

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ

К.Б. Фатькин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Показан опыт использования сейсмоакустических исследований во внутренних точках среды для обнаружения потенциально опасных, с точки зрения возникновения газодинамических явлений, зон трещиноватости. В комплексе обработки и интерпретации полученных данных применена методика анализа изменения амплитуды отраженной волны с удалением источник-приемник.

Ключевые слова: шахтная сейсмоакустика, зоны трещиноватости и разуплотнения, газодинамические явления, соляной рудник, динамический анализ, дистанционный прогноз, отраженные волны.

Вопрос безопасности в горнодобывающей промышленности всегда был актуальным. Опасности, связанные с газодинамическими явлениями (ГДЯ), такими как выбросы газов и обрушения пород, требуют эффективных методов предотвращения и прогнозирования. Специфика подземных работ, усложняющиеся горнотехнические и горно-геологические условия выемки калийных солей – всё это ведет к непредвиденным сбоям в работе рудников, травматизму и даже гибели горняков. В этом контексте, использование динамического анализа сейсморазведочных данных может стать перспективным подходом оценки и прогнозирования опасности газодинамических явлений на соледобывающих шахтах.

Геологические особенности, такие как наличие трещин, разломов и пластовых деформаций, могут существенно влиять на распространение газов и вызывать нестабильность горных выработок. Прогнозирование газодинамических явлений в настоящее время опирается на систематическое наблюдение и анализ состояния призабойной зоны пласта. Этот подход к прогнозированию необходим для оперативного контроля за развитием ГДЯ и позволяет своевременно оповещать шахтеров о возможном вхождении выработки в опасную зону [1]. Например, при слоевой выемке калийных пластов возникают внезапные и достаточно мощные выбросы соли и газа на сопряжении лава–штрек. В связи с этим возникла неотложная необходимость изучения этого типа газодинамических явлений и разработки методов управления процессами в почве горных выработок. Для реализации газодинамических явлений важно наличие газовых скоплений в приконтурной части породного массива и соблюдение основных критериев разрушения [2].

Анализ геологической структуры пластов в сочетании с данными сейсморазведки может позволить выявлять опасные зоны с повышенной вероятностью возникновения газовых выбросов или подземных деформаций. Это, так называемый локальный прогноз, который предусматривает оценку вероятности развития ГДЯ на пластах отдельных участков шахтных полей калийных рудников.

Метод изучения изменения амплитуд сейсмических волн в зависимости от угла отражения и глубины залегания геологических формаций широко используется в геофизике для оценки различных параметров горных пород, таких как проницаемость, насыщенность флюидами и упругие свойства. Применение AVO-анализа в контексте газодинамической безопасности на соледобывающих шахтах позволяет выявлять и анализировать особенности геологической структуры, которые могут указывать на потенциально опасные зоны. Например, изменения в амплитудах сейсмических волн могут свидетельствовать о наличии трещин или пористых зон, через которые могут проникать газы или другие опасные флюиды.

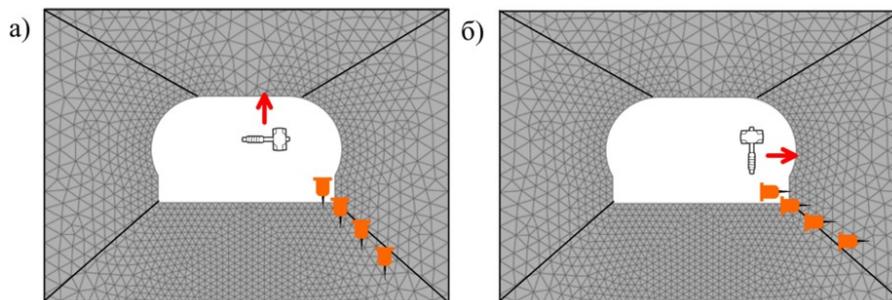


Рис. 1. Сейсмоакустические исследования во внутренних точках среды

Для изучения строения и состояния породного массива в границах обрабатываемой площади одного из соледобывающих рудников проведены сейсмоакустические исследования во внутренних точках среды [3]. Для достижения поставленных целей в ходе сейморазведочных шахтных исследований была применена методика многократных перекрытий. Параметры систем регистрации определены на основании ранее проведенных исследований в границах гидроизолирующих целиков (рис.1).

Участки осложнений волнового поля выделяются на профильных линиях на основе нарушений структуры волновой картины, снижения интенсивности и изменения скоростной характеристики (рис1а). При их определении учитывается согласованность отрицательных изменений анализируемых сейсмических параметров, представленная на разрезах комплексного параметра (рис.1б). Расчет этого параметра основан на совместном использовании различных количественных характеристик волнового поля: частоты, эффективной скорости, амплитуды и отношения сигнал/шум.

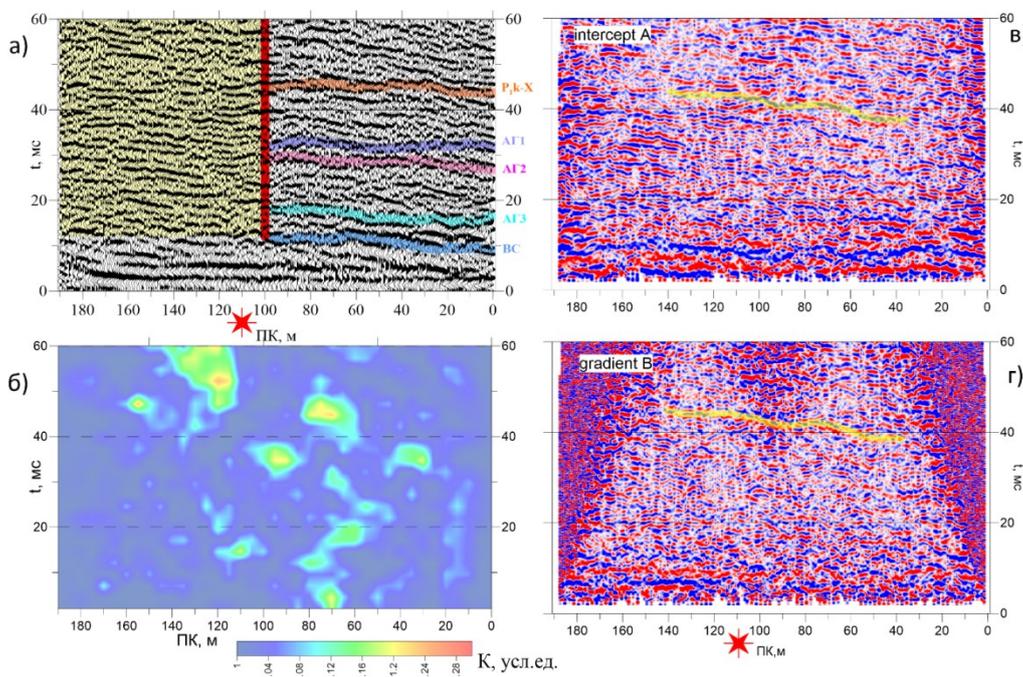


Рис. 2. Результаты интерпретации:

а) временной разрез, б) разрез комплексного параметра, в) интерцепт А, г) градиент В

По результатам интерпретации шахтных сейсмоакустических исследований, ряд выделенных осложнений волнового поля объединён в более общие зоны. На исследуемой площади на нескольких профилях выделяется однотипное осложнение волнового поля.

Оно проявляется: нарушениями в корреляции отражающих горизонтов на фоне их погружения; снижением интенсивности волновой картины для высокочастотного представления и по результатам миграции; вертикально-ориентированным понижением значений эффективных скоростей продольных волн. Подобные изменения сейсморазведочных параметров могут быть связаны с зонами повышенной трещиноватости. Таким образом, по результатам интерпретации сейсморазведочных данных можно предположить наличие в изучаемой части площади область повышенной проницаемости, с которой, вероятно, связано зафиксированное здесь газодинамическое явление.

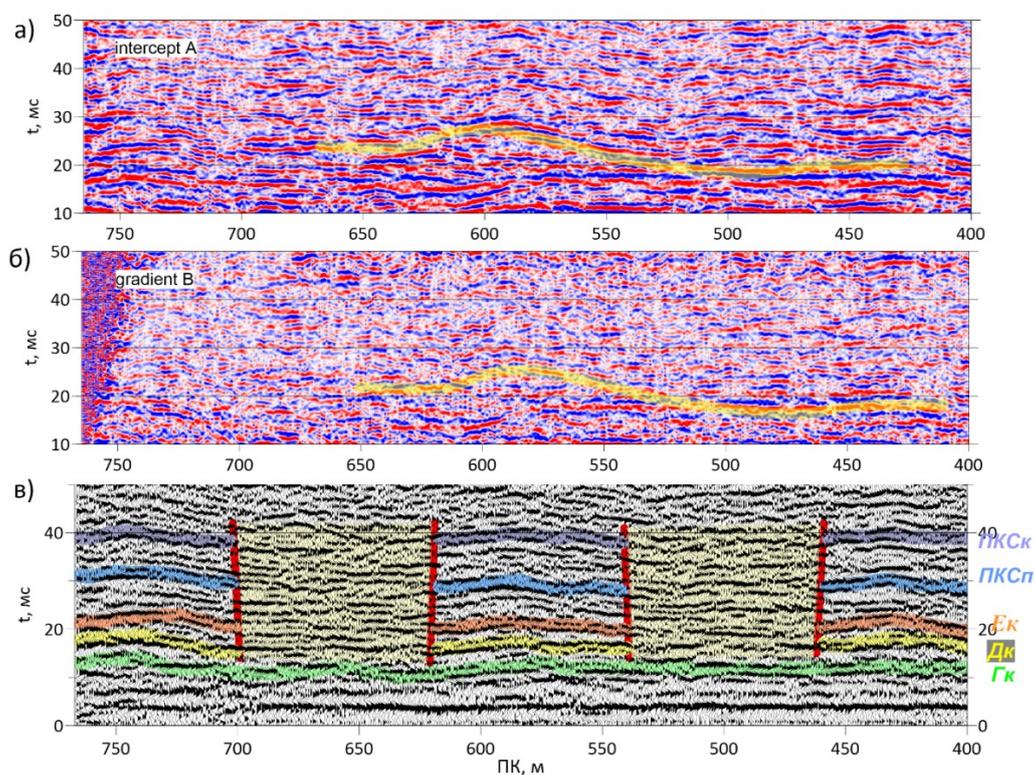


Рис. 3. Фрагмент временного разреза по шахтному профилю и результаты динамического анализа

Результатом динамического анализа сейсмоакустических данных является построение разрезов так называемых коэффициентов А и В [4]. Разрез А (*intercept A*) представляет собой значение амплитуды сейсмического отражения при нулевом угле отражения. Интерсепт может дать информацию о физических свойствах пород, таких как плотность. (рис. 1в). Разрез В (*gradient B*) характеризует скорость изменения амплитуды сейсмических отражений в зависимости от угла падения волн (*offset*). Градиент АVO характеризует скорость изменения амплитуды сейсмического отражения и может быть использован для оценки гетерогенности или наличия газа в породе (рис. 1г). Оба эти параметра (интерсепт и градиент) играют важную роль в интерпретации сейсмических данных и помогают определять свойства пород и их состав в массиве обрабатываемого пространства.

При совместном анализе этих разрезов можно выделить зону так называемого «тусклого пятна» - области на сейсмическом временном разрезе, где наблюдается уменьшение амплитуды или интенсивности сейсмического сигнала. Это может происходить из-за различных причин, среди которых, кроме геологических особенностей массива пород и геометрических факторов, большое влияние оказывает *наличие газа* в породе [5]. Это приводит к изменению скорости распространения сейсмических волн и аномальному уменьшению амплитуд с удалением от источника, и созданию тусклых пятен на сейсмических разрезах.

Тусклые пятна могут быть интерпретированы геологами для определения характеристик и свойств подземных структур, таких как наличие или отсутствие зон газо- или флюидообразования, геологические границы и свойства пород. Они могут также служить указателями на потенциальные очаги ГДЯ, требующие дальнейшего изучения.

Приведенный на рис. 3 анализ выполнен по данным шахтных сейсмоакустических исследований, проведенных на одном из шахтных полей Верхнекамского месторождения. Здесь по результатам сейсморазведки выделены области с нарушениями в корреляции отражающих горизонтов на фоне их погружения, а также повышенным затуханием и пониженными значениями скоростей продольных волн. Судя по распределению значений отношения скоростей поперечных (S) и продольных (P) волн, данные осложнения связаны с повышенной трещиноватостью породного массива. Эти области были частично подтверждены данными подземной электроразведки. По результатам динамического анализа так же отмечены области, где наблюдается аномальное уменьшение амплитуды или интенсивности сейсмического сигнала с удалением от источника (рис. 3 а, б).

Динамический анализ сейсморазведочных данных является дополнительным инструментом для прогнозирования опасности газодинамических явлений на соледобывающих шахтах. Интеграция AVO-анализа с другими методами, такими как магнитометрия, электроразведка и геохимические исследования, позволяет создать комплексную модель геологической структуры и потенциальных рисков. Использование таких комплексных подходов может значительно повысить эффективность мер по обеспечению безопасности на рудниках и других объектах горнодобывающей промышленности. Такие методы могут также быть полезными при планировании новых горных выработок, помогая выбирать оптимальные места для бурения скважин и размещения инфраструктуры с учетом минимизации рисков газодинамических процессов.

Необходимо отметить, что для полного использования преимуществ метода AVO требуется тщательная обработка сейсмических данных, чтобы любые заметные изменения амплитуды были исключительно результатом физических изменений в подземных структурах, а не артефактами обработки. Основная цель обработки данных для AVO заключается в том, чтобы отобразить сейсмограммы с изменением «истинной амплитуды» в зависимости от угла отражения. Отличие между традиционной обработкой и обработкой для AVO заключается в том, что, помимо необходимости восстановления истинной амплитуды, обработка для AVO требует значительного улучшения отношения сигнал/шум.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500029-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Барях А.А., Андрейко С.С., Федосеев А.К. О механизме локализации очагов газодинамических явлений в почве сильвинитовых пластов // Вестн. ПНИПУ: Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 247-254. – DOI: 10.15593/2224-9923/2017.3.5.
3. Геомеханическое заключение и прогноз состояния водозащитной толщи на основе комплексных геофизических исследований и инструментальных наблюдений на потенциально-опасном участке в районе скважины № 492 БКПРУ-4: отчет о НИР / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2022. – (Фонды ГИ УрО РАН).
4. Фатькин. К.Б. Локализация и идентификация физико-геологических неоднородностей соляной толщи методами сейсмического амплитудного анализа (на примере ВКМКС): автореф. дис. ... канд. техн. наук. 25.00.16: защищена 20.11.08 / Фатькин Константин Борисович. – Пермь, 2008. – 22 с.
5. Chopra S., Marfurt K.J. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. – OK USA, 2007. – 481 p.