

УДК 550.834.05

DOI:10.7242/echo.2024.2.7

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В ПРЕДЕЛАХ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ МЕТОДОМ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

И.Ю. Герасимова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В системе комплекса разноуровневых сейсмических наблюдений, реализованного в пределах потенциально-опасных участков шахтных полей Верхнекамского месторождения солей, в качестве детализационного метода применяется сейсморазведка высокого разрешения. На одном из этапов обработки данных малоглубинных исследований вычисляются параметры верхней части разреза. В статье представлены варианты использования указанных параметров для определения пространственных особенностей приповерхностного интервала пород и его состояния как дополнительной составляющей мониторинговых наблюдений.

Ключевые слова: верхняя часть разреза, мониторинговые наблюдения, малоглубинная сейсморазведка, потенциально-опасные участки, Верхнекамское месторождение солей.

Согласно современным представлениям и нормативным документам оценка рисков нарушения сплошности водозащитной толщи (ВЗТ) в пределах потенциально-опасных участков, выделенных на отработанных площадях действующих шахтных полей Верхнекамского месторождения солей, обеспечивается комплексом мониторинговых наблюдений [1]. Неотъемлемой составляющей комплекса являются геофизические исследования, включающие методы активной и пассивной сейсмической локализации горно-геологических объектов природного и техногенного происхождения.

Сейсморазведочные исследования используются в качестве детализационного метода, позволяющего определять пространственные особенности геологического строения породного массива и контроля изменения его состояния в процессе разработки. Опыт предыдущих исследований [4] показывает, что локализация и оценка рисков возможна за счет комплексов разноуровневых и разномасштабных сейсморазведочных и сейсмоакустических наблюдений. В связи с этим разработана и реализована на практике система, включающая малоглубинные и приповерхностные (инженерные) сейсморазведочные изыскания, позволяющая получать интерпретационные заключения для разных интервалов разреза.

В качестве примера изучения приповерхностной толщи рассмотрим один из потенциально-опасных участков (IV гр.), в пределах которого ежегодно, начиная с 2016 г., проводят мониторинговые исследования по сети малоглубинных профилей (рис. 1). Инженерные изыскания сосредоточены в пределах наиболее выразительной зоны с участками осложнений волнового поля в интервале ВЗТ вдоль одной профильной линии. Осложняющим геологическое строение фактором является наличие в пределах участка неглубокого прогиба водозащитной толщи, ограниченного с запада и востока разрывными дислокациями, погружающимися навстречу друг другу с выдавливанием центральной части. В восточной части участка исследований расположена зона литостратических сбросов [2].

Интервал разреза, являющийся объектом исследований в рамках данной статьи, составляет первые десятки метров и включает, согласно данным бурения скважин, рыхлые четвертичные образования (суглинки, песок, глина), перекрывающие пермские отложения (известняки, мергели, их глинистые разности) терригенно-карбонатной толщи (ТКТ). Пласты пород разного литологического состава характеризуются различной степенью сохранныости и невыдержанностью свойств как по мощности, так и по стратиграфии.

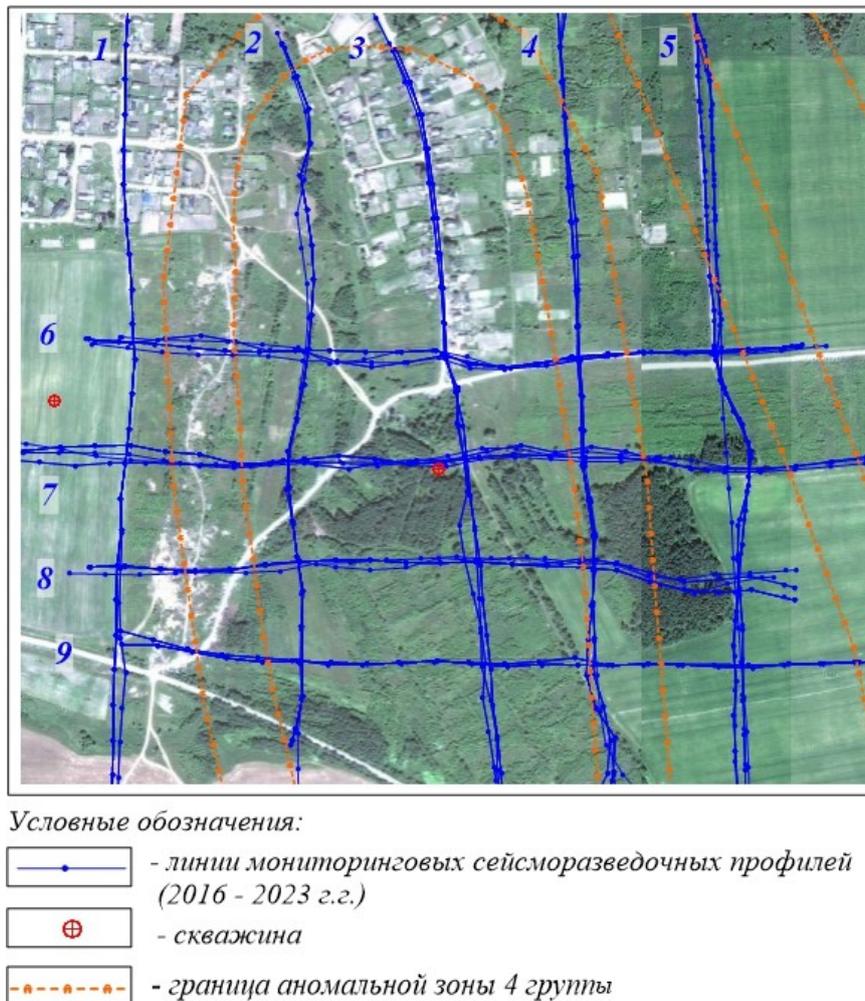


Рис. 1. Обзорная схема участка исследований

На этапе препроцессинга данных малоглубинных исследований по годографам первых вступлений сейсмограмм традиционно определяются априорные статические поправки. Для учета поправок применяется классическая методика, базирующаяся на вычислениях средних и граничных скоростей в рамках слоисто-однородной модели верхней части разреза (ВЧР) с малым количеством преломляющих границ [5]. Данная методика позволяет в первом приближении учесть искажения, вносимые во времена регистрации отраженных волн пересеченным рельефом и приповерхностными неоднородностями геологического разреза. Преимуществом использования преломленных волн является тот факт, что процесс корреляции осей синфазности первых вступлений в настоящее время реализован в большом количестве специализированных программных продуктов (что обусловлено необходимостью расчета статических поправок) и практически не требует временных затрат, связанных с дополнительной обработкой данных [3].

Получаемые для расчета статических поправок параметры верхней части разреза – скорости и глубины залегания границ толщ с разными упругими характеристиками – определяются изменениями литологии, степенью сохранности и водонасыщенности пород, др. факторами, и при мониторинговых исследованиях позволяют определить основные тенденции изменения контрастности упругих параметров во времени и, тем самым, оценить потенциальную опасность процессов, протекающих в пределах участков исследований.

Верхнюю часть разреза в пределах рассматриваемой территории в общем случае можно аппроксимировать трехслойной моделью среды, основные параметры изменения характеристик которой и величины соответствующих статических поправок за весь период наблюдений представлены в табл. 1 и в качестве примера для одного из профилей – на рис. 2.

В зоне малых скоростей (ЗМС, четвертичные образования мощностью до 2 м) величины средних скоростей за восьмилетний период, в зависимости от расположения профильных линий, колебались относительно среднего уровня 400 - 450 м/с (рис. 2а), а максимальный размах достигал для отдельных линий значения 559 м/с (2020 г.).

В зоне промежуточных скоростей (ЗПС, породы ТКТ мощностью 5 - 25 м) скорости изменялись от 400 до 1216 м/с со средней величиной размаха около 670 м/с (рис. 2б).

Скорость в коренных породах, подстилающих верхнюю часть разреза (рис. 2в), за период наблюдений в пределах участка принимала значения от 702 м/с (профиль 1) до 1994 м/с (профиль 5) со значениями размаха от 608 до 1124 м/с. Требуется отметить тот факт, что для подавляющего большинства профильных линий в коренных породах (в отличие от толщ ЗМС и ЗПС) в последовательности временных рядов отмечается отрицательная тенденция общего падения значений скоростей колебаний, начавшая в 2019 г.

Таблица 1

Характеристики параметров верхней части разреза за период 2016-23 гг.

Параметр	Статист. характ-ка	Номер условной профильной линии								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость в зоне малых скоростей, м/с	Мин.	292	301	237	217	303	266	250	267	345
	Макс.	699	582	694	776	648	497	574	637	815
	Размах	407	281	457	559	345	231	324	375	470
	Ср. арифм, станд. откл	456 ± 102	419 ± 55	418 ± 93	430 ± 102	421 ± 80	369 ± 41	408 ± 63	414 ± 70	495 ± 77
Скорость в зоне пониженных скоростей, м/с	Мин.	487	493	400	474	506	435	460	509	656
	Макс.	1002	885	997	970	1003	766	878	958	1216
	Размах	515	392	597	496	497	331	418	449	560
	Среднее, стандартное отклонение	717 ± 150	691 ± 90	689 ± 144	709 ± 129	690 ± 118	608 ± 55	672 ± 81	709 ± 70	867 ± 102
Скорость в толще коренных пород, м/с	Мин.	702	875	1045	780	870	864	954	1052	1001
	Макс.	1529	1484	1712	1655	1994	1705	1819	1874	1609
	Размах	827	609	667	875	1124	841	856	822	608
	Ср. арифм, станд. откл	1219 ± 132	1222 ± 115	1356 ± 90	1310 ± 96	1391 ± 147	1300 ± 116	1304 ± 147	1369 ± 84	1298 ± 92
Статическая поправка, мс	Мин.	58	59	70	66	80	81	63	73	67
	Макс.	117	117	124	115	116	115	124	116	101
	Размах	59	58	54	49	36	34	61	43	34
	Ср. арифм, станд. откл	88 ± 15	85 ± 12	91 ± 11	96 ± 10	96 ± 6	98 ± 7	96 ± 13	96 ± 9	85 ± 7

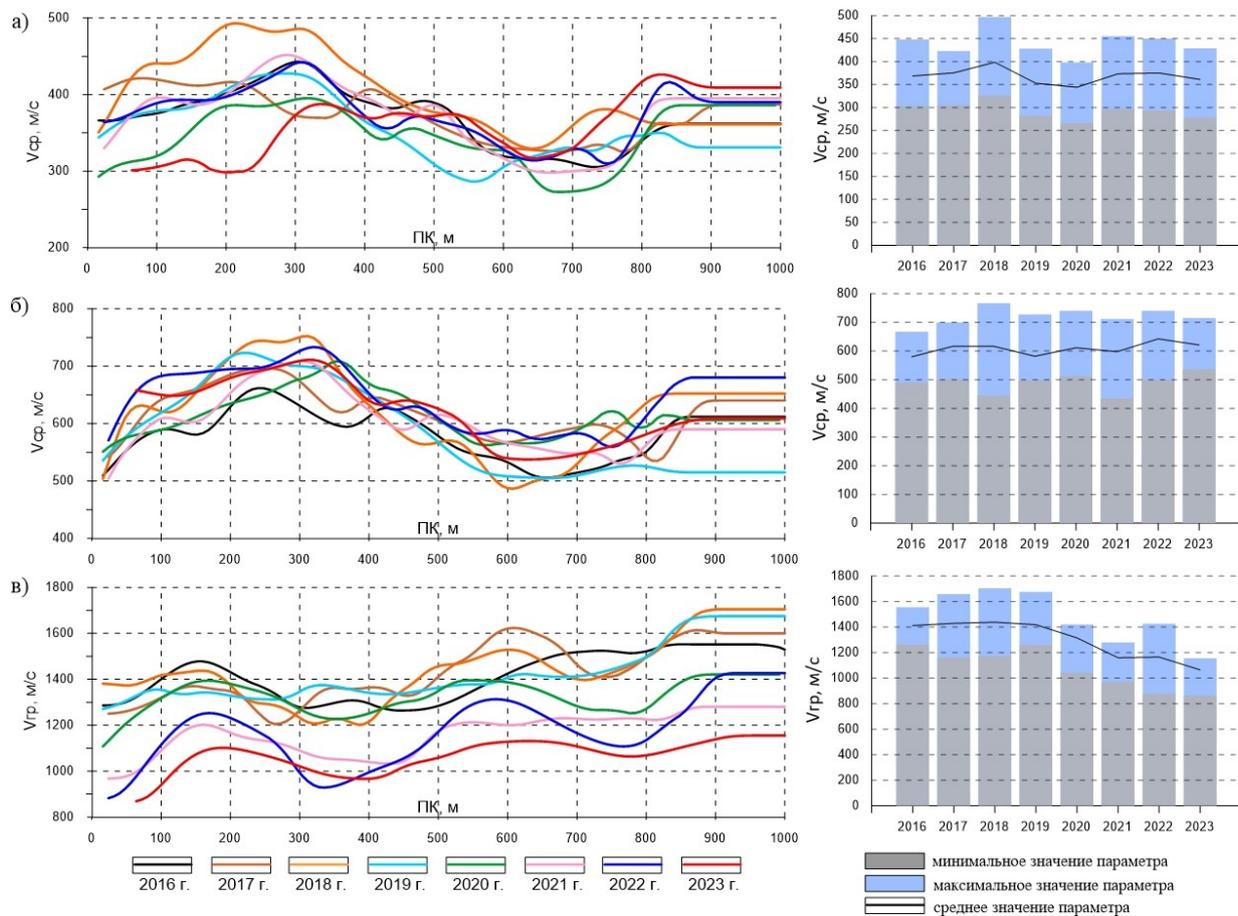


Рис. 2. Профиль 6. Графики изменения скоростей и гистограммы распределения параметров скоростей в зоне малых скоростей, в зоне промежуточных скоростей и в коренных породах за период 2016-23 гг.

Если предположить, что участки, характеризующиеся максимальным размахом значений упругих скоростей, являются наиболее подверженными изменениям различных факторов, а соответственно, и наиболее ослабленными по своим свойствам, то определение их положения в пространстве может быть использовано в качестве дополнительной информации при контроле изменений в массивах горных пород. Совместно с формируемыми для визуализации и качественной оценки процессов, протекающих в пределах потенциально-опасных участков, разрезами приповерхностной толщи (рис. 3а,б), разрезами временной изменчивости (рис. 3в) и размаха (рис. 3г) скоростей позволяют определить основные направления изменений контрастности упругих параметров во времени и, тем самым, оценить потенциальную опасность процессов. При сопоставлении представленных в качестве примеров разрезов за период 2020 – 2023 гг. обращает на себя внимание наметившаяся тенденция значительного уменьшения значений скоростей на фоне высоких значений размаха, наиболее ярко проявляющаяся в коренных породах. Указанные отрицательные изменения количественных оценок параметров волнового поля позволяют отнести весь рассматриваемый интервал профильной линии к области, в пределах которой происходят наибольшие трансформации упругих характеристик.

В рамках пространственных построений в качестве примера на рис. 4 представлены схемы скоростей упругих волн, распространяющихся в коренных породах, сформированные по материалам, полученным на этапе препроцессинга в 2020 г. и в 2023 г., а также схемы временной изменчивости и размаха скоростей за данный период. Если

рассматривать площадные схемы распределения скоростных параметров в целом, то можно отметить, что пространственная конфигурация изолиний существенно не изменилась (наблюдается ряд локальных областей разнонаправленной изменчивости скоростных свойств), но отмечается относительное снижение значений упругих параметров породного массива. Анализ схемы временной изменчивости (рис. 4 в) позволяет предположить, что за последние 4 года в пределах участка исследований, за исключением южной области, в приповерхностной части разреза происходили процессы, индуцирующие падение упругих свойств пород (особенно на северо-западе). Указанные отрицательные изменения количественных оценок параметров волнового поля проявляются также на схеме размаха скоростей (рис. 4 г), локализуя области, в пределах которых происходят наибольшие трансформации упругих характеристик, т.е. области с нарушенной структурой разреза.

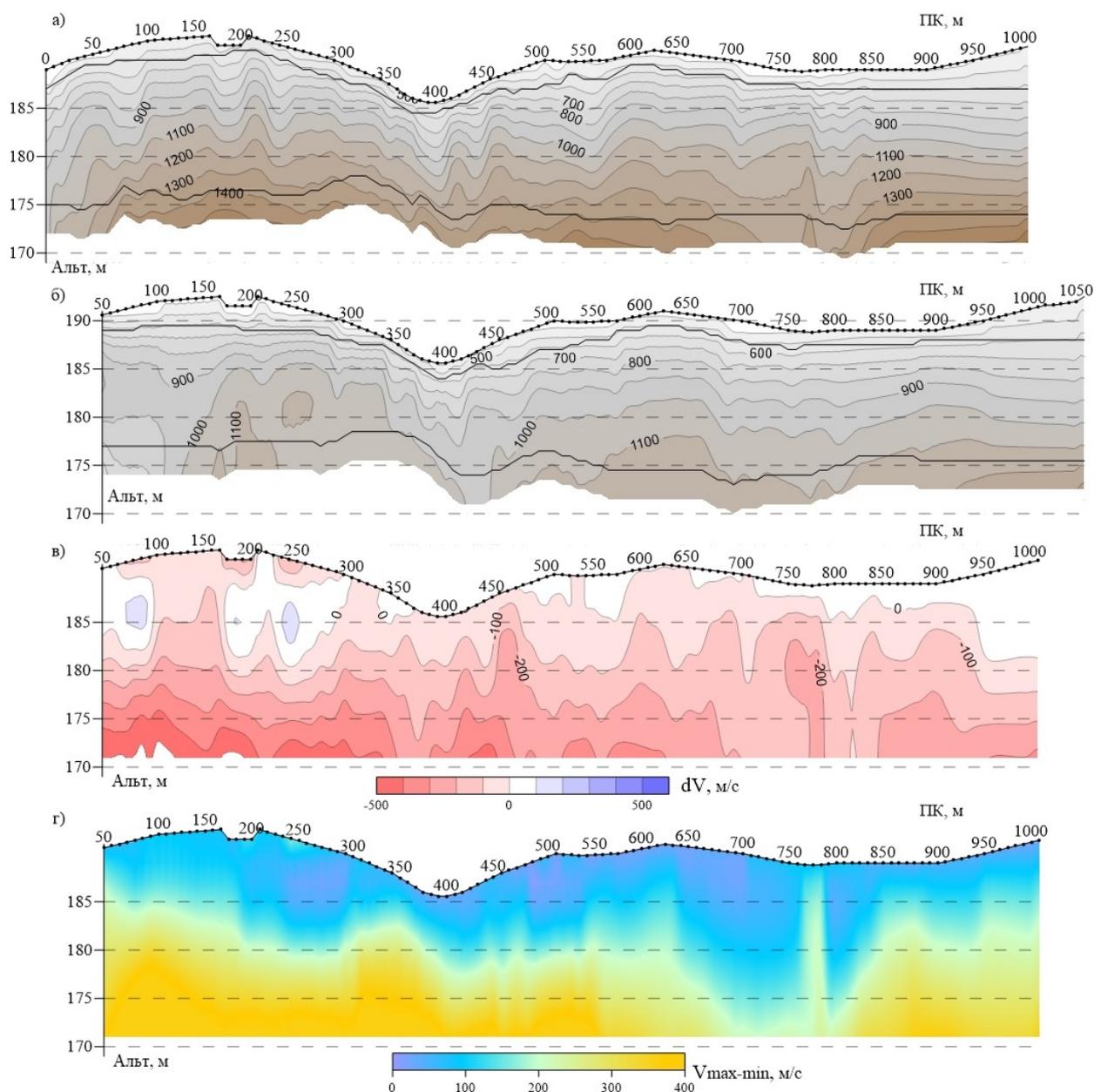


Рис. 3. Профиль 6. Результаты обработки данных в рамках метода преломленных волн вдоль линии профиля: скоростные разрезы, полученные в 2020 г. (а) и 2023 г. (б); разность (в) и размах (г) значений скоростей за период 2020-23 гг.

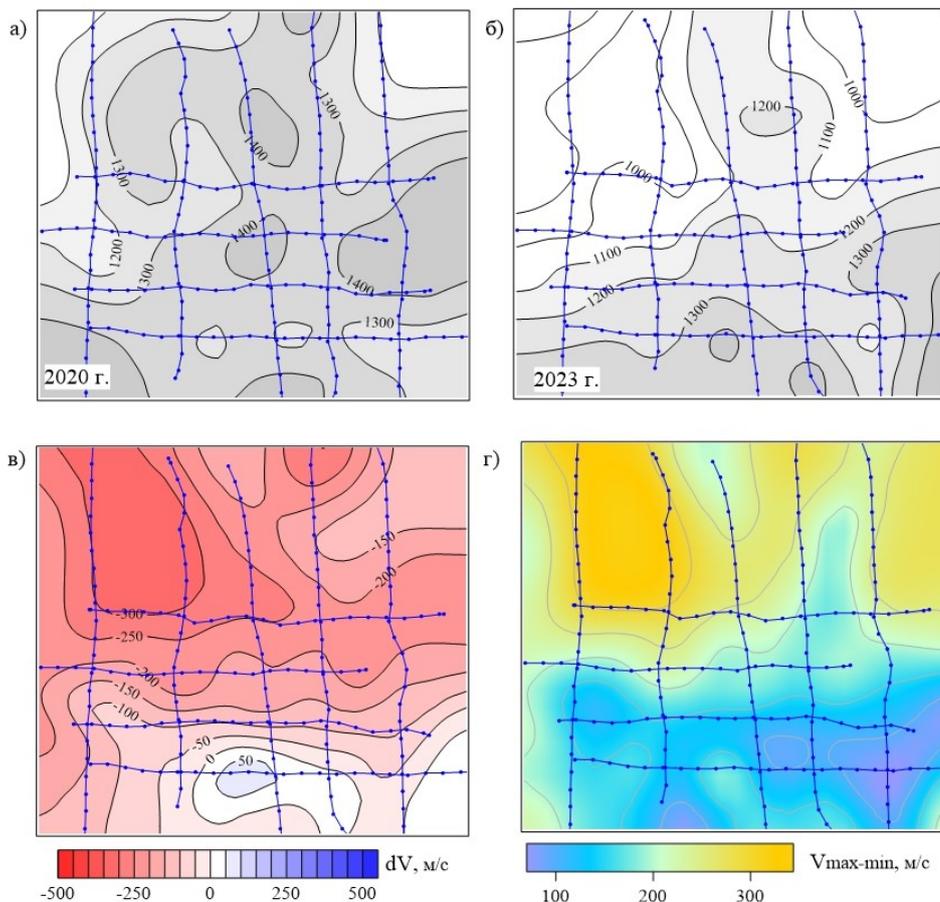


Рис. 4. Схемы скоростей в коренных породах в 2020 г. (а), в 2023 г. (б), временной изменчивости (в) и размаха (г) скоростей за период 2020-23 гг.

Как указывалось ранее, сейсморазведочные исследования используются в качестве детализационного метода, позволяющего определять в пределах потенциально-опасных участков пространственные особенности геологического строения породного массива и осуществлять контроль изменения его состояния в процессе разработки. Для локализации специфики строения верхней части разреза и тенденций изменения свойств массива именно в данном интервале в рамках комплексного мониторинга рекомендуется для скоростей в разных толщах ВЧР:

- формировать временные ряды, позволяющие проследить основные тенденции изменения упругих свойств как вблизи поверхности наблюдения, так и на глубинах, соответствующих коренным породам (первые десятки метров от поверхности);
- в пределах наиболее выразительных зон с участками осложнений волнового поля проводить оценку изменений скоростей и размахов по разрезам отдельных профильных линий. Такое представление информации позволит определить в качественном и количественном отношении происходящие в ВЧР преобразования в горизонтальном и вертикальном направлениях (как за год, так и за любой интересующий период наблюдений);
- наиболее информативными для пространственного понимания направлений преобладающих процессов в пределах участков мониторинга являются карты скоростей и их трансформаций, сформированные для коренных пород (как менее подверженных изменениям таких факторов, как степень сохранности, невыдержанность свойств по мощности и по простиранию, др.). Площадные схемы распределения упругих параметров позволяют локализовать участки наиболее значимых изменений как с положительными, так и с отрицательными свойствами за любой временной промежуток.

– перечисленные представления параметров верхней части разреза являются дополнительной информационной составляющей интерпретационных заключений и могут быть использованы, в зависимости от сложности участка мониторинга, как комплексно, так и в любой из модификаций. Выбор формируемых представлений и периодичность их оценивания определяются контрастностью негативных изменений структурно-физических параметров верхней части разреза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 1022040500578-0-1.5.6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Актуализация потенциально опасных участков по нарушению сплошности водозащитной толщи и прорыву надсолевых вод в выработанное пространство рудников ПАО «Уралкалий»: отчет о НИР / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2020. – 86 с.
2. Выявление потенциально проницаемых зон в надсолевой и внутрисолевой толщах Верхнекамского месторождения в пределах шахтного поля СКРУ-1: отчет о НИР / ГИ УрО РАН; рук. и отв. исполн. И.И. Чайковский. – Пермь, 2009. – 63 с. (Фонды НТБ ГИ УрО РАН. Инв. № 923.)
3. Нанишвили О.А. Учет влияния верхней части разреза при обработке данных сейсморазведки // Национальная Ассоциация Ученых. – 2017. – № 6 (33). – С. 21-25.
4. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Прийма Г.Ю., Фатькин К.Б. Классификация аномалий сейсмоакустических волновых полей при совместной интерпретации наземных и шахтных исследований // Инженерная геофизика – 2012: материалы 8-й науч.-практ. конф. и выставки. – Геленджик, 2012. – Текст электронный. – URL: <http://earthdoc.eage.org/detail.php?pubid=58091>.
5. Спасский Б.А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2019. – Вып. 2 (39). – С. 201-206.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2024.2.8

ПОДБОР МОДЕЛИ СРЕДЫ ПРИ МАЛОГЛУБИНЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

С.О. Горкунов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На территории Верхнекамского месторождения калийных солей проведены исследования состояния водозащитной толщи (ВЗТ), путем сейсморазведочных исследований, цифровой обработки и интерпретации сейсморазведочных данных, для выявления зоны, отличающейся по упругим свойствам от вмещающего массива пород. Проведено моделирование исследуемого участка для получения синтетических сейсмограмм и последующих их обработки и интерпретации данных. Выполнен подбор модели среды, для уточнения количественных характеристик выявленной зоны.

Ключевые слова: моделирование, подбор модели среды, цифровая обработка, интерпретация.

Введение

Исследуемая территория приурочена к южной части ВКМКС. В тектоническом отношении по дорифейской поверхности фундамента относится к восточному окончанию Камской гомоклинали. По отложениям палеозоя к юго-западной части Соликамской впадины, а по отложениям верхнедевонско-турнейского комплекса – на Березниковском палеоплато Камско-Кинельской системы впадин. Одним из основных геофизических методов изучения калийной залежи в пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМКС) является малоглубинная сейсморазведка с применением отраженных