

1. Наиболее интенсивные оседания земной поверхности происходят на участках пониженной плотности горных пород, т.е. в природных разуплотненных зонах. Эти зоны отчетливо фиксируются локальными отрицательными аномалиями силы тяжести.

2. Продолжение процесса разуплотнения определяется по данным гравиметрического мониторинга отрицательными динамическими аномалиями силы тяжести. По плановому совпадению локальных отрицательных аномалий и отрицательных динамических аномалий силы тяжести можно прогнозировать участки опасных геологических процессов.

3. Участки повышенных оседаний, сопровождаемые увеличением величины динамической аномалии, объясняются компенсацией значений аномалий уплотнением пород верхней части разреза, что свидетельствует о замедлении или прекращении процесса разуплотнения пород.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000398-0).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березкин В.М. Учет влияния рельефа местности и промежуточного слоя при детальной гравиразведке. – М.: Недра, 1967. – 117 с.
2. Бычков С.Г. Результаты мониторинговых гравиметрических наблюдений на Верхнекамском месторождении калийных солей // Горное эхо. – 2021. – № 4. – С. 45-50. – DOI 10.7242/echo.2021.4.10.
3. Варламов А.С., Филатов В.Г. Определение плотности горных пород и геологических объектов. – М.: Недра, 1983. – 216 с.: ил.
4. Симанов А.А. Мониторинговые наблюдения на гравиметрическом полигоне в г. Березники // Горное эхо. – 2021. – № 1 (82). – С. 95-99. – DOI: 10.7242/echo.2021.1.17.
5. Шелихов А.П. Использование статистического подхода для вычисления аномалий Буге с переменной плотностью промежуточного слоя // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 48-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Стратова / ВСЕГЕИ, Санкт-Петербургский горн. ун-т. – СПб., 2022. – С. 271-274.

УДК 550.834.05

DOI:10.7242/echo.2022.1.14

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА НА ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

И.Ю. Герасимова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** В рамках изучения свойств верхней части разреза для одного из шахтных полей Верхнекамского месторождения калийных солей сформированы карты статических поправок и скоростей распространения упругих колебаний до уровня приведения, выделены низкоскоростные участки.

**Ключевые слова:** верхняя часть разреза, статические поправки, Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, малоглубинная сейсморазведка.

Одной из стандартных процедур обработки и интерпретации данных малоглубинной сейсморазведки является процесс определения и учета априорных статических поправок. При малоглубинных исследованиях, используемых для изучения строения разреза

в условиях Верхнекамского месторождения, поправки рассчитываются по годографам первых вступлений сейсмограмм ОПВ. Наиболее простым способом учета поправок является классическая методика, базирующаяся на вычислениях средних и граничных скоростей в рамках слоисто-однородной модели верхней части разреза (ВЧР) с малым количеством преломляющих границ. Данная методика позволяет в первом приближении учесть искажения, вносимые во времена регистрации отраженных волн пересеченным рельефом и приповерхностными скоростными неоднородностями геологического разреза.

Одной из проблем, возникающих при решении задачи обобщения параметров ВЧР для значительных территорий, является использование при расчетах статических поправок разных отметок уровня приведения. В частности, в пределах одного из шахтных полей абсолютные отметки поверхности наблюдения изменяются от 104 до 243 м (рис. 1а). При этом условный уровень, к которому при расчетах приводятся параметры полезных волн, соответствует трем абсолютным отметкам: +100, +130 и +150 м. Таким образом, формальная генерализация данных многолетних наблюдений (1994-2021 гг.), позволит получить только некорректные результаты.

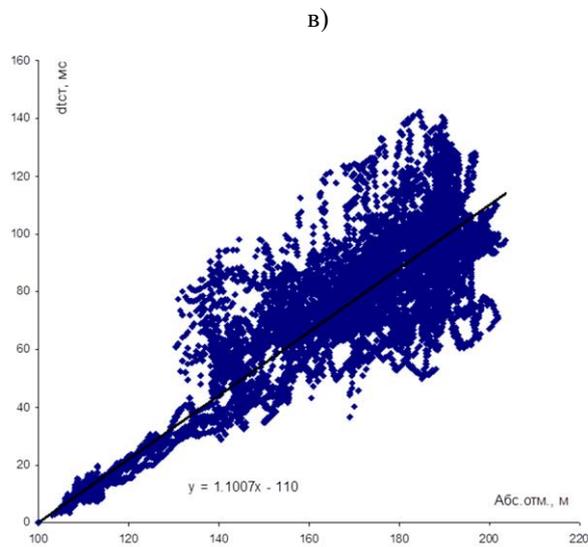
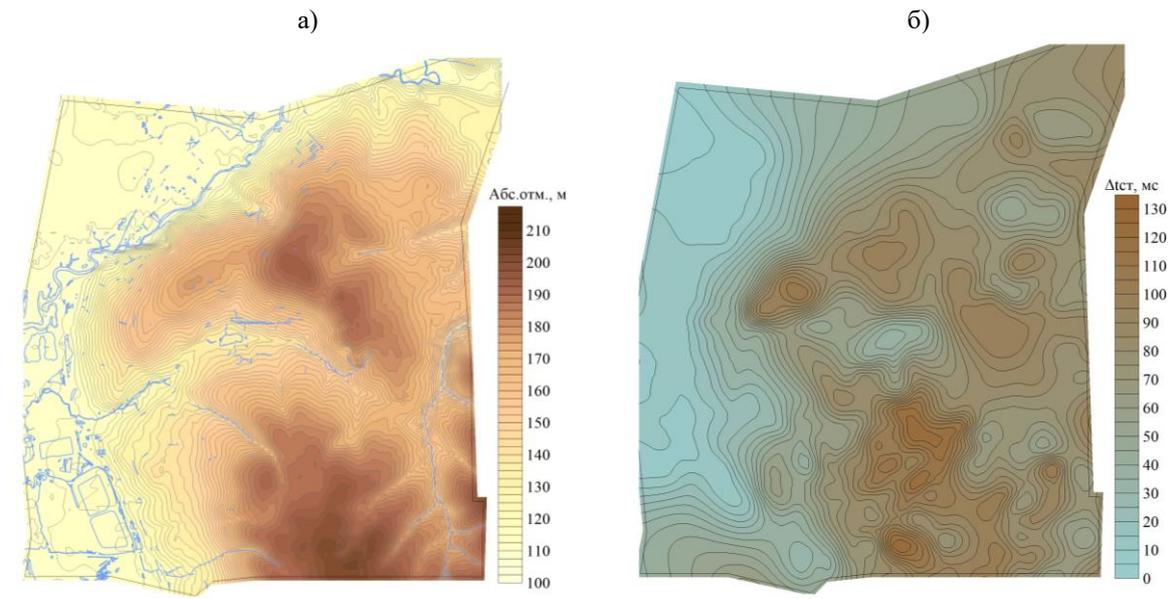
С другой стороны, данные, накопленные за период проведения в пределах шахтного поля малоглубинных сейсмических исследований (более 330 км), могут быть использованы, после обобщения, как для изучения свойств ВЧР, так и для повышения точности определения целевых горизонтов при малоглубинных исследованиях.

Для решения поставленной задачи проведен перерасчет величин низкочастотных статических поправок (с частичной повторной корреляцией первых вступлений для профильных линий) и параметров ВЧР для единого уровня приведения (+100 м) и сформирована карта распределения поправок в пределах шахтного поля (рис. 1б).

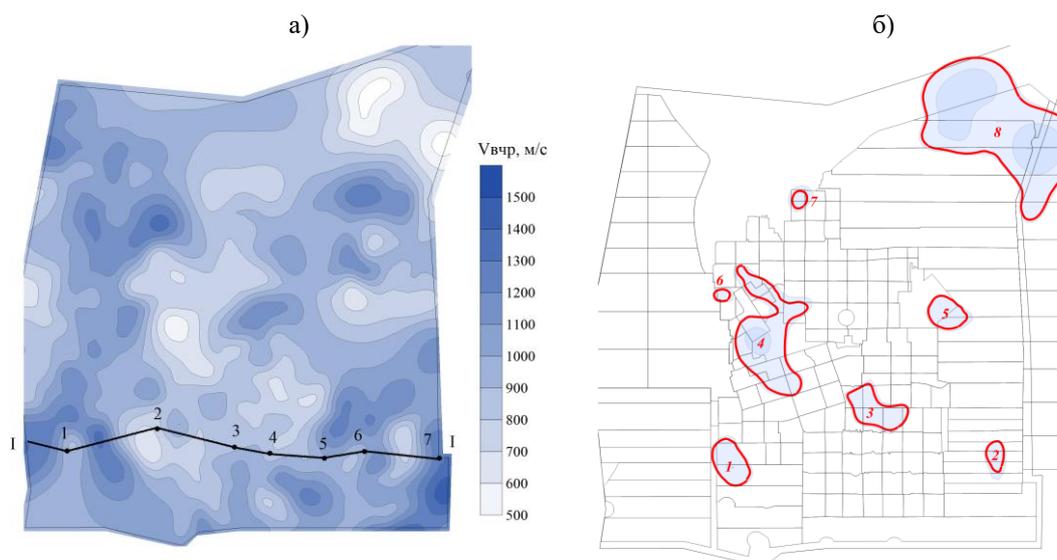
Значения априорных статических поправок изменяются в широких пределах – от нулевых значений при абсолютных отметках рельефа +100 м до 140 мс при отметках, превышающих 180 м. Для анализа закономерностей изменения поправок определены зависимости вычисленных величин от отметок поверхности рельефа (рис. 1в). В целом наблюдается прямая корреляция параметров, принимающая с увеличением значений абсолютных отметок более сложный вид.

С целью пространственной визуализации участков отклонений от общего закона распределения, сформированы карты разности значений наблюдаемых (реальных) статических поправок от рассчитанных с использованием уравнения корреляционной зависимости от альтитуд (рис. 1в). Отметим, что величины реальных поправок достаточно часто превышают значения, определенные с помощью уравнения регрессии, причем участки наибольших отклонений сконцентрированы в центральной, восточной и северо-восточной частях шахтного поля, на площадках с разными отметками рельефа поверхности. В этих же областях наблюдается понижение скоростей пробега волн в интервале верхней части разреза (рис. 2а).

Природа низкоскоростных аномалий в верхнем интервале разреза может быть различной. Распределение скоростей ВЧР определяется изменениями литологии выветрелого слоя, степенью его разрушенности и водонасыщенности (в т.ч. колебаниями уровня подземных вод), а также морфологией консолидированных (коренных) пород. Указанные факторы, как отмечается в специализированной литературе [3-5], приводят к изменчивости вычисляемых характеристик, что подтверждает широкий диапазон полученных значений скоростей – от 500 до 1600 м/с. К низкоскоростным участкам можно условно отнести области с величиной скорости, меньшей 900 м/с.



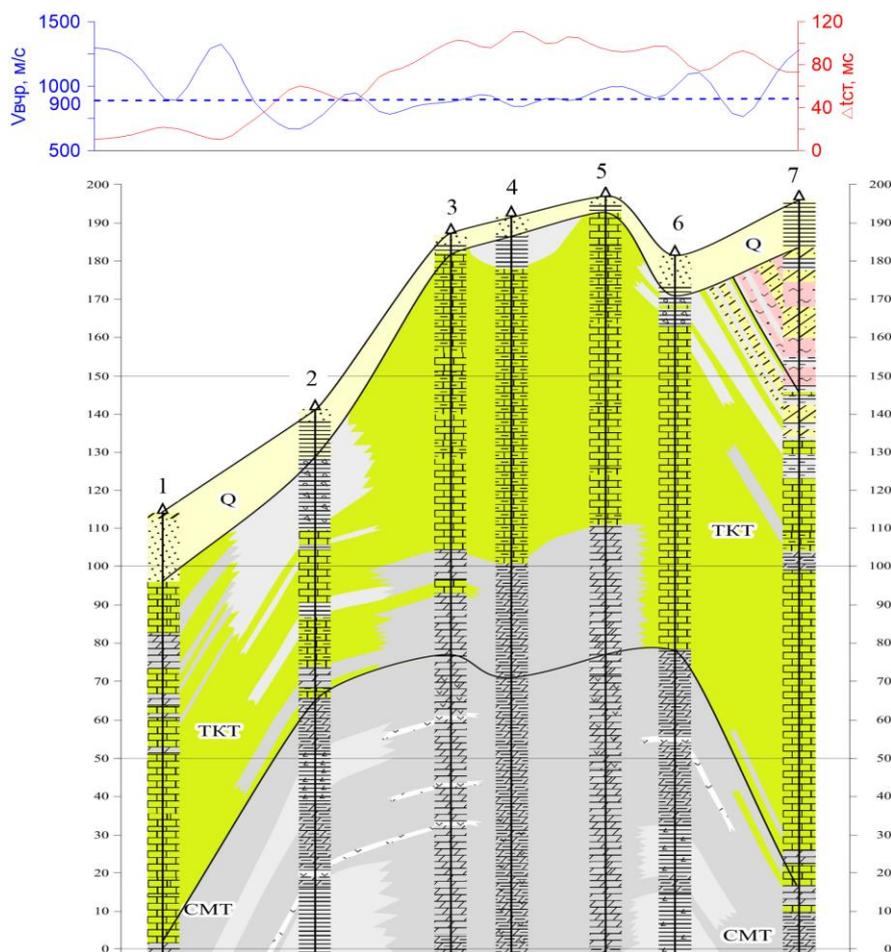
**Рис. 1.** Абсолютные отметки рельефа земной поверхности (а), распределение статических поправок, рассчитанных для единого уровня приведения (б), зависимость *дист* от абсолютных отметок рельефа (в)



**Рис. 2.** Схема распределения скоростей верхней части разреза (а), наиболее контрастные области пониженных скоростей (б)

В пределах шахтного поля возможны следующие причины возникновения скоростных аномалий:

- высокоградиентные перегибы границ пластов на склонах Рудничного поднятия в непосредственной близости к уровню приведения (рис. 3, линия I - I, участки в районе усл. скв. 2 и между усл. скв. 6-7);
- выход на уровень приведения и выше глин соляно-мергельной толщи [2] в присводовой части поднятия (усл. скв. 3, 4, 5);
- обогащенность отложений терригенно-карбонатной толщи прослоями глины (усл. скв. 1, 7);
- комплексное влияние структурного и лито-фациального факторов (усл. скв. 2), приводящее к усилению скоростной аномалии.



**Рис. 3.** Графики скоростей в верхней части разреза, статических поправок и геолого-литологический разрез (по [2]), сформированные по линии I - I рис. 2а

Низкоскоростные участки в приповерхностной части массива могут являться также и реакцией подработанного массива на реализованные параметры системы разработки. Например, по данным прогноза состояния ВЗТ, проведенному с учетом комплекса факторов с учетом двухмерного математического моделирования [1], в районе усл. скв. 2 сформирована зона техногенной нагрузки, приуроченная к западной границе отработки пласта АБ. Нарушенности подвержены карналлитовые пласты Г, Д, Е. ВЗТ сохраняет свою устойчивость вплоть до завершения процесса сдвижения. В указанной области отмечена низкоскоростная аномалия ВЧР (рис. 2б, область 1).

Согласно критериальной оценке состояния ВЗТ [1], максимальное техногенное влияние в районе блока 199 связано с его южной и северной границами. Обе зоны характеризуются максимально интенсивным разрушением всех карналлитовых пластов и межпластовой каменной соли. Верхняя часть ВЗТ «условно» сохраняет свою сплошность за счет частичной целостности интервала ПП и ПКС. По результатам распределения скоростей ВЧР здесь расположен участок пониженных скоростей между усл. скв. 6- (рис. 2б, область 2).

В районе блока 115 уже к 1979 г. отмечался высокий уровень техногенной нагрузки на ВЗТ [1]. Согласно деформационным и прочностным критериям, на этом участке образуются сквозные зоны максимальной техногенной нагрузки. С течением времени наблюдается незначительное увеличение сформированных зон субвертикальной трещиноватости. Возможно, проявлением реакции подработанного массива является низкоскоростная область (рис. 2б, область 3).

Таким образом, факторы формирования участков пониженных скоростей верхней части разреза на подработанных территориях, наиболее контрастные из которых представлены на рис. 2б, условно можно разделить на три группы: природные, техногенные, комплексные. Первая группа включает структурные и лито-фациальные особенности строения разрабатываемого пространства, вторая – является реакцией подработанного массива на реализованные параметры системы разработки и определяется оседаниями земной поверхности, степенью разрушения очистных камер и целиков, др. Третья группа объединяет природно-техногенные факторы.

Протяженность низкоскоростных участков (участков наибольших отклонений значений статических поправок от уравнения регрессии) может достигать 2 км и более (центральная и северо-восточная части шахтного поля). Согласно исследованиям [3], при пересечении упругими волнами таких областей, наблюдается образование кратковременных изменений фазы сигнала на разных трассах, что может вносить искажения во времена регистрации колебаний от глубоких горизонтов. Некорректный учет скоростных неоднородностей ВЧР снижает достоверность отображения нижней части разреза. С другой стороны, низкоскоростные области могут являться объектами специализированных исследований как индикаторы зон с ослабленными физико-механическими свойствами в ВЧР и ниже [5].

Таким образом, обобщенные данные параметров преломленных волн, накопленные за период проведения малоглубинных исследований в пределах шахтного поля, могут использоваться как для учета искажений, вносимых влиянием верхней части разреза во времена регистрации отраженных волн, так и для изучения особенностей строения приповерхностных интервалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

6. Актуализация потенциально опасных участков по нарушению сплошности водозащитной толщи и прорыву надсолевых вод в выработанное пространство рудников ПАО «Уралкалий»: отчет о НИР, договор № 1.2.22/2020 от 17.07.2020 г. / ГИ УрО РАН; рук. А.А. Барях; отв. исполн. В.Н. Токсаров. – Пермь, 2021. – 84 с. – (Фонды НТБ ГИ УрО РАН).
7. 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.)
8. Иэн Ф. Джонс. Учебное пособие. Учет аномалий ВЧР в моделях глубинной миграции до суммирования // First Break. – 2012. – Т. 30. – 15 с.
9. Нанишвили О.А. Учет влияния верхней части разреза при обработке данных сейсморазведки // Национальная Ассоциация Ученых. – 2017. – № 6 (33). – С. 18-22.
10. Спасский Б.А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2019. – Вып. 2 (39). – С. 201-206.