

Аномальные зоны характеризуются уменьшением скорости продольных волн на 23-25% и плотности на 10-12% относительно общего тренда распределения по разрезу.

Выделенные по прогнозу распределения упругих свойств аномальные зоны подтверждаются данными других методов и априорной геологической информацией. Коррелируемость результатов прогнозов по разным методам дает возможность сделать заключение о применимости описанного в работе подхода к прогнозу упругих свойств ввиду отсутствия достаточного объема информации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О результатах геологоразведочных работ, проведенных на Тюбегатанском месторождении калийных и калийных солей в 1959-65 гг. (с подсчетом запасов калийных солей по состоянию на 1.1.1966 г.): Отчет / Самаркандский комплексный геологоразведочный трест. Кашкардарьинская геологоразв. экспедиция; Мальцев А.М., Потрац А.И., Чабаненко В.В. [и др.]. – Китаб, 1965.
2. Геомеханические исходные данные для проектирования отработки Тюбегатанского месторождения калийных солей: отчет о НИР / ОАО «Галургия» – Пермь, 2008.
3. Заключение об исследованиях физико-механических свойств пород промышленного пласта и вмещающих пород Тюбегатанского месторождения калийных полей: этап 1, по договору № 334Д/2010 / ОАО «Галургия»; Марakov В.Е., Клепизонова И.Г. [и др.]. – Березники, 2010.
4. Шахтные высокоразрешающие сейсморазведочные исследования в пределах шахтного поля рудника Дехканабадского завода калийных удобрений: отчет по договору № 86/2013 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – 75 с.
5. Zoback M.D. Reservoir Geomechanics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 449 p.
6. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. – М.: Госгиптехиздат, 1955. – 492 с.
7. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The rock physics: handbook. – Cambridge University Press, 2009. – 525 с.
8. Хилгерман Ф. Д. Интерпретация амплитуд в сейсморазведке. – Тверь: ГЕРС, 2010. – 256 с.
9. Gardner G.H.F., Gardner L.W., Gregory A.R. Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps // Geophysics – 1974. – V. 39, № 6. – С.770 – 780. – DOI: 10.1190/1.1440465.

УДК 550.834.05

DOI:10.7242/echo.2022.4.17

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА УВЛАЖНЕНИЯ В ШАХТНОЙ ВЫРАБОТКЕ ПРИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

К.Б. Фатькин

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Показан опыт использования сейсмоакустических исследований во внутренних точках среды для обнаружения областей увлажнения. В комплексе обработки и интерпретации полученных данных применена методика анализа изменения удалений отраженной волны с удалением источника-приемник.

**Ключевые слова:** шахтная сейсмоакустика, зоны трещиноватости и разуплотнения, флюидонасыщение, динамический анализ, дистанционный прогноз, отраженные волны.

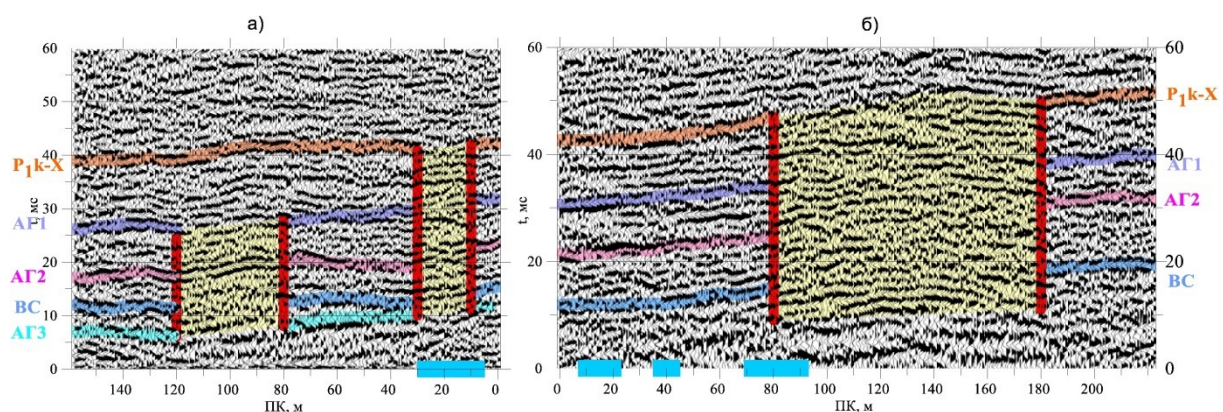
В работе представлены результаты цифровой обработки и интерпретации сейсмоакустических данных, полученных в подземной выработке на месторождении калийных солей. В решаемые задачи входили изучение строения и состояния породного массива, а также поиск и локализация участков с признаками увлажнения. Для этого проведены сейсмоакустические исследования в шахтных условиях по методике многократных перекрытий. Параметры систем регистрации определены

на основании ранее проведенных исследований в границах гидроизолирующих целиков. На особых участках с признаками увлажнений выполнена многоволновая цифровая обработка с выделением отраженных волн продольного (P) и поперечного (S) типа. На участке работ в пределах шахтного поля рудника ранее выполнен ряд геолого-геофизических исследований, включающий наземные сейсморазведочные исследования [1], структурное и разведочное бурение скважин с отбором керна.

Исходные данные для этапа интерпретации обычно представлены следующими параметрами волнового поля: структура волновой картины, представленная на временном разрезе по общей глубинной точке; ее кинематическая составляющая, оцениваемая по скоростной характеристике, представляющей распределение эффективных скоростей во временной области; интенсивность, оцениваемая по динамическому временному разрезу и его модификациям в различных интервалах частот.

В процессе интерпретации по нарушениям структуры волновой картины, снижению интенсивности и значениям скоростной характеристики на профильных линиях выделяются участки осложнений волнового поля. При их локализации учитывалась согласованность негативных изменений анализируемых сейсмических параметров, представленная на разрезах комплексного параметра. Разработка графа цифровой обработки для профилей в границах гидроизолирующих целиков и водозащитной толщи проведена с учётом ранее выполненной обработки сейсмоакустических данных, полученных в пределах гидроизоляционных целиков в подобных выработках на других направлениях [2].

Прогнозная количественная оценка ухудшения прочностных свойств возможна по распределению интервальных скоростей в исследуемом интервале геологического разреза. В соответствии с положениями [3], сейсморазведочные данные, зарегистрированные в рамках одной полевой технологии, как и на предыдущем этапе, подвергались двойной обработке с целью выделения продольных (P) и поперечных волн вертикальной поляризации (SV) при наблюдениях в вертикальной плоскости. При прогнозировании возможных причин отмеченных осложнений волнового поля рассматривалось отношение эффективных скоростей P и S волн.



**Рис. 1.** Временные разрезы по подземным сейсмоакустическим профилям № 6 (а) и № 7 (б).  
На шкале пикетажа выделены области проявления увлажнения

В местах, где были обнаружены проявления увлажнения породного массива, пройдены одиночные сейсмоакустические профильные линии № 6 и № 7. На участках осложнений волнового поля по данным профилям отмечаются локальные отрицательные аномалии отношения скоростей разнотипных волн, что вполне может быть связано с повышенной влажностью породного массива в пределах их

распространения по разрезу (рис. 1). При этом данные аномалии ограничиваются относительно повышенными значениями, что может быть вызвано повышенной пустотностью массива.

Принимается во внимание повышенное влияние на скорость распространения продольных волн зон с некачественными акустическими контактами за счет повышенной трещиноватости, пористости. Подобные зоны могут отмечаться повышенными значениями отношения скоростей распространения поперечных волн относительно продольных ( $Y=V_s/V_p$ ). Пониженные значения данного параметра, согласно [4], могут быть вызваны глинитизацией разреза или его повышенным увлажнением. В других случаях предполагается изменчивость физических свойств одной литологической разности. В связи с подобными предположениями выделяемые осложнения могут делиться на литологические, структурные (тектонические) и их сочетание. Литологические подразумевают в основном изменение физических свойств, а для структурных (тектонических) допускается целый ряд факторов. К ним относятся относительно повышенная трещиноватость и неустойчивая гипсометрия отражающих границ.

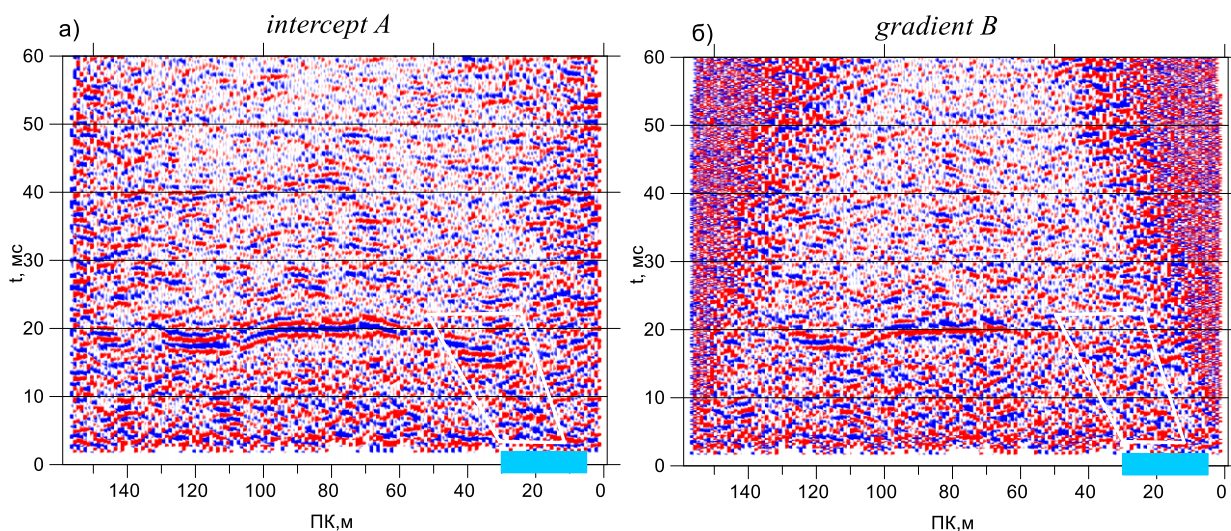


Рис. 2. Разрезы AVO атрибутов intercept A (а) и gradient B (б) по профилю 6

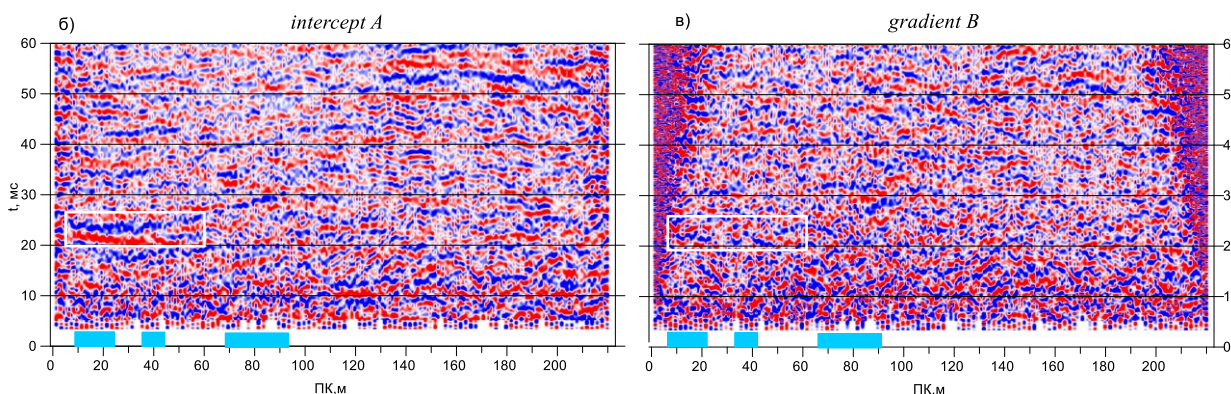


Рис. 3. Разрезы AVO атрибутов intercept A (а) и gradient B (б) по профилю 7

Наряду с этим, в качестве возможности извлечения дополнительной информации из сейсмических амплитуд в процессе обработки использован AVO-анализ сейсмических данных [5]. Как известно, характер изменения амплитуд сейсмического сигнала с удалением от источника сейсмические интерпретаторы связывают с изменениями в геоло-

гии с точки зрения свойств горных пород. Решающим моментом в амплитудном анализе является осознание того, что достоверность результатов зависит от характера сбора данных и качества обработки, с возможностью сохранения исходных – *истинных* – амплитуд на результирующей записи.

Это предположение должно быть истинным, если мы хотим прийти к точным выводам. Чтобы обеспечить это, сначала необходимо понять и учесть факторы, влияющие на сейсмические амплитуды, а затем обработать данные таким образом, чтобы изменения амплитуды можно было достоверно интерпретировать как изменения свойств горных пород и флюидов [6].

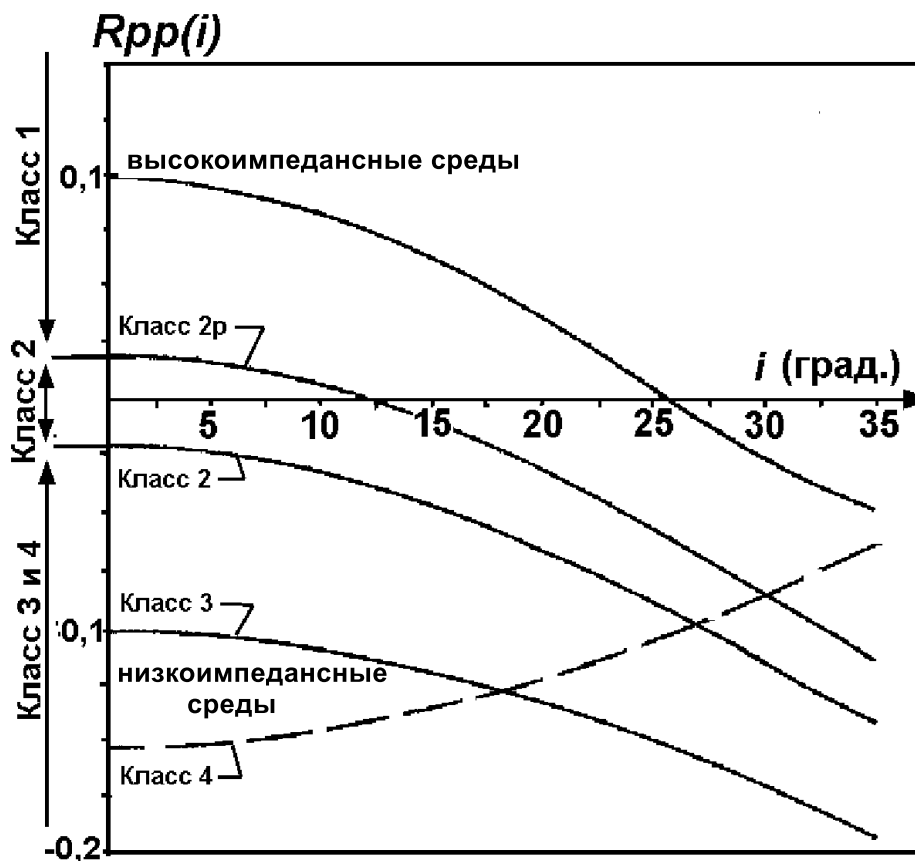


Рис. 4. Кривые коэффициентов отражения от поверхности коллектора в зависимости от углов падения, вычисленные в некотором диапазоне небольших коэффициентов  $R_P$  [7]

На рисунках 2 и 3 представлены разрезы AVO атрибутов по профилям № 6 и № 7. Первый – *intercept A* представляет собой набор сейсмотрасс, выбранных на нулевом удалении источник-приемник, т.е. соответствующих *нормальному* падению лучей на отражающую границу. Разрез *gradient B* – это выборка сейсмотрасс, на удалении источник-приемник, при котором угол падения луча на границу раздела соответствует 25-30 градусам. Коэффициент отражения высокоимпедансной среды положителен для нулевого удаления и уменьшается с удалением. Степень изменения амплитуды от удаления (*gradient B*) для вмещающих сред 1-го класса обычно больше, чем для сред классов 2 и 3 (рис. 4.). Градиент зависит от  $R_P$ , а также от контраста коэффициентов Пуассона с обеих сторон границы. Характер этой зависимости – при уменьшении  $R_P$  и с уменьшением коэффициентов Пуассона градиент также уменьшается [7]. Подобное поведение амплитуды отраженного сигнала можно наблюдать на представленных разрезах AVO.

По результатам интерпретации сейсмоакустических данных можно предположить наличие в северо-западной части площади области повышенной проницаемости. В центральной части участка повышенной влажности породного массива на профилях № 6 и № 7 прогнозируются различным распространением по геологическому разрезу. Для профиля № 6 предположительно – до кровли кунгурских отложений, а для профиля № 7 – до АГЗ (рис. 1). Кроме того, по данным анализа изменения амплитуды сейсмического сигнала с удалением на профиле № 6 эта область прослеживается по границе отражающего горизонта АГ2 (кровля ангидрит-галитовой породы) с дальнейшим проявлением в начальной части профиля в районе пикета 20 (рис. 2), где и отмечены проявления увлажнения. На профиле № 7 эта область так же коррелируется с границей отражающего горизонта АГ2 в начальной части профиля (рис. 3).

Следует отметить, чтобы в полной мере использовать преимущества метода АВО, сейсмические данные должны быть тщательно обработаны таким образом, чтобы любое заметное изменение амплитуды было исключительно результатом отражающих изменений, а не результатом какого-либо артефакта обработки. Конечная цель обработки для АВО тогда состоит в том, чтобы отобразить сейсмограммы с изменением «истинной амплитуды» со смещением. Основное различие между традиционной обработкой и обработкой АВО заключается в том, что помимо необходимости получения информации истинной амплитуды, при обработке АВО может быть достигнуто значительное улучшение отношения сигнал/шум.

АВО-эффекты могут быть подавлены неосторожной обработкой или неблагоприятными геологическими условиями, которые приводят к высокому уровню шума или реверберации или маскируются серьезными изменениями покрывающих пород [8].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексная оценка устойчивости водозащитной толщи при ведении в ней буровзрывных работ в районе околоствольного двора рудника Гремячинского ГОКа: отчет по договору № 16/1-6/99 от 10.05.10 с ООО «ЕВРОХИМ-ВОЛГА-КАЛИЙ» / ГИ УрО РАН; рук. И.А. Санфиоров, С.С. Андрейко. – Пермь, 2011. – 89 с. – (Фонды ГИ УрО РАН).
2. SCS-PC / под ред. Голярчук Н.А. Система обработки. – Норильск, 2014-2019.
3. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Сальников А.П. Контроль состояния горного массива методами многоволновой шахтной сейсморазведки // Горн. вестн. – 1998. – № 6. – С. 94-99.
4. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: (Петрофизика). Справ. геофизика / под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, – 1984. – 455 с.: ил.
5. 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.
6. Chopra S., Marfurt K.J. Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. 2007.
7. Castagna J.P., Swan H.W., Foster D.J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation // Geophysics. – 1998. – V. 63, № 3. – С. 948-956. – DOI: 10.1190/1.1444406.
8. Chopra S., Castagna J.P. Introduction to this special section – AVO // Leading Edge (Tulsa, OK). – 2007. – V. 26, № 12. – P. 1506-1507. – DOI: 10.1190/1.2821935.