П. В., Чумаков А. А., Неуважаев Г. Д. Обработка методов и оборудования, планируемых к применению в ходе выполнения исследований при проходке выработок подземной исследовательской лаборатории // Радиоактивные отходы. 2025. № 1 (30). С. 88–97. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-1-88-97.



## REFINING THE METHODS AND EQUIPMENT PROPOSED FOR THE RESEARCH DURING THE EXCAVATION OF THE UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY

Gupalo V. S.<sup>1</sup>, Pechatnikov V. A.<sup>1</sup>, Shramko I. V.<sup>2</sup>, Nikolenko P. V.<sup>3</sup>,  
Chumakov A. A.<sup>1</sup>, Neuvazhaev G. D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Federal State Unitary Enterprise “Mining and Chemical Plant”, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russia

<sup>3</sup>Mining Institute of NUST MISIS, Moscow, Russia

Article received on January 15, 2025

The article summarizes the key takeaways from the refinement of some individual research methods to be applied during the excavation of the underground research laboratory (URL). It discusses video logging, ultrasonic logging and interval injections in wells that were performed under the conditions of an analogous facility. These studies provided some “basic” initial data on the near-contour zone of the rock massif required for the long-term safety assessment of a radioactive waste (RW) disposal facility: areas of increased fissuring were identified, geometric parameters of cracks and their attitude were characterized quantitatively; excavation damage zones were identified, including the discharge and abutment pressure zones, as well as the natural state of stress in the rocks; water-conducting properties of rocks in various areas of the near-contour zone were characterized quantitatively. Based on the completed testing of the measurement methods, requirements for the R&D and its arrangement during the URL excavation process were refined and the required time costs were estimated.

**Keywords:** underground research laboratory, ultrasonic logging, video logging, interval injection, drilling surveys, well log sonde, packer, radioactive waste.

### References

1. Dorofeev A. N., Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S., Saveleva E. A. Strategicheskiy master-plan issledovaniy v obosnovaniye bezopasnosti sooruzheniya, ekspluatatsii i zakrytiya punkta glubinnogo zakhoroneniya radioaktivnykh otkhodov [Strategic Master Plan for R&D Demonstrating the Safety of Construction, Operation and Closure of a Deep Geological Disposal Facility for Radioactive Waste]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 34–43.
2. Gupalo V. S., Kazakov K. S., Kryuchkov D. V., Pankratenko A. N., Pleshko M. S., Voznesensky A. S., Gaisin R. M., Moseykin V. V. Izucheniye sostoyaniya massiva porod pri stroitel'stve podzemnoy issledovatel'skoy laboratorii kak etap polucheniya iskhodnykh dannykh dlya otsenok bezopasnosti PGZRO [The Study of the State of Rock Mass During Construction of Underground Research Laboratory as a Stage of Obtaining Initial Data for the Safety Assessments of Deep Geological Disposal]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2019, no. 1 (6), pp. 90–99.
3. Schuster K., Amann F., Yong S., Bossart P., Connolly P. High-resolution mini-seismic methods applied in the Mont Terri rock laboratory (Switzerland). In book: *Mont Terri Rock Laboratory, 20 Years*. 2017, pp. 215–233. DOI: 10.1007/978-3-319-70458-6\_11.
4. Schuster K. Mini-Seismic Methods for the in-situ characterization of clay rocks — Examples from URL Meuse/Haute-Marne (France) and HADES URF (Belgium). *Geomechanics for Energy and the Environment*, 2019, vol. 17, pp. 16–28. DOI: 10.1016/j.gete.2018.09.005.
5. Bayuk I. O., Ryzhkov V. I. Opredeleniye parametrov treshchin i por karbonatnykh kollektorov po dannym volnovogo akusticheskogo karotazha [Parameters of fractures and pores in carbonate reservoirs evaluated based on wave acoustic logging data]. *Tekhnologii seysmorazvedki — Seismic exploration technologies*, 2010, no. 3, pp. 32–42.
6. Nikolenko P. V., Zaitsev M. G. Effect of discontinuities on elastic wave velocities in high-stress rock samples: Experimental research using ultrasonic interferometry. *Journal of Mining Science*, 2022, vol. 58, pp. 936–944. DOI: 10.1134/S1062739122060084.
7. Rumynin V. G. Opyt izucheniya glinistykh tolshch i kristallicheskikh massivov kak geologicheskikh sred dlya okonchatel'noy izolyatsii RAO [Experience of Studying the Clay Masses and Crystalline Core-areas as Geological Environment for RW Final Isolation]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 44–55.
8. Voznesenskii A. S., Krasilov M. N., Kutkin Y. O., Tavostin M. N. Reliability increasing of an estimation of rocks strength by non-destructive methods of acoustic testing due to additional informative parameters. *The Minerals, Metals & Materials Series*, 2019, pp. 411–423. DOI: 10.1007/978-3-030-05749-7\_41.
9. Penkov G. M., Karmanskiy D. A., Petrakov D. G. Issledovaniye zavisimostey mezhdud

fiziko-mekhanicheskimi svoystvami peschanika i skorost'yu prokhozheniya uprugikh voln [Study of the Relationships between Physical and Mechanical Properties of the Sandstone and Velocity of Elastic Waves]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta.*

*Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo — Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 27–36. DOI 10.15593/2224-9923/2020.1.3. 10. Moye D. G. Diamond drilling for foundation exploration. *Civil Eng. Trans.*, Inst. Eng. Australia, 1967. Pp. 95–100.

---

### Information about the authors

*Gupalo Vladimir Sergeevich*, Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Safety Justification Methodology, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences. (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: gupalo@ibrae.ac.ru.

*Pechatnikov Valery Anatolyevich*, Head of the Department of Practical Long-term Safety Research at the Krasnoyarsk Branch, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences. (13, 22 Partsezda st., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662971, Russia), e-mail: pechatnikov@ibrae.ac.ru.

*Shramko Ivan Viktorovich*, Chief Geologist, Federal State Unitary Enterprise “Mining and Chemical Plant” (53, Lenin st., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia).

*Nikolenko Peter Vladimirovich*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Processes of Mining and Geocontrol, Mining Institute of NUST MISIS (6, Leninsky Prospekt, Moscow, 119991, Russia), e-mail: petrov-87@mail.ru.

*Chumakov Andrey Alexandrovich*, Junior Researcher at the Laboratory of Safety Justification Methodology, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: chumakov@ibrae.ac.ru.

*Neuvazhaev Georgy Dmitrievich*, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Geomigration Modeling, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: neyvazhaev@ibrae.ac.ru.

### Bibliographic description

Gupalo V. S., Pechatnikov V. A., Shramko I. V., Nikolenko P. V., Chumakov A. A., Neuvazhaev G. D. Refining the Methods and Equipment Proposed for the Research During the Excavation of the Underground Research Laboratory. *Radioactive Waste*, 2025, no. 1 (30), pp. 88–97. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-1-88-97. (In Russian).