

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500029-1).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сейсморазведка: Справ. геофизика / под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1981 – 464 с.: ил.
2. Глухов А.А. Алгоритм метода дифрагированных волн по прогнозу дизъюнктивов угольных пластов // Журнал теоретической и прикладной механики. – 2021. – №1. – С. 73-82.
3. Ярославцев А.Г., Тарантин М.В. Исследование характеристик направленности точечных источников колебаний с помощью полноволнового моделирования // Горное эхо. – 2023. – № 2 (91). – С. 76-81. – DOI: 10.7242/echo.2023.2.14.
4. Poletto F., Petronio L. Seismic interferometry with a TBM source of transmitted and reflected waves // Geophysics. – 2006. – V. 71, № 4. – P. SI85-SI93. – DOI: 10.1190/1.2213947.

УДК 550.831

DOI:10.7242/echo.2024.3.8

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО ДАННЫМ ГРАВИМЕТРИИ (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей)

Г.П. Щербина

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Гравиметрические исследования подработанного горного массива выявили необычную форму сдвижения пород над пустотами шахтных выработок. На вертикальных срезах трехмерной трансформанты гравитационного поля обнаружены отрицательные аномалии линейной формы, расходящиеся веером от центральной части выработанного пространства вверх. Данные аномалии можно объяснить наличием в подработанной толще плоских наклонных разуплотнений, создающих на трансформантах характерный рисунок. Плоские наклонные разуплотнения, очевидно, представляют техногенные зоны локализованной трещиноватости. Ширина трещиноватых зон 190-200 м, угол наклона изменяется от 40° до 90°.

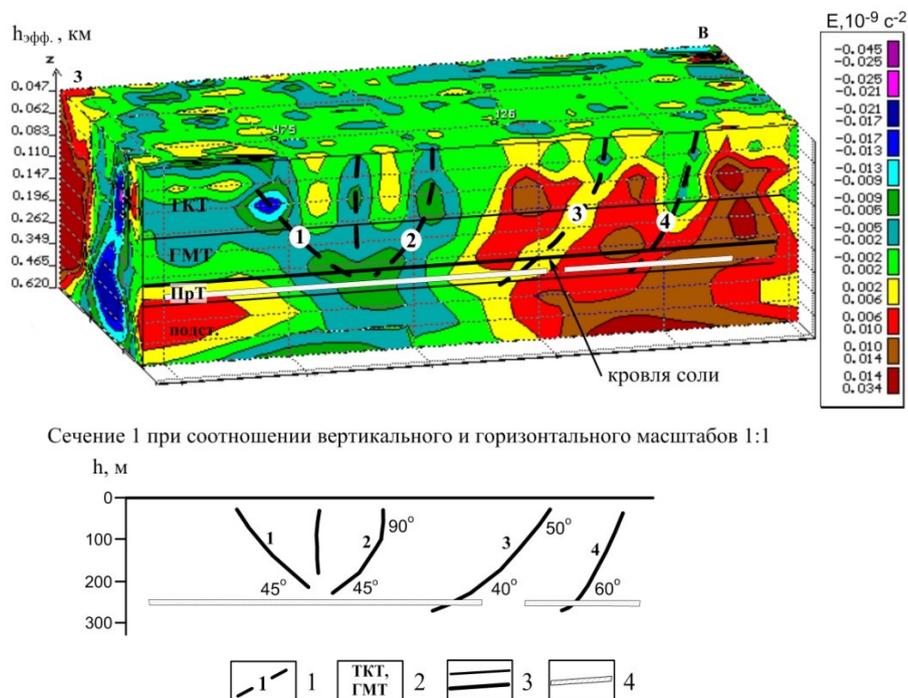
**Ключевые слова:** горные выработки, подработанная толща, сдвижение пород, формы сдвижения.

Характер деформирования подработанного массива над горными выработками за счет собственного веса подробно описывается в работе [1] и других, где рассмотрены формы сдвижения горных пород под влиянием разработки. Под сдвижением понимается деформирование и перемещение подработанных толщ под действием силы тяжести над пустотным пространством шахтного поля. В работе [1] указывается, что процесс сдвижения происходит в виде сдвигов пород по плоскостям напластования, появления секущих трещин и трещин расслоения.

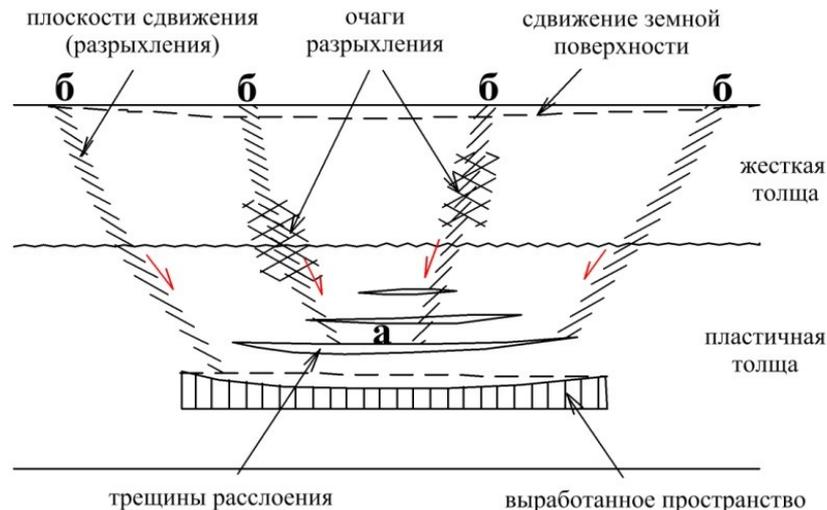
Характер нарушенности пород подработанного массива зависит от многих факторов: от площади выработанного участка, глубины расположения пустотного пространства, соотношения площади выработки и толщины подработанной толщи, от физических и механических свойств пород, от тектоники и условий залегания геологических слоев. Разные участки толщи, подвергшейся влиянию горных работ, имеют различия по степени нарушенности. Наиболее разрушенные деформированные породы располагаются у кровли горных выработок. Вверх степень нарушенности породного массива уменьшается. В работе [1] по этому критерию выделяется снизу вверх несколько зон: область разрушения, зона разломов, зона активных трещин, зона локальных трещин, зона прогиба. В случае горизонтального напластования зоны плавно переходят одна в другую.

К такому случаю относится и ситуация на Верхнекамском месторождении калийных солей. Надо полагать, что в соответствии со сменой зон, очевидно, изменяется и плотность пород нарушенных слоев. Более всего плотность понижена вблизи кровли выработанного пространства. Далее вверх степень изменения первичной плотности уменьшается. В общем случае предполагается, что степень деструкции толщ и плотность породы в зоне сдвижения изменяются равномерно снизу вверх. Это предположение обусловлено тем, что отсутствуют методы фиксации степени нарушенности и плотности пород в различных участках конкретного пространства подработанного массива. Применение гравиметрической съемки на рудниках Верхнекамского месторождения позволило получить информацию о картине плотностной неоднородности геологических толщ, в том числе и на подработанных участках.

На одном из участков Четвертого Березниковского рудника при гравиметрических исследованиях в зоне сдвижения над шахтным пространством выявлены локализованные участки интенсивного разуплотнения, которые на вертикальных сечениях трехмерной трансформанты гравитационного поля проявляются в виде линейных отрицательных аномалий, наклонно пересекающих подработанную толщу. Анализ распространения таких аномалий в объеме подработанных пород показал, что они по подработанной площади распределяются неким закономерным образом. Эти отрицательные аномалии обусловлены наличием пород пониженной плотности, представляющих плоские наклонные тела. Они прослеживаются от кровли горных выработок до земной поверхности. На приведенном здесь вертикальном разрезе трехмерной трансформанты гравитационного поля (рис. 1) наблюдается несколько линейных отрицательных аномалий, распределенных по территории подработки. Характер распределения данных аномалий относительно выработанного пространства свидетельствует о техногенной их природе. Распространение плоских разуплотнений по территории шахтного поля прослежено по нескольким вертикальным сечениям трансформанты и составлена карта их расположения.



**Рис. 1.** Вертикальное сечение трехмерной трансформанты гравитационного поля:  
 1 – оси отрицательных аномалий техногенных разуплотнений; 2 – литологические толщ;  
 3 – границы литологических толщ, привязанные к эффективным глубинам трансформанты;  
 4 – положение горных выработок



**Рис. 2.** Схема деформирования подработанного массива:  
а – расслоение, б – сдвигание по наклонным плоскостям

Под влиянием собственного веса в поле силы тяжести массив, расположенный над пустотой (горными выработками), оседает с максимальной амплитудой в центральной части. Очевидно, оседание происходит, как показывают трансформанты, в виде плоскостей сосредоточения деформаций, проявляющихся в породе, скорее всего, в развитии трещиноватости. Плоскости деформаций разделяют слабдеформированные блоки оседающих пород. Такая картина согласуется с выводами работы [2].

Возможность формирования на Верхнекамском месторождении сквозных локализованных наклонных зон деформаций выше горных выработок подтверждают геомеханические расчеты [3, 4].

Анализ гравитационных трансформант отчетливо выявил, что подработанный массив на описываемом участке представляет собой структурно организованную среду, сформирована сеть плоских локальных разуплотнений. Их выходы на земной поверхности приурочены к отрицательным формам рельефа. Такая картина объемного распространения плоскостей деструкции позволяет сделать вывод о том, что деформирование подработанной толщи по принципу наименьшего сопротивления подчиняется плотностному строению горного массива, то есть на особенности распространения локализованных зон сдвига влияет первичная плотностная (прочностная) неоднородность горного массива.

Таким образом, анализ трансформант гравитационного поля отчетливо показывает, что подработанный массив на изученном участке Верхнекамского месторождения представляет среду, где на фоне природных плотностных неоднородностей сформирована техногенная сеть плоских разуплотненных зон.

Наклонные разуплотненные зоны, сходящиеся в центре подработанного участка, ранее были выявлены также на другой площади БКРУ-4 при построении плотностного разреза по другой методике обработки наблюдаемого гравитационного поля с целью составления синтетических плотностных моделей.

Деформирование подработанных толщ с формированием плоских наклонных зон пониженной плотности на изученных участках осуществлялось в условиях следующей горно-геологической ситуации. Это: субгоризонтальное строение геологического разреза; некрепкие породы подработанной толщи (аргиллиты, песчаники, алевролиты, мергели, гипсы, каменная соль); незначительная мощность перекрывающей толщи над выработанным пространством – 250-350 м. Определенную роль, очевидно, играло соотношение мощности толщи над горными выработками и линейными размерами пло-

щади выработанного пространства. Согласно фактическим данным это 1:4-6, т.е. при условии, когда мощность надшахтных толщ в 4-6 раз меньше размеров площади выработки.

С точки зрения физического истолкования наклонных отрицательных аномалий, наблюдаемых на гравитационных трансформантах, можно предположить, что они отображают наличие зон повышенной трещиноватости. Наклонные разуплотнения можно интерпретировать как локализованные участки сдвигения подработанной толщи с элементами сбросов. Ширина разуплотнений составляет 100-200 м, понижение плотности, определенное при решении обратной задачи гравиметрии, составляет 0.02-0.07 г/см<sup>3</sup>. Угол наклона разуплотненных зон в верхней части разреза составляет 60°-90°, в нижней части подработанной толщи – 40°-60° (рис. 1).

Подводя итоги анализа картины гравитационного поля, отражающего плотностное строение подработанного массива, можно констатировать, что сдвигение пород подработанной толщи происходит кроме хаотичного разрыхления также и в виде формирования локализованных наклонных разуплотненных зон, распределенных по подработанной территории (рис. 2). Таким образом можно сказать, что общая деформация массива осуществляется в виде трещин расслоения в виде хаотично распределенной секущей трещиноватости и в виде обнаруженных гравиразведкой плоскостей сдвигения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500054-3).*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.: ил.
2. Херасков Н.П. Роль тектоники в изучении закономерностей размещения полезных ископаемых в земной коре // Закономерности размещения полезных ископаемых. – М., 1958. – Т. 1.
3. Девятков С.Ю. К вопросу определения условий формирования провалов на земной поверхности // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 12 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – С. 96-98.
4. Федосеев А.К. Учет локализации нарушений в надсоляной толще при оценке безопасных условий подработки ВЗТ // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 90-92.