

КАРТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗОН НАРУШЕННОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА СКВАЖИННЫМИ И НАЗЕМНЫМИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

А.И. Никифорова¹, А.В. Чугаев¹, В.П. Лисин²

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь

²Interseis, Латвия

Аннотация: Комплексирование скважинных и разномасштабных сейсморазведочных исследований позволяет получать подробное представление о геологической модели среды на различных этапах эксплуатации калийного рудника. В рамках предложенной методики выполнены исследования в юго-восточной части Верхнекамского месторождения.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, интерактивная сейсморазведка, скважинные сейсмические исследования, зоны трещиноватости.

Деятельность горного предприятия на разных стадиях его развития связана с разномасштабным воздействием на породный массив. Минимизация и прогноз негативных последствий подобного влияния базируются на адекватной оценке его реакции. На начальном этапе воздействие локально и связано с формированием необходимой для дальнейшей деятельности инфраструктуры: стволы, подготовительные выработки. В дальнейшем при значительных объемах выработанного пространства возникают вопросы оценки устойчивости как самого породного массива, вмещающего горные выработки, так и действующих на его поверхности промышленных объектов горно-технического профиля. В рамках решения комплекса горно-технических и геологоразведочных задач сформированы новые подходы к комплексированию сейсморазведочных исследований – интерактивная сейсморазведка [1]. Основная цель реализации подобной системы – локализация с максимальной степенью детальности участков и интервалов «нарушенности» породного массива. Это возможно за счет ориентированного на конкретный объект сочетания пространственно-согласованных, различных по уровню детализации, а, соответственно, и по масштабам применения методов. Степень детализации возрастает от малоуглубинной сейсморазведки к инженерной, достигая максимума при исследованиях во внутренних точках среды (скважины, выработки). Все виды сейсморазведочных исследований базируются на технических решениях методики многократных перекрытий. За исключением скважинных исследований, аппаратное оснащение носит единый унифицированный характер.

Для апробации данной методики выбран участок шахтного поля соляного рудника в юго-восточной части Верхнекамского месторождения калийных солей.

Решение поставленных задач основано на комплексном подходе, заключающемся в совместном анализе априорной и вновь полученной геолого-геофизической информации. На первом этапе с целью детализации геологического строения и оценки возможной негативной динамики выполнены работы по методике невзрывной малоуглубинной сейсморазведки высокого разрешения. Интерпретация полученных результатов включала детальное рассмотрение качественных и количественных параметров волнового поля по линиям профилей и анализ площадного распределения структурно-физических параметров исследуемого интервала глубин. По нарушениям структуры волновой картины (рис. 1а), снижению интенсивности (рис. 1б) и значениям скоростной характеристики на профильных линиях (рис. 1в) выделен ряд «аномальных» участков. При их локализации учитывалась согласованность негативных изменений анализируемых сейсмических параметров,

представленная на разрезах комплексного параметра (рис. 1г). С целью анализа изменений упругих свойств пород с течением времени сформированы графики интервальных скоростей (рис. 1д).

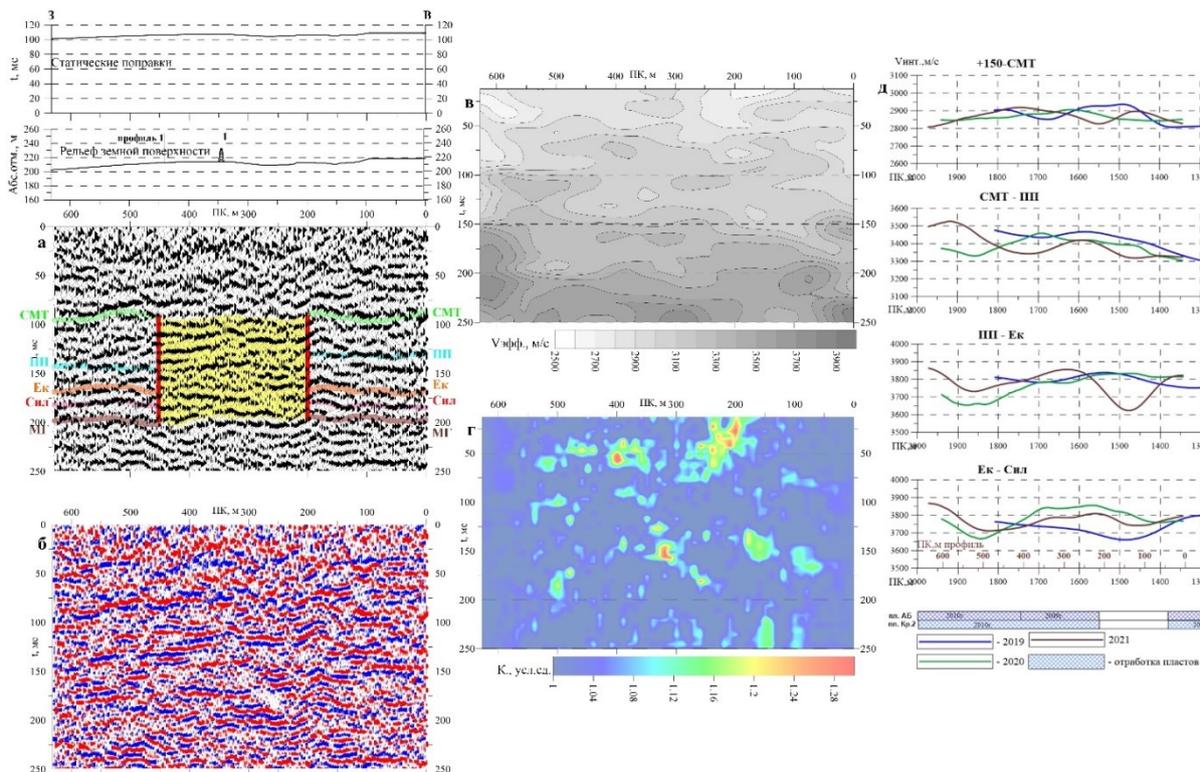
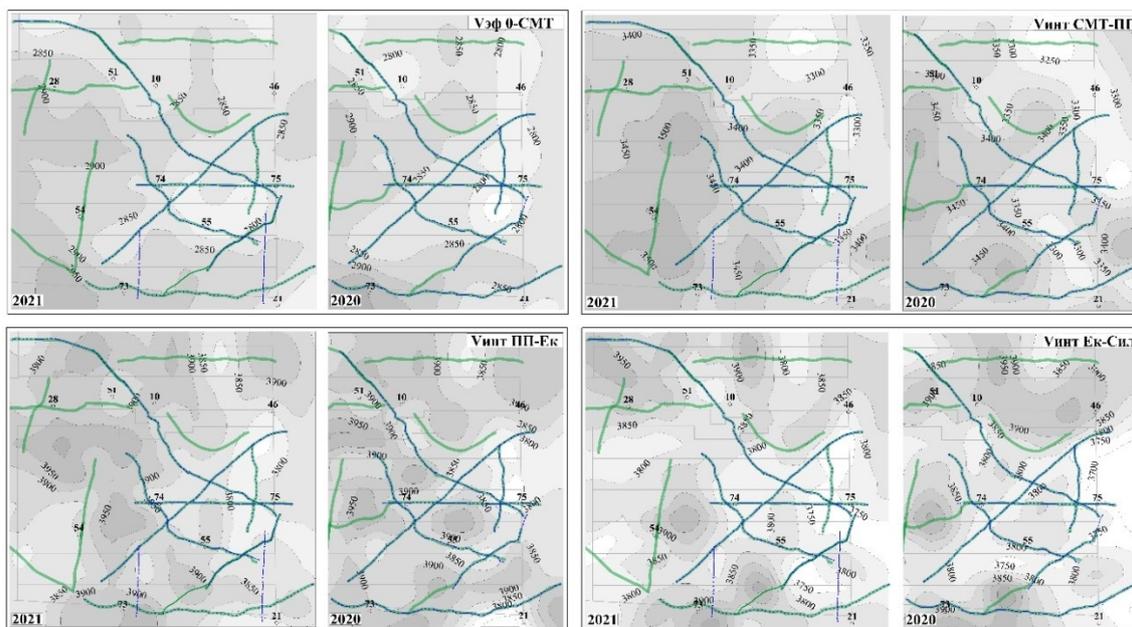


Рис. 1. Результаты цифровой обработки по профилю: а – временной разрез ОГТ; б – динамический временной разрез; в – скоростная характеристика; г – комплексный параметр; д – результаты скоростного анализа



Условные обозначения:
 Сейсмические профили, номера ОГТ: — - прошлых лет — - 2021 г. 46 - скважина, ее номер 2900 - изолиния V

Рис. 2. Схемы интервальных скоростей

Намеченные участки усиления контрастности негативных изменений волновой картины в интервале продуктивной толщи совпадают с зонами пониженных значений, выделяемыми на схемах интервальных скоростей (рис. 2).

С целью оценки возможности реализации критических деформаций в приповерхностных отложениях по причине выявленных осложнений в водозащитной толще (ВЗТ) реализован следующий этап сейсморазведочных исследований – инженерные.

Сейсморазведочные исследования верхней части разреза, выполняемые на втором этапе (рис. 3), сосредоточены в пределах наиболее выразительной зоны с участками осложнений волнового поля в интервале ВЗТ. Процесс интерпретации полученных результатов аналогичен рассмотренному ранее.

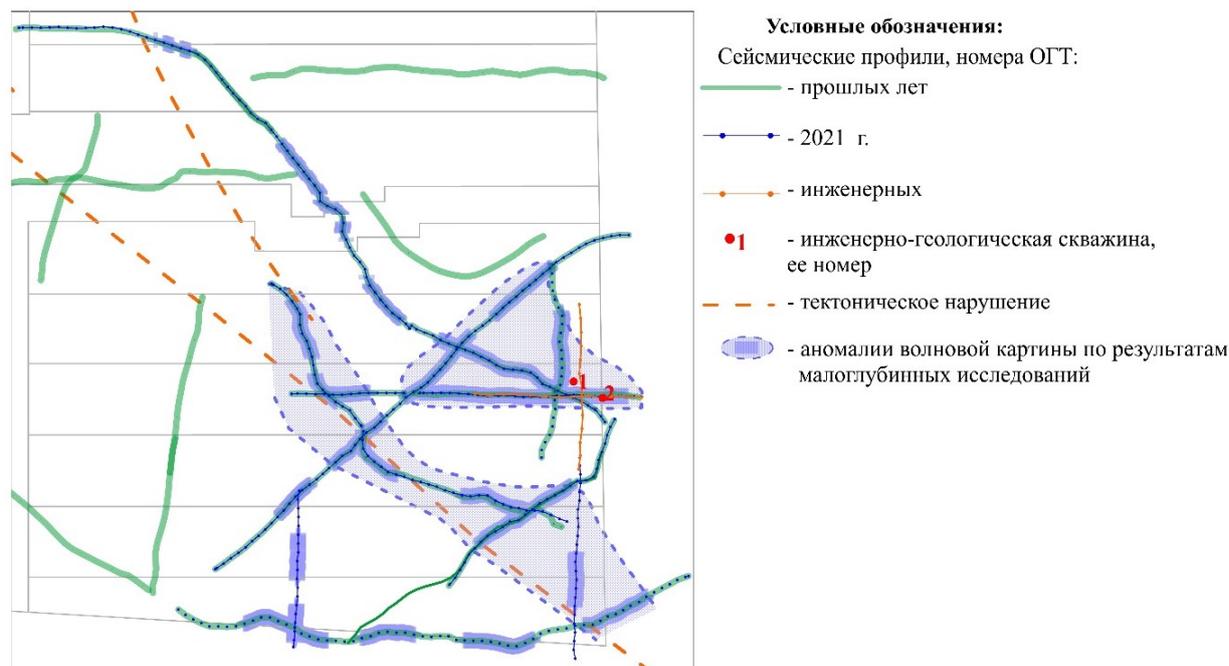


Рис. 3. Схема результатов качественной интерпретации для ВЗТ

На мониторинговых профильных линиях, контролирующих свойства надсоляной толщи, в районе первого участка с предполагаемыми осложнениями ВЗТ также установлены негативные изменения волновых параметров. В связи с этим в рамках реализации стратегии «интерактивной» сейсморазведки для оценки вероятности наличия зон вертикальной трещиноватости в пределах действующего соляного рудника комплекс сейсморазведочных исследований дополнен скважинными наблюдениями в точках 1 и 2 (рис. 3). Они включали: вертикальное сейсмопрофилирование (ВСП), межскважинное просвечивание (МСП) и скважинное профилирование ОГТ (СПОГТ).

Метод ВСП основан на построении поля времен проходящих волн и последующем пересчете этого поля в скоростную трехмерную модель, расчет которой выполнялся по каждой линии расположения пунктов возбуждения. Расчет лучевых траекторий и скоростей распространения упругих волн вдоль луча производится по методике адаптивной скоростной модели [2, 4]. Алгоритм расчета луча предусматривает подбор скоростной модели среды, наилучшим образом соответствующей реально зарегистрированным временам пробега волн от ряда источников на продольных и непродольных профилях к различным по глубине точкам приема колебаний в скважине. Полученные таким образом массивы координат точек преломления лучей на границах каждого тонкого слоя и соответствующих скоростей используются затем для получения скорост-

ных разрезов по различным вертикальным (рис. 4), горизонтальным (рис. 5) и наклонным сечениям прилегающего к скважине пространства.

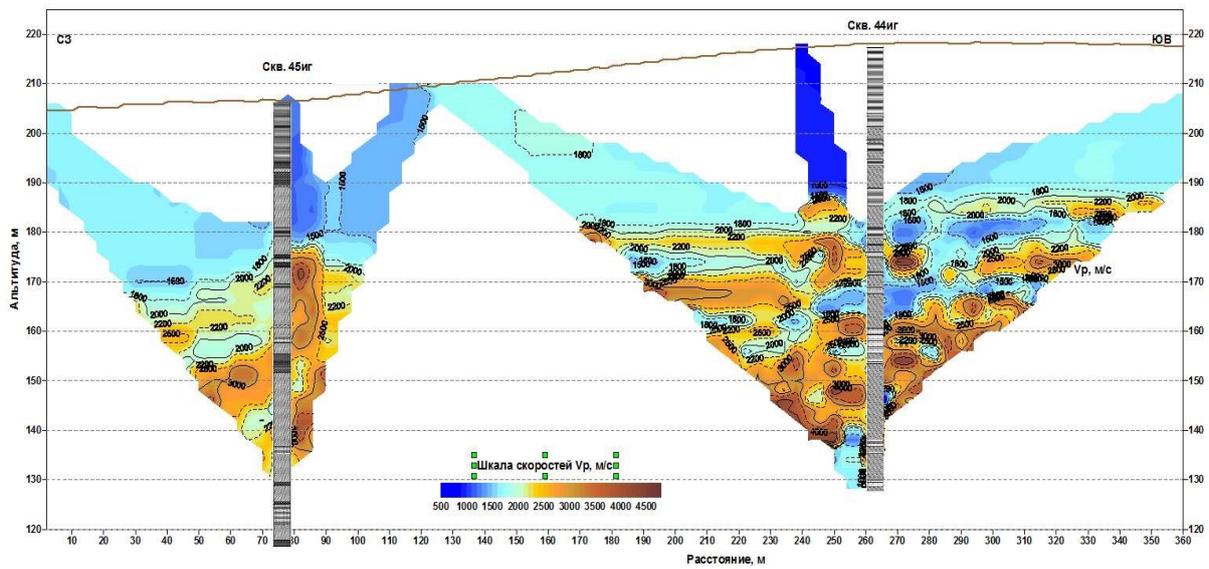


Рис. 4. Разрез скоростей по вертикальным плоскостям, проходящим вблизи скважин

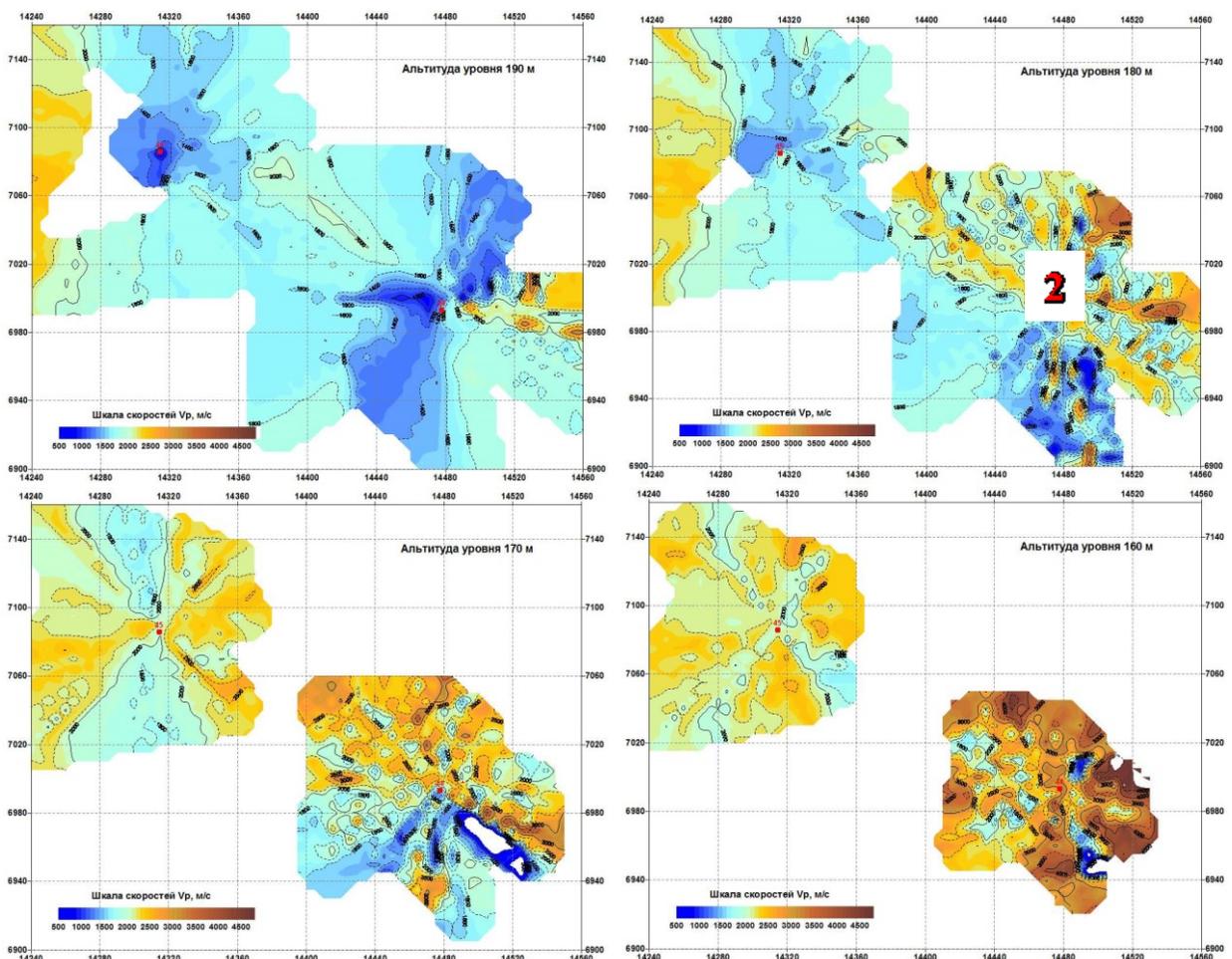


Рис. 5. Сечение расчетной скоростной модели верхней части грунтового массива в районе скважин по горизонтальной плоскости

На основании представленных результатов обработки данных ВСП очевидно низкоскоростное строение в районе скв. 1 до глубин 40-50 м. Это согласуется с результатами предыдущих наземных сейсморазведочных исследований, на основании которых и была запроектирована данная скважина. Признаки вертикально-ориентированных зон для скв. 1 отмечаются в юго-восточной части, где по результатам инженерных сейсморазведочных исследований ранее отмечались признаки структурных осложнений строения верхней части разреза. Для скв. 2 подобные закономерности характерны для юго-западного и юго-восточного направлений. При этом для юго-западного на расстоянии в 50-60 м от скважины, а для юго-восточного на расстоянии 15-20 м от скважины. Результаты по юго-западному направлению согласуются с данными ранее выполненных сейсморазведочных исследований верхней части разреза, где отмечались признаки наличия низкоскоростных отложений.

МСП выполнено по встречным направлениям с использованием скважинных источников разной энергии. В качестве априорной модели использованы скоростные модели, полученные по данным ВСП. При выполнении томографических расчетов размеры единичного элемента составляют $1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$. Скоростной разрез представлен на рис. 6.

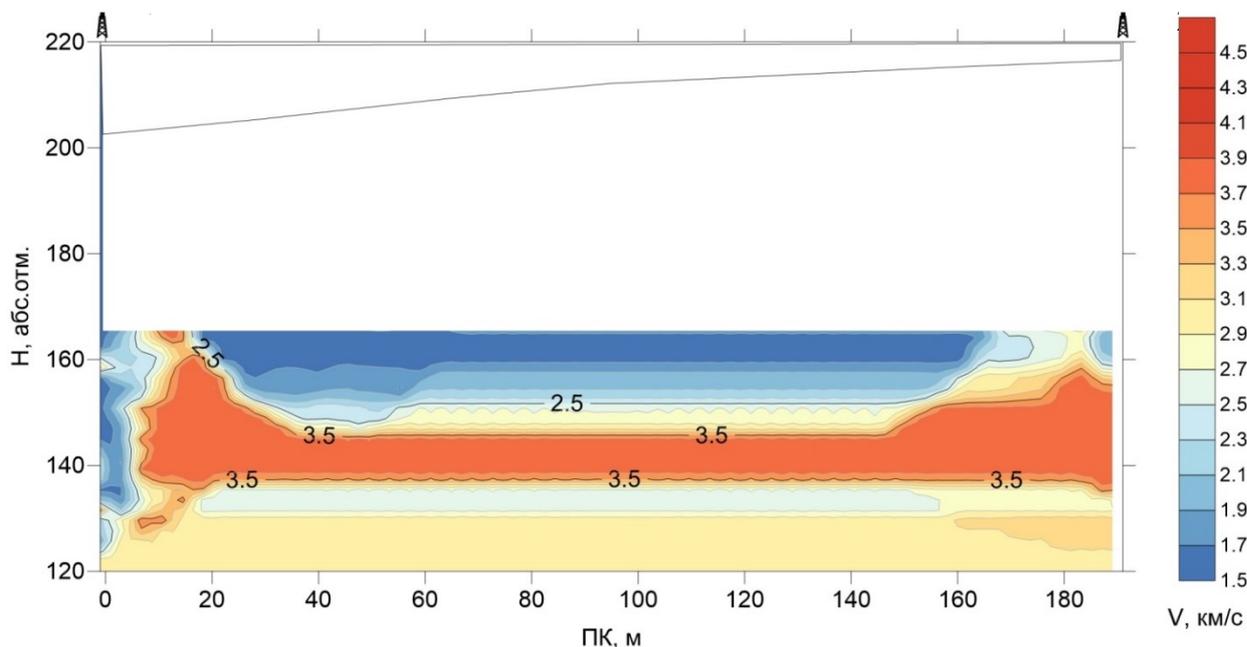


Рис. 6. Скоростной разрез по результатам межскважинного просвечивания

Высокоскоростной пласт на абсолютных отметках 140-150 м приурочен к кровле терригенно-карбонатной толщи, представленной гипсовыми отложениями. Согласно полученным результатам, в интервале просвечивания на глубинах от 60 до 100 м в районе скв. 1 отмечается наличие вертикально ориентированной зоны пониженных скоростей.

В целях картирования малоразмерных природно-техногенных объектов использовалось скважинное сейсмическое профилирование в рамках ММП [3]. Линии приема и возбуждения совмещены в пределах ствола одной скважины. Регистрация осуществляется по конвейерной технологии в рамках методики многократных перекрытий. На результирующих временных разрезах выделяются вертикально-ориентированные физически контрастные границы (рис. 7). В скв. 2 прослежено 2 группы выдержанных осей

синфазности, ориентированных параллельно оси ствола скважины. Они наиболее динамически выражены на глубинах 40-65 м и 50-70 м. Учитывая частотный диапазон регистрируемых в скважине колебаний (до 600 Гц), в качестве подобных отражающих границ могут выступать и вертикально ориентированные зоны трещиноватости с размерностью менее метра.

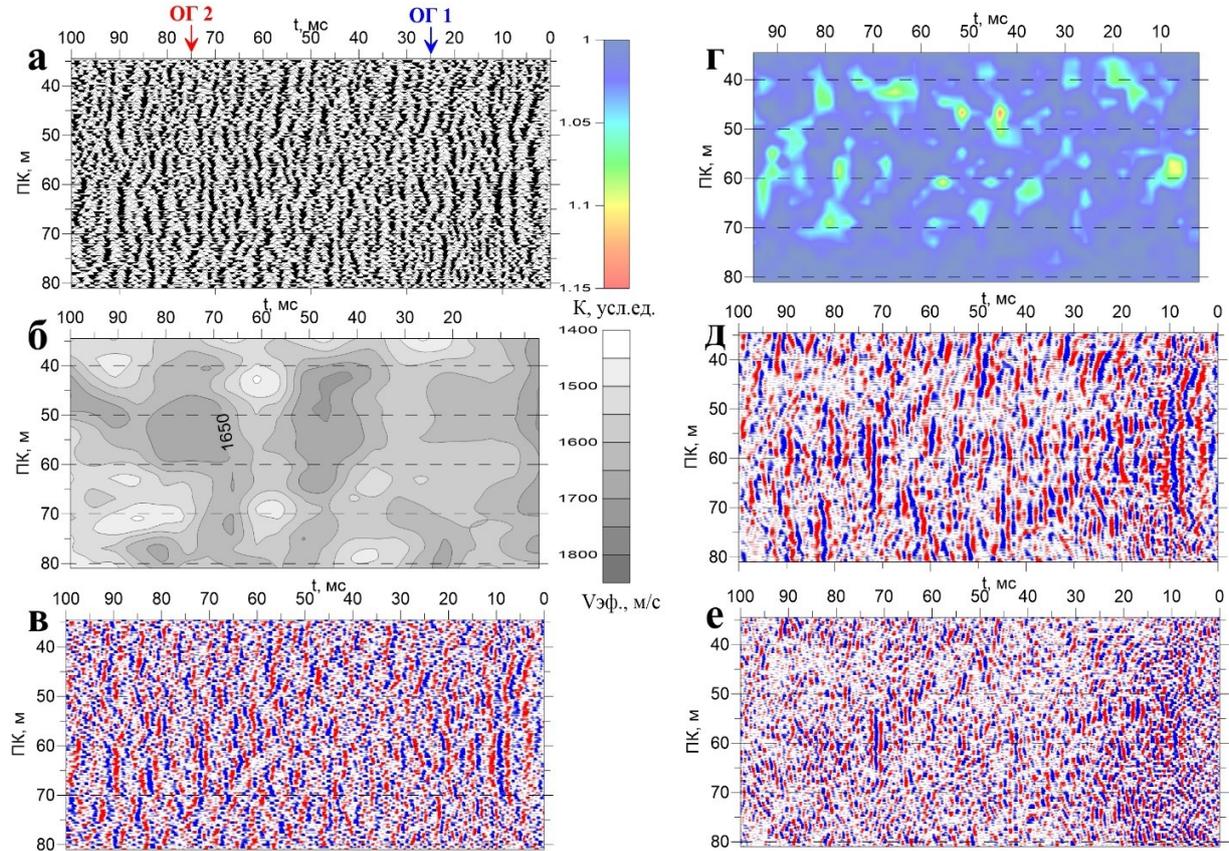


Рис. 7. Результаты цифровой обработки по скважине 2:

а – временной разрез ОГТ; б – скоростная характеристика; в – динамический временной разрез;
г – комплексный параметр; д – миграция временного разреза; е – мигрированный разрез по рассеянным волнам

Пространственное совмещение проблемных зон по данным скважинных сейсмических исследований показывает наличие единой проблемной зоны к северо-западу от пересечения инженерных профилей в интервале глубин до 80 м (рис. 8).

Комплексная интерпретация разноглубинных сейсмических исследований позволяет построить детальную физико-геологическую модель с учетом результатов выполненных инженерно-геологических и геофизических исследований. В том числе – выявленных ослабленных по физико-механическим свойствам зон в соляной, надсоляной толщах и приповерхностных отложениях.

Отдельные элементы адаптивной, регулируемой и корректируемой в процессе получения результатов системы комплексных методов активной сейсмической локации могут реализоваться и самостоятельно в зависимости от решаемых задач. Так, направление скважинных сейсмических исследований повышенной детальности успешно выполняется на начальной стадии развития горного предприятия с целью контроля проходки вертикальных стволов. Разномасштабные пространственные и профильные системы наблюдений наземной сейсморазведки в комплексе со скважинными и без обеспечивают разноуровневый контроль возможных осложнений в пределах действующего калийного предприятия.

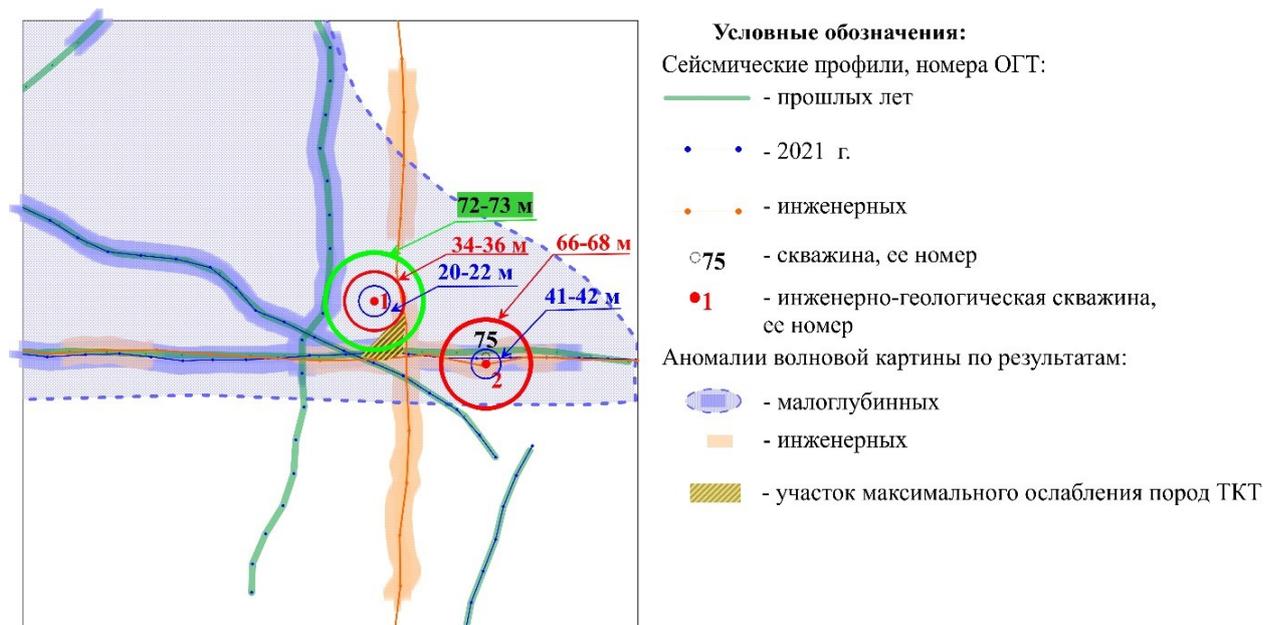


Рис. 8. Схема результатов сейсморазведочных исследований

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596032

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барях А.А., Санфиоров И.А., Федосеев А.К., Бабкин А.И., Цаюков А.А. Сейсмогеомеханический прогноз состояния водозащитной толщи на калийных рудниках // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 6. – С. 10-22. – DOI: 10.15372/FTPRPI20170602.
2. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Недра, 1982. – 344 с.: ил.
3. Санфиоров 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.
4. VSP_7 Программа обработки записей вертикального сейсмоакустического профилирования / Виктор Лисин. – Рига, 2017.

УДК 550.834, 550.837, 550.8.05

DOI:10.7242/echo.2022.2.14

ФОРМАЛИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ШАХТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М.В. Тарантин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: О наличии определенной связи между упругими и электрическими свойствами горных пород свидетельствуют некоторые теоретические и экспериментальные работы. Это соотношение может характеризовать некоторые другие свойства подземного пространства, поэтому его исследование и обнаружение в уже имеющихся результатах измерений представляется целесообразным для обеспечения безопасности ведения горных работ. Результаты электроразведочных работ представляются в виде разрезов кажущихся сопротивлений вглубь среды, результаты сейсмических работ – в виде распределения эффективных скоростей упругих продольных или попе-