

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ И СКВАЖИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА ШАХТНОГО ПОЛЯ

А.Д. Тезиков

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Основное внимание уделено сейсморазведочному мониторингу водозащитной толщи, которая подвержена вторичным изменениям в результате техногенного воздействия. Выявлены зоны изменения свойств породного массива, связанные с возможным негативным влиянием на целостность водозащитной толщи. Применение комплексного подхода с использованием методов ВСП и ОГТ позволило локализовать области максимальных негативных изменений и установить их пространственное распространение.

Ключевые слова: сейсморазведка, методика общей глубинной точки, вертикальное сейсмическое профилирование, комплексирование.

Введение

Сейсмические исследования с применением комплекса методов вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и общей глубинной точки (ОГТ) осуществляются с начала 1960-х гг. Метод ВСП, предложенный Е.И. Гальпериним, и разрабатываемый с 1959 г. в ИФЗ АН СССР, быстро зарекомендовал себя как эффективный способ изучения непосредственно околоскважинного пространства и толщи пород в радиусе нескольких километров вокруг скважины. В современной практике ВСП, применяемое в основном в нефтегазовой сейсморазведке, выполняет две основные задачи: параметрическое обеспечение методики ОГТ и самостоятельное изучение околоскважинного пространства. В рамках первой задачи результатом работ ВСП становятся скоростные модели, используемые при обработке данных наземной сейсморазведки, а также осуществляется стратиграфическая привязка отражающих горизонтов и обоснование оптимальной методики и системы наблюдений. В рамках второй задачи результатом является информация о структурных и литолого-стратиграфических особенностях разреза, то есть данные, аналогичные получаемым при обработке и интерпретации сейсморазведки МОГТ [1]. Таким образом, в рамках задач нефтегазовой сейсморазведки при комплексных сейсмических исследованиях ВСП в основном применяется как метод параметрического обеспечения работ МОГТ.

Однако сейсморазведка активно используется для решения широкого спектра задач помимо нефтегазовых. Так, в настоящее время на Верхнекамском месторождении калийных солей осуществляется непрерывный сейсморазведочный мониторинг состояния водозащитной толщи (ВЗТ).

Поскольку Верхнекамское месторождение разрабатывается шахтным способом, горное давление в недрах перераспределяется, что может привести к возникновению техногенных разломов и трещин, по которым поверхностные воды и воды близлежащих водоносных горизонтов способны проникать в водозащитную толщу и в продуктивные соляные пласты, растворяя их [2]. Поэтому любые изменения в толще пород, перекрывающих калийную залежь, необходимо своевременно выявлять. Задача прогнозирования и обнаружения зон вторичных изменений породного массива на соляных месторождениях является критически важной в процессе разработки. Любые изменения в массиве пород могут рассматриваться как индикаторы негативных постседиментационных воздействий на целостность водозащитной толщи и нести в себе риски для эксплуатации месторождения [3]. Своевременное обнаружение и локализация областей подобных изменений – задача мониторинговых исследований.

Скважинные и поверхностные сейсморазведочные исследования составляют основу комплекса геофизического мониторинга. Наземные сейсморазведочные работы реализуются в рамках методики ОГТ. Скважинные включают в себя прямое и обратное ВСП, скважинное ОГТ и межскважинное сейсмоакустическое просвечивание (МСП).

Для решения задач мониторинговых исследований наземные и скважинные сейсморазведочные исследования целесообразно применять в комплексе, поскольку такой подход способен повысить качество получаемых результатов и, соответственно, надежность прогнозов. В качестве примера подобного комплексного подхода выполнен совместный анализ данных вертикального сейсмического профилирования и общей глубинной точки в рамках мониторинга аварийного участка (рис. 1).

Малоглубинная сейсморазведка ОГТ

Наземные сейсморазведочные малоглубинные исследования проведены по методике общей глубинной точки по профильным линиям в двухмерном варианте. Данный подход зарекомендовал себя как эффективный инструмент геофизического мониторинга, позволяющий в краткие сроки получать сейсмический материал необходимого для дальнейшей обработки и интерпретации качества [4].

Основные параметры применяемой системы наблюдений:

- источник сейсмических колебаний – снаряд типа «падающий груз» [5];
- приемники сейсмических колебаний – однокомпонентные электромагнитные геофоны;
- шаг пунктов возбуждения – 8 м;
- шаг пунктов приема – 8 м;
- длительность записи – 750 мс (0,75 с);
- шаг квантования (дискретизации) – 0,5 мс.

Полученный исходный сейсмический материал обработан по стандартному графу обработки данных малоглубинной сейсморазведки, включающему процедуры полосовой и режекторной фильтрации, расчет и ввод статических поправок, пространственную фильтрацию в области f - k , вычитание наиболее интенсивных волн-помех, ввод кинематических поправок и окончательное суммирование по ОГТ.

В результате обработки и интерпретации сейсмических материалов получены временные амплитудные разрезы (рис. 2а), а также разрезы комплексного параметра (рис. 2б) и модель скоростей распространения сейсмических волн по методике MASW (рис. 2в).

Исследования ВСП

Работы по методу ВСП осуществляются в его обратном варианте, когда источник сейсмических волн погружается в скважину, а приемники колебаний располагаются на поверхности по сети профильных линий [6].

Для возбуждения импульса применяется специализированный электроискровой источник с максимальной энергией импульса 2500 Дж. Возбуждение происходит в скважине СКВ-1 (рис. 1). Запись сигнала осуществляется с использованием классических однокомпонентных геофонов. Шаг пунктов приема по профилю – 4 м, длительность записи – 300 мс с шагом квантования 0,2 мс.

Комплексный анализ данных ВСП и ОГТ

Для непосредственного сопоставления материалов выбран профиль ВСП-3, поскольку он параллелен профилю ОГТ и находится на относительно небольшом удалении – около 40 м.

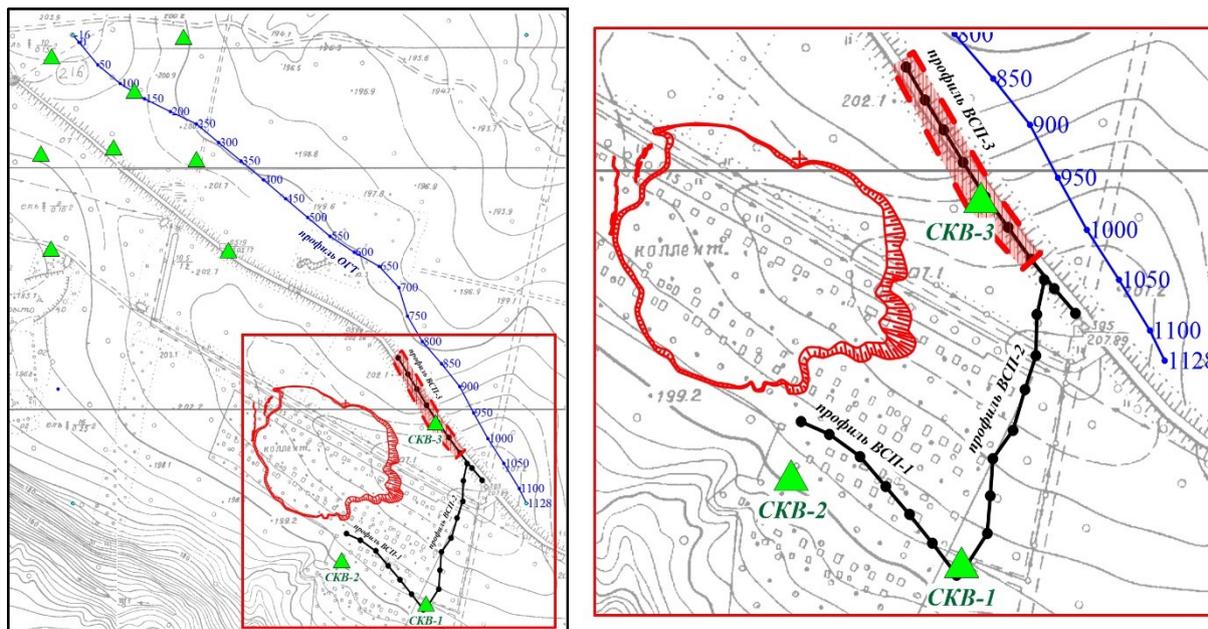


Рис. 1. Обзорная схема работ МОГТ и ВСП

(синим цветом отмечен сейсмический профиль ОГТ; черным – профили наблюдений при работах ВСП; зеленым – расположение скважин; красным контуром – эпицентр зоны оседания)

На рис. 2 представлены результаты обработки и интерпретации данных МОГТ. Получен временной амплитудный разрез (рис. 2а), где желтым цветом определена область, в которой проявляются негативные изменения в волновой картине, а красным цветом – эпицентр этой области с максимальными негативными изменениями. Сопоставляя данный разрез со схемой (рис. 1), видим, что область максимальных изменений локализуется на северо-западе в начальной части профиля ОГТ.

Далее на разрезе комплексного параметра (рис. 2б) отчетливо выделяются две области максимальных изменений КП, обозначенные черными прямоугольниками и также указывающие на зоны максимальных негативных изменений. Значения комплексного параметра тем выше, чем сильнее амплитудная, частотная и скоростная характеристика в данной точке отклоняется в отрицательную сторону от среднего значения по профилю. Линия «проекция профиля ВСП» обозначает ту часть профиля ОГТ, в которой расположен профиль ВСП (пикеты 800-1050). Практически весь профиль ВСП находится в области высоких значений комплексного параметра. Наконец, скоростная модель, полученная по методике MASW (рис. 2в), показывает существенное понижение скоростей S-волн на юго-востоке.

Таким образом, результаты анализа материалов МОГТ указывают на существование области негативных изменений в волновой картине, что, вероятно, характеризуется как область изменения (ухудшения) физических свойств горных пород. Область локализуется в пределах практически всего профиля ОГТ и имеет два «эпицентра» – ПК 100-250 и ПК 850-1050.

Далее на рисунке 3 представлены результаты обработки данных ВСП. Поскольку профиль наблюдений не проходит непосредственно через скважину, построить корректный скоростной разрез невозможно. Однако в рамках обработки рассчитаны спектральные параметры сейсмической записи – амплитудная и частотная характеристики. На представленных графиках заметно выделяется область пониженных значений обеих характеристик на ПК 50-200. При этом локальные повышенные зна-

чения около ПК 125 предположительно связаны с влиянием («звоном») скважинной колонны и, таким образом, никак не связаны с физическими свойствами пород. Из результатов обработки следует, что существование ранее обозначенной зоны максимума негативных изменений в юго-восточной части профиля ОГТ подтверждается и по данным ВСП, при этом метод ВСП в силу повышенной разрешающей способности позволяет наиболее точно локализовать области проявления негативных изменений.

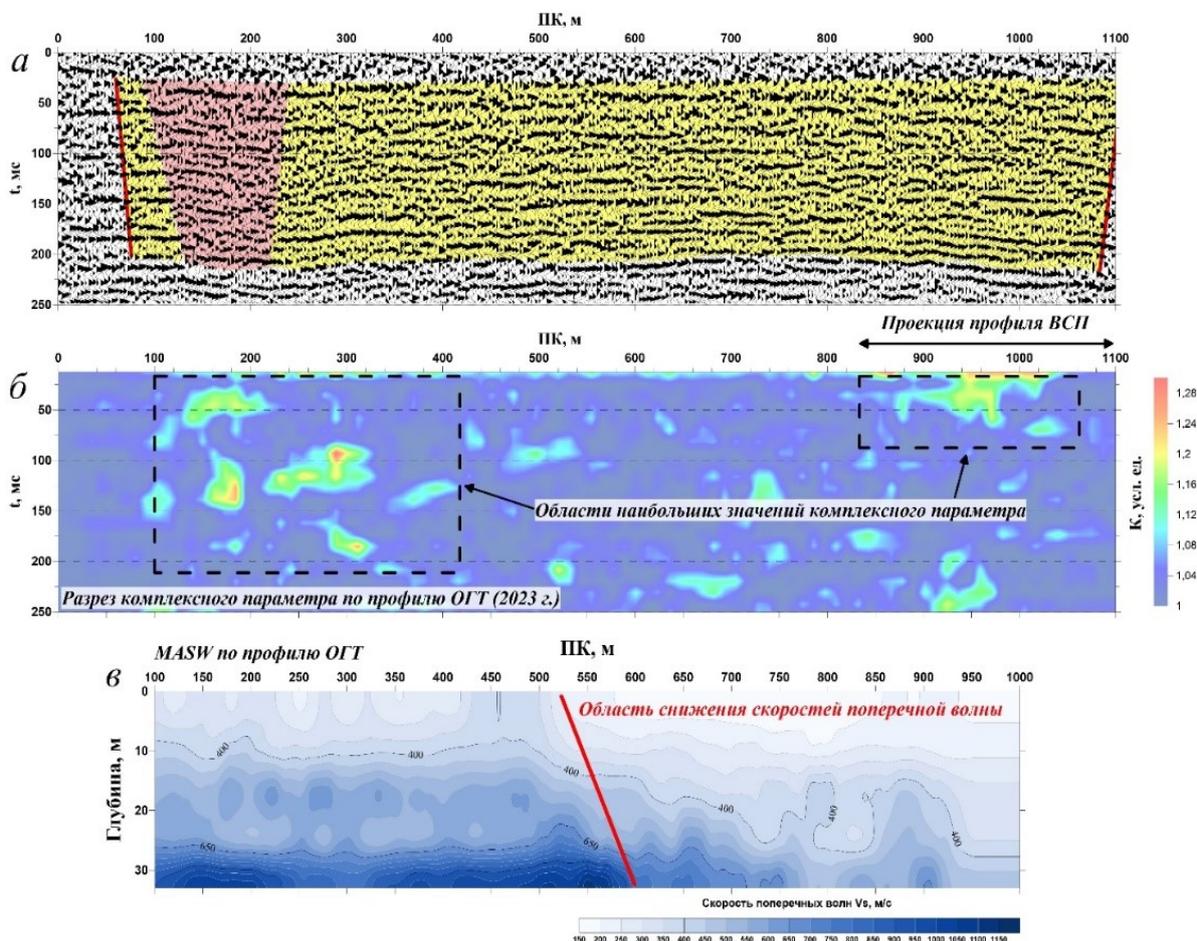


Рис. 2. Результаты обработки и интерпретации сейсмического материала по профилю ОГТ: а – временной разрез; б – разрез комплексного параметра; в – глубинная модель скоростей поперечных (S) волн, на которой в юго-восточной части профиля наблюдается существенное понижение скорости

Совокупность представленных результатов позволяет сделать вывод о том, что зона оседания (рис. 1) распространяется на север и северо-восток изучаемой территории (рис. 2). При этом совместный анализ материалов МОГТ и ВСП позволяет установить направление наиболее заметного распространения – ПК 850-1000 по профилю ОГТ (рис. 4). Это заключение подкрепляется совокупностью результатов обработки сейсмических данных: повышенные значения комплексного параметра, снижение скоростей по материалам MASW, а также изменение спектральных характеристик в записях ВСП.

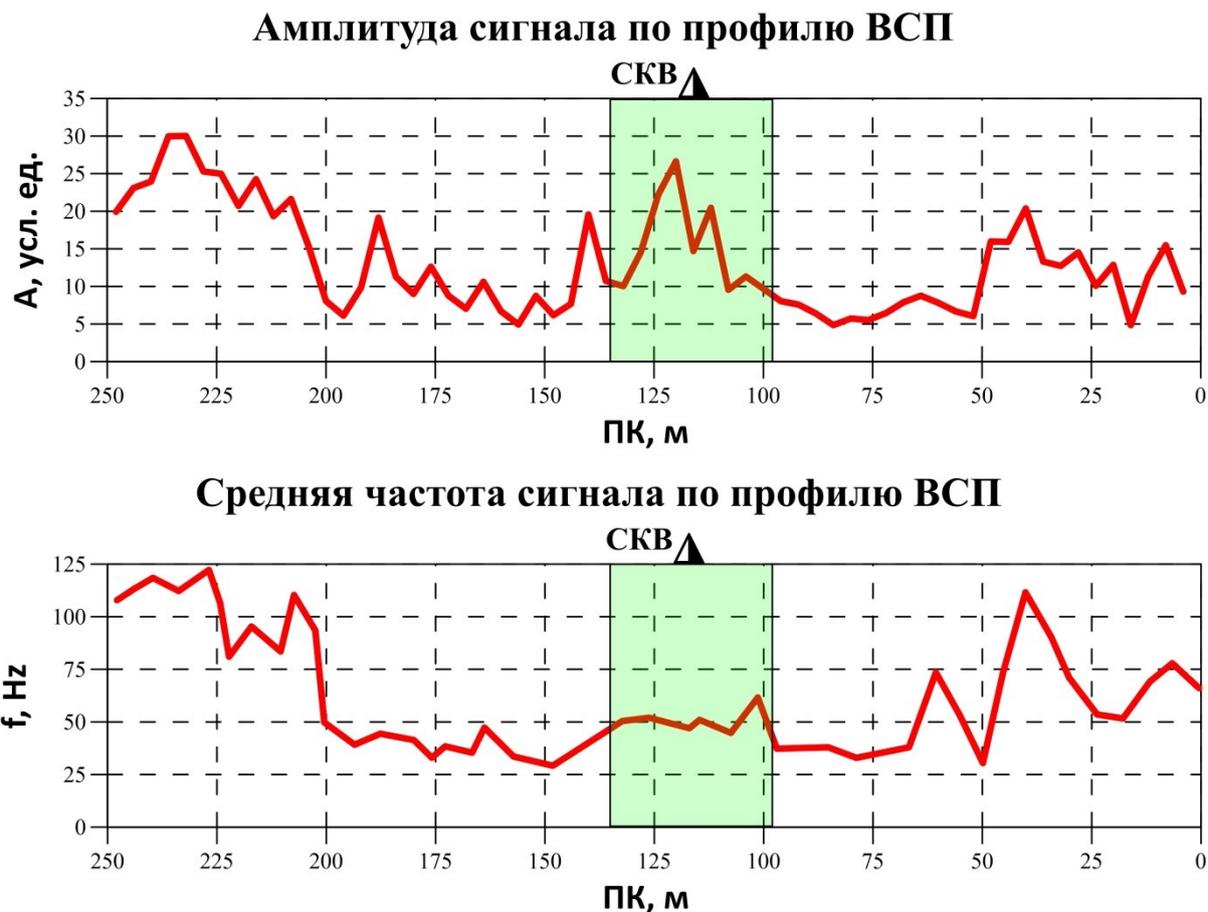


Рис. 3. Амплитудная и частотная характеристика сигнала по профилю ВСП-3 (зеленым цветом обозначена область, в которой, предположительно, наблюдается влияние скважинной колонны)

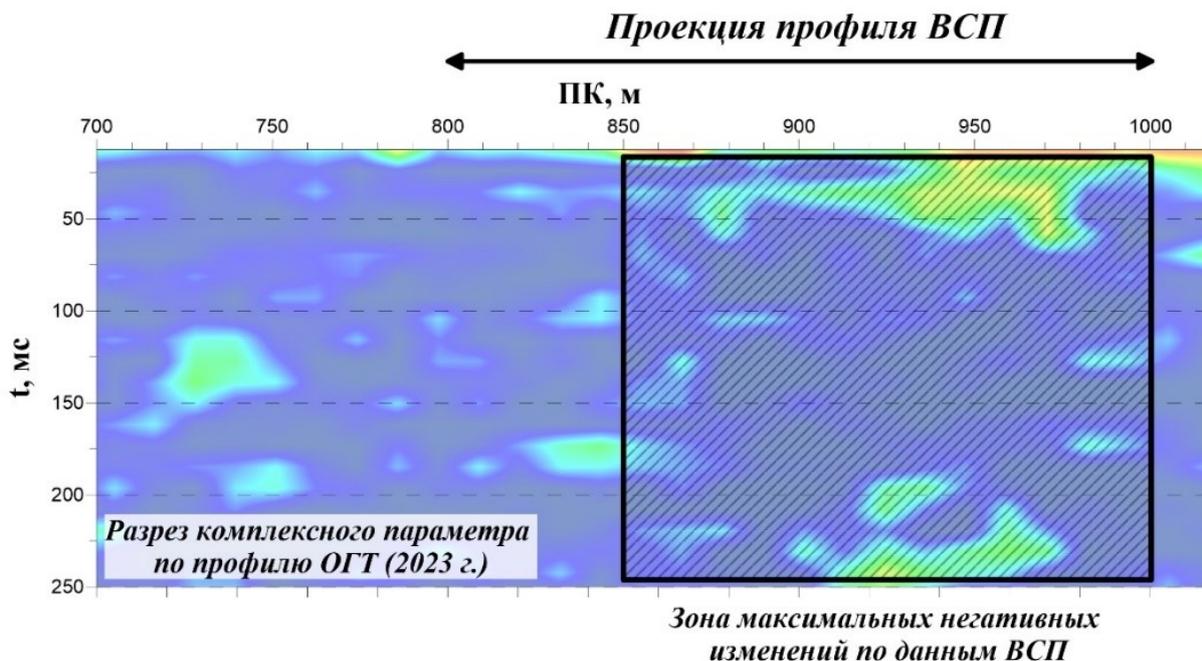


Рис. 4. Зона максимальных негативных изменений по данным ВСП (черный прямоугольник), нанесенная на разрез комплексного параметра ОГТ

Заключение

Комплексный анализ данных малоглубинной сейсморазведки ОГТ и исследований ВСП на аварийном участке подтвердил эффективность интеграции методов для улучшения качества прогнозов. Выявлены области негативных изменений в породном массиве, указывающие на ухудшение физических свойств и потенциальные риски для водозащитной толщи. Использование данных ОГТ в совокупности с высокоразрешающими результатами ВСП позволило точно локализовать зоны наибольших изменений и установить их пространственные границы.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Недра, 1982. – 344 с.: ил.
2. Данильева Н.А., Данильев С.М., Большакова Н.В. Выделение глубокозалегающего рассольного водоносного горизонта в породах хемогенного разреза по данным геофизических исследований скважин и 2D-сейсморазведки // Записки Горного института. – 2021. – Т. 250. – С. 501-511. – DOI: 10/31897/PMI.2021.4.3.
3. Жикин А.А., Чайковский И.И., Санфилов И.А., Ярославцев А.Г. Прогнозирование гипергенных пород соляного массива по результатам шахтных сейсмоакустических исследований // Геофизика. – 2022. – № 5. – С. 90-98.
4. Санфилов И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
5. Бобров В.Ю., Старков В.В., Чирков А.В., Скидан С.С., Барсуков Е.Н. Источники упругих волн на урбанизированных территориях при малоглубинных сейсморазведочных исследованиях // Геофизика. – 2023. – № 5. – С. 49-56.
6. Санфилов И.А., Чугаев А.В., Бабкин А.И., Лисин В.П., Бобров В.Ю. Горнотехнические приложения малоглубинной скважинной сейсморазведки // Геофизика. – 2018. – № 5. – С. 24-30.