

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.8.08

DOI:10.7242/echo.2025.2.1

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ГДЯ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОМОГРАФА

В.Ю. Бобров

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В пределах шахтного поля Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) на участке с очагом газодинамического явления произведены сейсмоакустические исследования сверхвысокого разрешения с целью изучения и оценки состояния породного массива. Работы производились с помощью ультразвукового томографа с разным частотным составом возбуждаемых колебаний. В результате исследования получены временные разрезы с высоким пространственным разрешением на первых метрах исследуемого объекта.

Ключевые слова: ультразвуковой томограф, шахтная сейсмоакустика, газодинамическое явление, поперечные волны.

Введение

Газодинамические явления (ГДЯ) – это внезапные выбросы газа, обрушения пород и другие динамические процессы, возникающие в массиве пород из-за скопления природных газов в трещинах и полостях, представляя серьезную опасность при разработке и эксплуатации месторождений [5]. Несмотря на то, что ГДЯ наиболее характерны для угольных месторождений, нередко они возникают и в соленосных формациях. Для минимизации рисков последствий ГДЯ в условиях действующих рудников, в частности солевого типа, необходим опережающий мониторинг породного массива.

Многочисленные исследования направлены на изучение ГДЯ и совершенствование методов их прогнозирования. Они охватывают анализ физических процессов при добыче руд, а также разработку математических моделей для предсказания ГДЯ. Особое внимание уделяется комплексному подходу, включающему численное моделирование, статистический анализ и методы машинного обучения [9, 2, 1, 8]. Ряд исследований посвящен анализу физико-механических свойств породного массива методами электроразведки [6]. Опираясь на многолетний опыт исследований, сейсмоакустическое профилирование является одним из наиболее перспективных инструментов для изучения подобного рода объектов на территории ВКМКС [11, 7, 12].

На участке с реализованным ГДЯ для более детального и оперативного изучения породного массива на первых метрах, выявления предпосылок и особенностей строения, способствующих этому явлению, предложено провести сейсмоакустические исследования сверхвысокого разрешения с помощью ультразвукового томографа A1040 MIRA 3D PRO.

Методика эксперимента

В рамках изучения породного массива, в пределах которого зарегистрированы выброс газа и локальное обрушение кровли, по профильной линии № 1 выполнено сейсмоакустическое профилирование в горизонтальной плоскости. Длина профильной линии № 1 303,5 м. Шаг между пунктами приема (ПП) и пунктами возбуждения (ПВ) 0,5 м. Возбуждение упругих колебаний производилось ручной кувалдой в северную стену

южного штрека. Сейсмоприемники установлены в северной стене южного штрека с ориентацией по направлению возбуждения.

Параллельно с сейсмоакустическим профилированием на этом же участке горной выработки в пределах зоны реализованного ГДЯ по профильной линии № 2 выполнено сейсмоакустическое исследование сверхвысокого разрешения с помощью ультразвукового томографа. Длина профильной линии № 2 составила 44,55 м. Шаг между ПП 0,2 м – перекрытие в половину корпуса устройства. Конечным результатом измерений является получение послойного изображения внутренней структуры объекта – томограммы. Далее реализована процедура конвертации данных ультразвукового томографа в формат сейсмических данных с возможностью последующей обработки по методике общей глубинной точки.

Профильная линия № 2 соответствует пикетажу 125 м – 169,55 м на профильной линии № 1 (рис. 1).

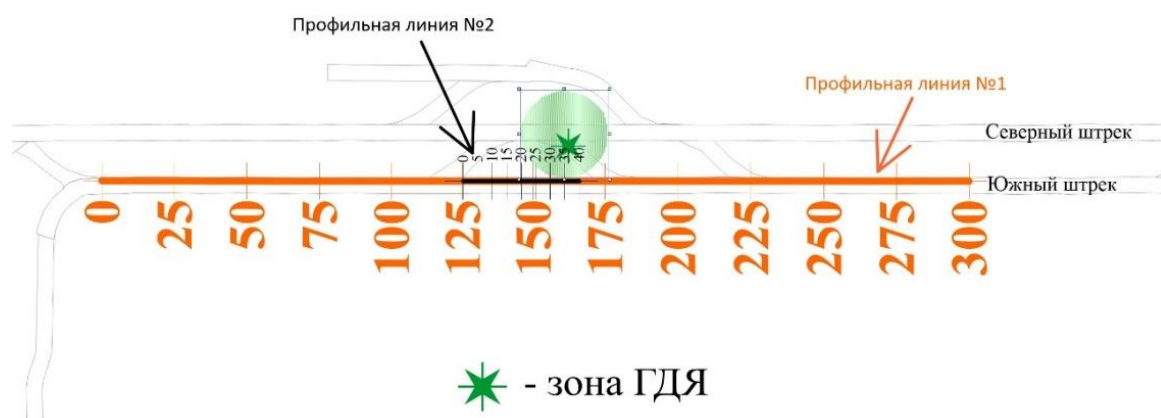


Рис. 1. Схема горной выработки

Результаты

Конечным результатом цифровой обработки сейсмоакустического профилирования по профильной линии № 1 является временной разрез ОГТ в боковое полупространство (рис. 2). Структуры, выделяемые на волновом поле, соответствуют геометрии горной выработки.

На участке пересечения профильных линий № 1 и № 2 в зоне влияния ГДЯ на волновом поле выделяются области с повышенным затуханием амплитуд сигнала (рис. 2б), что может свидетельствовать о разуплотнении породного массива.

Конечным результатом цифровой обработки сейсмоакустического исследования породного массива ультразвуковым томографом по профильной линии № 2 являются временные разрезы с рабочей частотой импульса возбуждения 10 кГц (рис. 3) и 30 кГц (рис. 4).

В связи с физическими и аппаратными ограничениями сейсмоакустического профилирования отсутствует возможность выделить аномальные участки волнового поля в приконтурной области горной выработки. С помощью ультразвукового томографа на более высоких частотах (10 кГц) удастся получить отображение данной области в волновом поле. Сравнительная интерпретация результатов выявила соответствие пространственного распределения аномалий волнового поля, зарегистрированных обоими методами.

На временном разрезе с рабочей частотой импульса возбуждения 30 кГц отчетливо прослеживается приконтурная зона интенсивного нарушения пород [10]. Возраст горной выработки на момент исследования на профильной линии № 1 – 9 месяцев (рис. 4а).

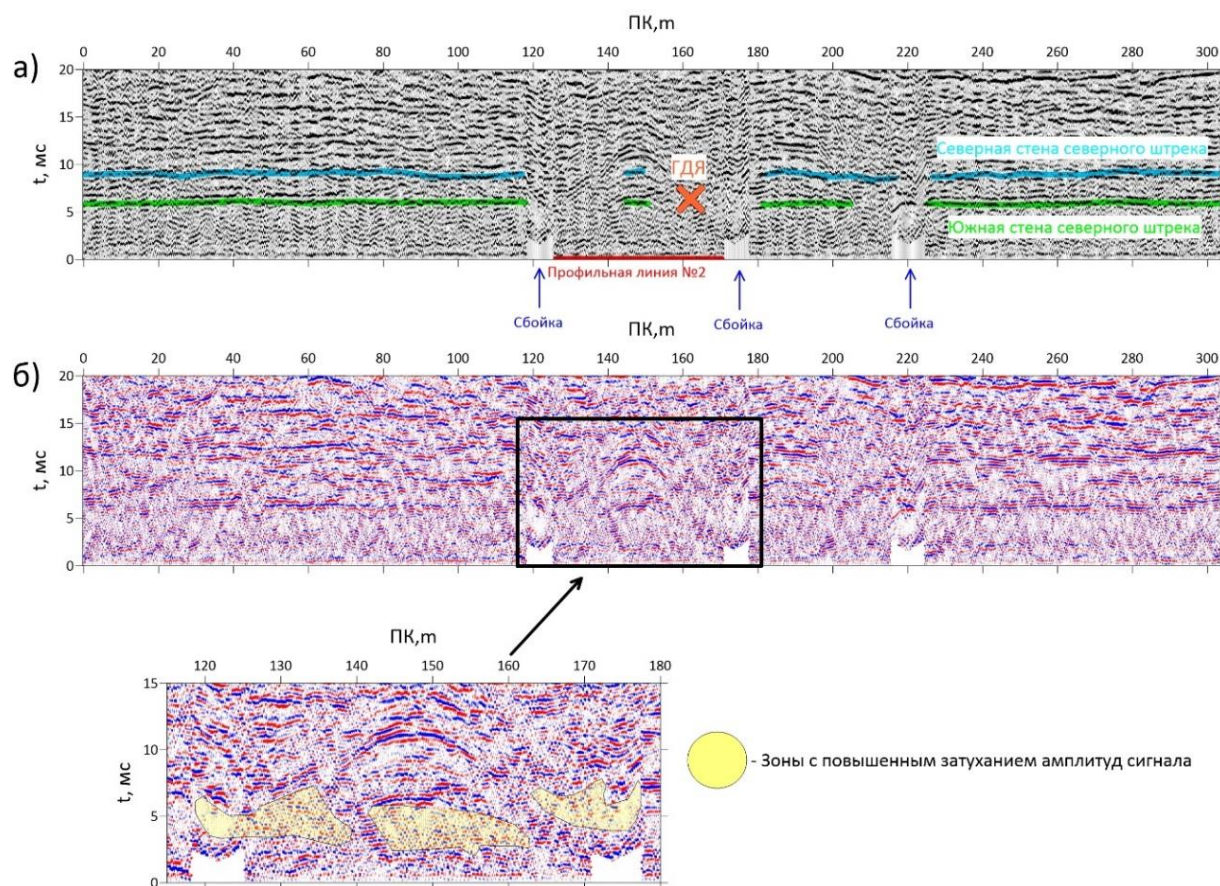


Рис. 2. Профильная линия № 1: а) временной разрез ОГТ; б) динамический временной разрез ОГТ

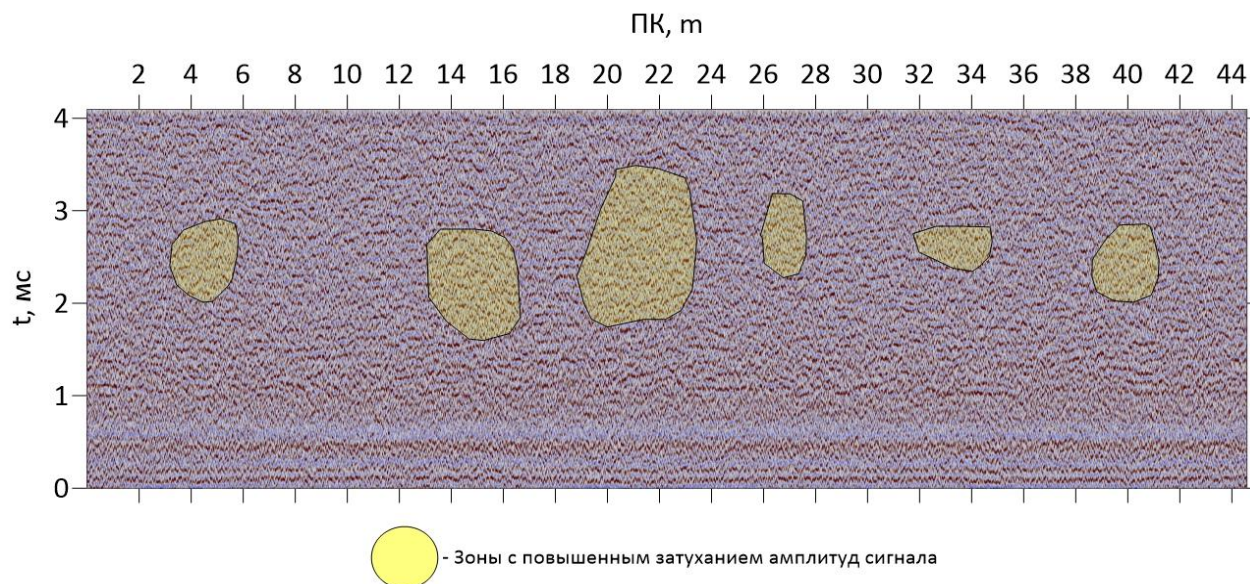


Рис. 3. Динамический временной разрез ОГТ с рабочей частотой импульса 10 кГц

Для прослеживания динамики деформирования приконтурной зоны со временем, приведен пример из предыдущих исследований [4]. Возраст горной выработки на момент работ по предыдущим исследованиям 22 месяца (рис. 4б). Проведенные наблюдения выявили положительную корреляцию между сроком эксплуатации выработки и площадью зоны деформирования междукammerного целика, как ранее и отмечалось [3].

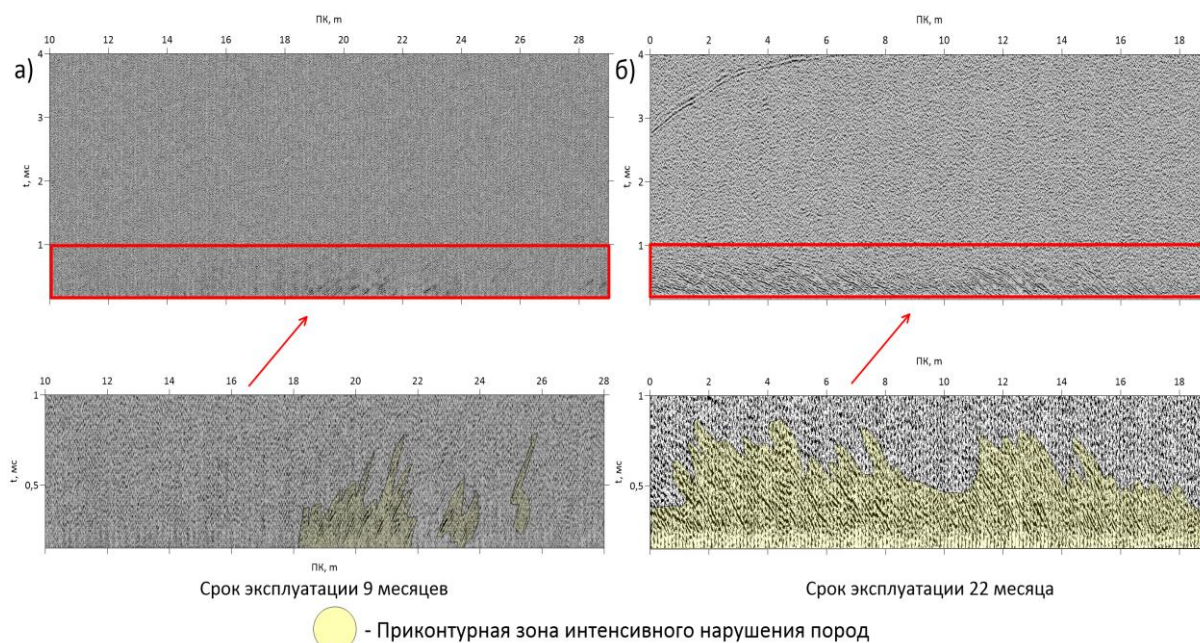


Рис. 4. Фрагмент временного разреза ОГТ: а) по профильной линии № 1;
б) по экспериментальной профильной линии из материалов эксперимента 2024 года

Выводы

Применение ультразвукового томографа A1040 MIRA 3D PRO, помимо оперативно-го получения результатов при низкой трудоемкости проведения измерений, обеспечивает высокое пространственное разрешение на первых метрах исследуемого объекта.

При повышенной частоте возбуждения упругих колебаний (30 кГц) существует возможность отслеживать динамику состояния зоны деформирования междукammerных целиков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер 122012000401-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко С.С., Иванов О.В. Метод прогноза газодинамических явлений при разработке сиверитовых пластов Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 7. – С. 368-373.
2. Андрейко С.С., Литвиновская Н.А. Локальный прогноз зон, опасных по газодинамическим явлениям из почвы горных выработок пласта АБ на южной части шахтного поля БКПРУ-4 Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 4. – С. 205-211.
3. Барях А.А., Асанов В.А., Санфиоров И.А. Методика контроля устойчивости соляных междукammerных целиков // Зап. Горн. ин-та. – 2013. – Т. 205. – С. 134-138.
4. Бобров В.Ю. Возможности применения ультразвукового томографа для контроля состояния породного массива междукammerных целиков // Горное эхо. – 2024. – № 2 (95). – С. 23-32. – DOI: 10.7242/echo.2024.2.5.
5. Большинский М.И., Лысиков Б.А., Каплюхин А.А. Газодинамические явления в шахтах. – Севастополь: «Вебер», 2003. – 284 с.
6. Долгов П.В., Полянина Г.Д., Земсков А.Н. Методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках. – Алма-Ата: Наука, 1987. – С. 89.
7. Любимов А.С. Локальное прогнозирование зон, опасных по газодинамическим явлениям, методом сейсмического просвечивания добычного блока // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2024. – Т. 1. – С. 231-234.
8. Лядов В.О. Оценка эффективности применения нейронных сетей при региональном прогнозировании зон газодинамической опасности в калийных рудниках // Актуальные проблемы недропользова-

- ния: тез. докл. XIX Междунар. форум-конкурса студентов и молодых ученых / Санкт-Петерб. Горный ун-т. – СПб., 2023. – Т. 1. – С. 195-197.
9. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. – М.: Недра, 1985. – 264 с.: ил.
10. Савич Р.П., Коптев В.И. Изучение напряжённого состояния массивов скальных пород сейсмическими методами в связи со строительством подземных гидротехнических сооружений // Актуальные проблемы изысканий проектирования и строительства гидротехнических туннелей большой протяженности. – М., 1981. – С. 42-65. – (Сб. науч. тр. Гидропроекта: Вып. 78).
11. Санфиров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
12. Санфиров И.А., Бабкин А.И. Методические особенности шахтных сейсмоакустических исследований на Верхнекамском калийном месторождении солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 11. – С. 145-154.

УДК 550.34.013.2

DOI:10.7242/echo.2025.2.2

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАДСОЛЯНОЙ ТОЛЩИ

С.Д. Калабин

Горный институт УРО РАН, г. Пермь

Аннотация: Проведен анализ информативности методов инженерной сейсморазведки для изучения надсоляной толщи: метод преломленных волн, метод отраженных волн по технологии общей глубинной точки и многоканальный анализ поверхностных волн. Рассмотрены физические основы, аппаратное обеспечение, разрешающая способность и условия применения. Произведен сравнительный анализ по ключевым критериям и рассмотрена эффективность комплексирования методов.

Ключевые слова: инженерная сейсморазведка, надсоляная толща, метод преломленных волн, методика общей глубинной точки, многоканальный анализ поверхностных волн, разрешающая способность, скоростные параметры, комплексирование методов, деформация грунтов, геофизический мониторинг.

Актуальность

Проседания и деформации грунта в районах разработки месторождений является традиционной проблемой. Исследования устойчивости верхней части разреза в таких условиях имеют большое значение для обеспечения безопасности жизнедеятельности в пределах подработанных территорий.

Сейсмические исследования позволяют прогнозировать динамику движения, смещения пород и выявлять зоны повышенной трещиноватости и зоны разуплотнения пород. Благодаря этим данным возможно определять безопасные параметры ведения работ для сохранения разрабатываемой толщи и зданий, сооружений, находящихся на поверхности.

Несмотря на высокую точность современных геофизических исследований они остаются зависимыми от множества факторов. Выбор системы наблюдения и метода исследования зависит от решаемой задачи: интервала исследования и структурно-физических параметров объекта исследования.

Аппаратурное обеспечение

Для изучения надсоляной толщи возможно применение преломлённых, отраженных и поверхностных волн (рис. 1).

При решении инженерных задач применяются поверхностные и заглублённые источники. К поверхностным источникам относятся: кувалда, падающий груз и другие. К заглубленным источникам относятся взрывные источники малой мощности или электроискровой источник (рис. 2).