

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.834

DOI:10.7242/echo.2025.3.2

О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В КРАЕВЫХ ЧАСТЯХ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ПОДРАБОТКИ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Е.Л. Васильева

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На примере проведения оценки степени влияния подработки на здание рассмотрены три подхода к определению оседания земной поверхности в краевой части мульды сдвижения, не охваченной инструментальными наблюдениями. Установлено, что от выбранного метода может зависеть точность проведения такой оценки, что указывает на необходимость комплексного подхода с использованием всей имеющейся информации как по горно-геологическим условиям подработки, так и по сдвигению земной поверхности, с дальнейшей ее обработкой различными методами.

Ключевые слова: подработка, показатели деформаций, краевая часть мульды сдвижения, оседание земной поверхности

В результате ведения горных работ в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) происходят деформации земной поверхности, в том числе и в районах жилой застройки г. Березники, которые могут вызвать постепенное разрушение зданий и сооружений. Согласно [1, 2] оценка степени влияния подработки на здания и сооружения выполняется путём сопоставления расчетного показателя деформаций земной поверхности с его допустимым и предельным значениями для рассматриваемого объекта. При этом безопасные условия эксплуатации зданий определяются исходя из условий, при которых расчетный показатель деформаций земной поверхности не превышает его допустимого значения. Допустимые показатели деформаций устанавливаются согласно табличным данным, исходя из конструктивных особенностей здания [1]. Расчетный показатель деформаций в значительной мере определяется величиной относительной горизонтальной деформации, которая при наличии профильных линий, рассчитывается по результатам измерения вертикальных или горизонтальных смещений реперов [2]. На участках, не охваченных инструментальными наблюдениями, актуальной задачей является определение смещения земной поверхности с помощью оценочных методов, анализ которых является целью настоящих исследований.

На ВКМКС нашли применение следующие методы:

- метод типовых кривых, основанный на многолетних инструментальных наблюдениях за распределением горизонтальных и вертикальных смещений в краевых частях мульд сдвижения, образованных в различных горнотехнических условиях [3-5];
- методы интерполяции имеющихся данных маркшейдерских наблюдений и получение на их основе распределения оседания земной поверхности;
- метод математического моделирования напряженно-деформированного состояния подработанного массива [6], позволяющий выполнять оценку смещений земной поверхности.

В качестве примера рассмотрим применение этих методов для определения вертикальных смещений земной поверхности в краевой части мульды сдвижения при оценке степени влияния подработки на здание. Мульда сдвижения образовалась в результате неравномерного оседания земной поверхности над смежными отработанными зонами 1

и 2 (рис. 1) шахтного поля рудника БПКРУ-1. На рассматриваемом участке шахтного поля в 1974 году отработан один сильвинитовый пласт Кр.П, расчетная степень нагружения междукамерных целиков в зоне 1 составляла $C=0,49$, зона 2 отработана с оставлением жестких междукамерных целиков со степенью нагружения $C=0,3$. Шахтными измерениями зафиксировано ускоренное разрушение междукамерных целиков в зоне 1, в связи с чем в 1998 г. проведена закладка выработанного пространства. Дальнейшие наблюдения за процессом сдвижения осуществлялись по профильной линии (реперы 1-14, рис. 1), заложенной непосредственно над зоной 1, максимальные зафиксированные скорости оседания достигали значений 250 мм/год. В настоящее время процесс сдвижения находится на завершающей стадии, скорости оседания составляют 5-7 мм/год. Максимальные суммарные оседания над зоной 1 с начала подработки достигли значений 2,0 м. Над зоной 2 скорости оседания не превышали 0-5 мм/год, суммарные оседания не превышают 0,1 м (реперы 32-40). Результаты визуального обследования здания (год постройки 1966), проводимого службой «Уралкалий» показывают наличие характерных трещин с максимальным раскрытием более 10 мм, возникших в результате действия растягивающих деформаций земной поверхности.

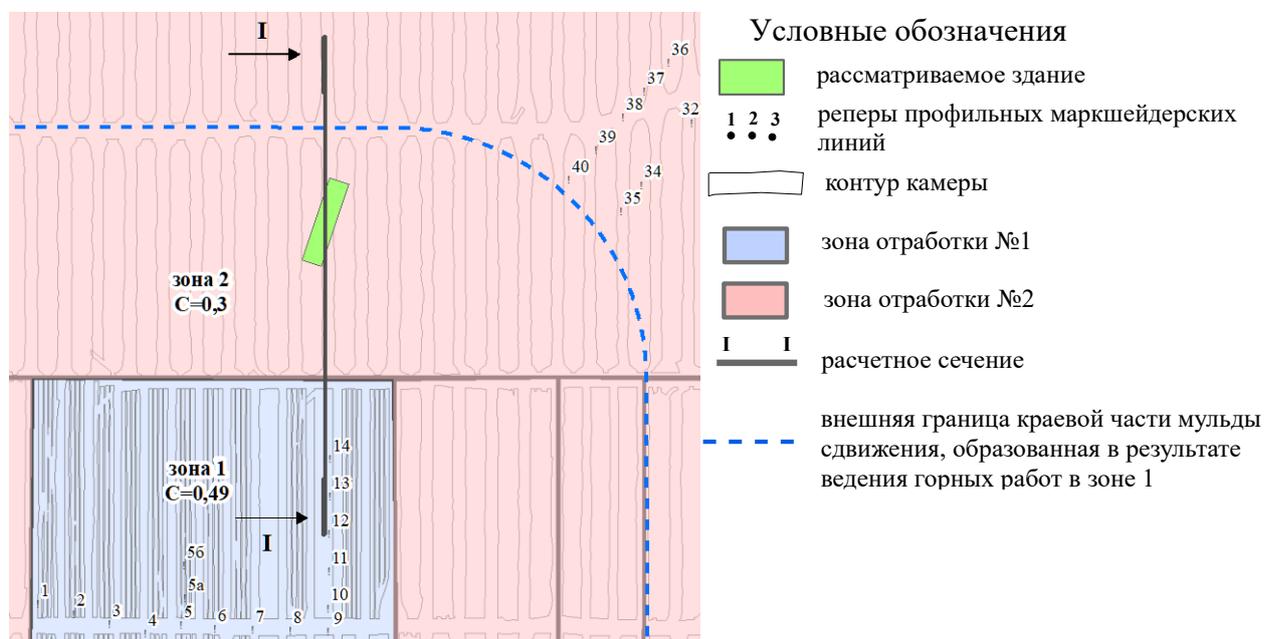


Рис. 1. Совмещенный план горных работ с расположением реперов профильных линий и подрабатываемого здания

Район расположения здания, находящийся под влиянием процесса сдвижения от подработки зоны 1, оказался не охвачен инструментальными наблюдениями. В связи с этим оседания земной поверхности в краевой части мульды сдвижения определялись вдоль расчетного сечения I-I, ориентированного перпендикулярно границе зон 1 и 2 и проходящего через здание вдоль его длинной стороны. Полученные графики оседания (рис. 2а) использовались для определения значений относительных горизонтальных деформаций (рис. 2б) инженерным способом в соответствии с методикой, изложенной в работе [1] как функция от кривизны.

Применительно к данному примеру учитывались следующие особенности методов.

1. Метод типовых кривых. По результатам многочисленных исследований в условиях ВКМКС установлено, что форма краевой части мульды сдвижения зависит от горно-технических условий отработки. В условиях ускоренного разрушения междукамерных

целиков формируются более крутые мульды сдвижения с высокими показателями наклонов, кривизны и, соответственно, относительных горизонтальных деформаций [6, 7]. Выбор безразмерной функции распределения оседания земной поверхности осуществлялся согласно данным, приведенным в работе [8], с учетом расчетной степени нагружения междукамерных целиков в зоне 1 ($C=0,49$) для затухающей стадии процесса сдвижения. Построение графика распределения оседания в краевой части полумульды сдвижения осуществлялось путем приведения безразмерной кривой к максимальным значениям оседания репера 12 (рис. 2а, кривая 1).

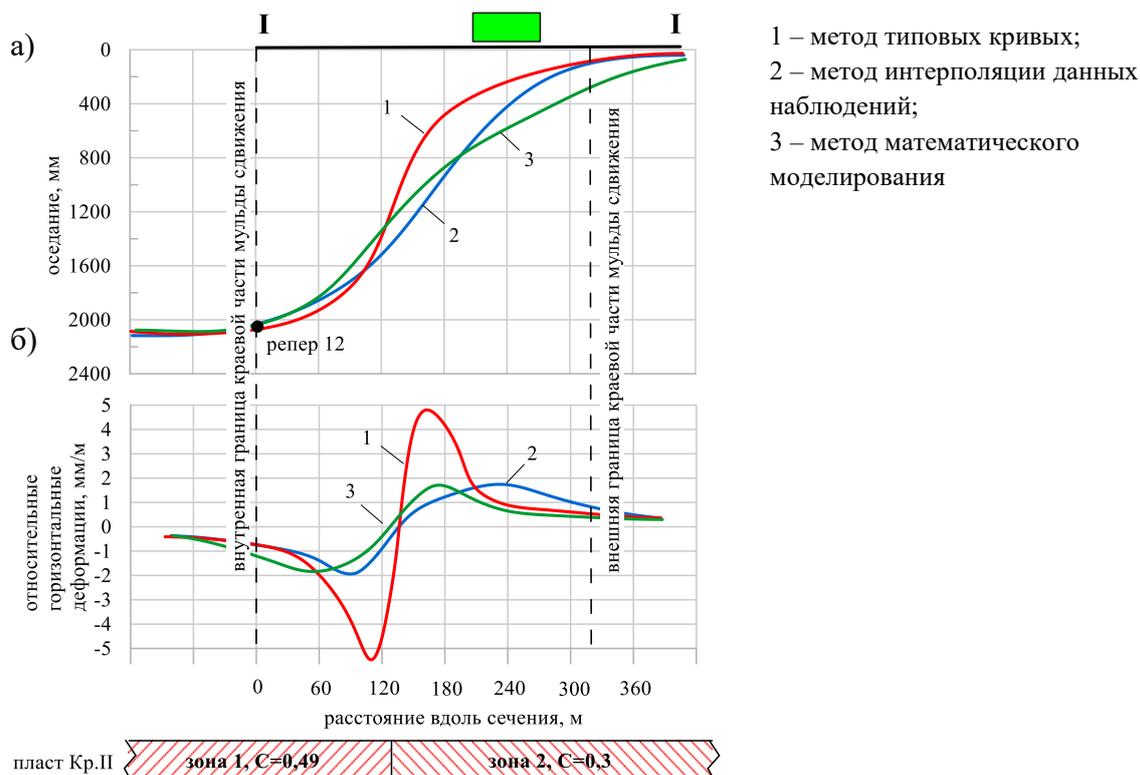


Рис. 2. Графики распределения оседаний (а) и относительных горизонтальных деформаций (б) вдоль сечения I-I, полученные различными методами

2. Метод интерполяции результатов маркшейдерских наблюдений за оседаниями земной поверхности. Используя имеющиеся значения оседаний реперов №1-14 и №32-40, производится построение мульды сдвижения, при этом оседания точек в областях, где отсутствуют данные по инструментальным измерениям, определяются путём интерполирования. Определение оседаний земной поверхности и расчет относительных горизонтальных деформаций осуществлялся в заданном направлении на вертикальном сечении (I-I) (рис. 2а, б, кривая 2). Распределение относительных горизонтальных деформаций характеризуется относительно плавным характером, что связано как с выбранным методом интерполяции, так и с ограниченным количеством данных инструментальных наблюдений. Метод предпочтительнее использовать в условиях, когда имеется более представительный объем информации об оседаниях в краевых частях мульды сдвижения, позволяющий учитывать характер распределения деформаций.

3. Метод математического моделирования. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния подработанного массива учитывает особенности геологического строения, физико-механические свойства пород и конфигурацию выработанного пространства. Получаемые в ходе геомеханических расчётов поля смещений точек используются для получения площадного распределения деформаций земной по-

верхности в рассчитываемой области. Как показывает сравнение в статье [6], результаты математического моделирования хорошо согласуются с результатами натуральных наблюдений. Кроме того, они позволяют определить ориентацию максимальных деформаций в плане, что важно для выбора направления построения расчетных сечений. График распределения оседаний земной поверхности, полученный методами математического моделирования вдоль заданного сечения I-I показан на рис. 2а (кривая 3).

На приведенных графиках наблюдаются отличия в величине относительных горизонтальных деформаций (рис. 2б), что обуславливает и высокую вариативность в оценке степени негативного влияния подработки. В зависимости от выбранного метода построения распределения оседания в краевой части мульды сдвижения расчетный показатель деформации (соответствующий деформациям абсолютного удлинения) принимает следующие значения: 100 мм – для метода типовых кривых, 75 мм – метод интерполяции данных наблюдений, 62 мм – для метода математического моделирования при допустимом показателе, равном 94 мм. Сравнение полученных показателей с допустимой величиной демонстрирует, что условия безопасной эксплуатации здания в первом случае (метод типовых кривых) не соблюдаются. Использование результатов расчетов по второму и третьему методам указывают на возможность безопасной эксплуатации здания без принятия дополнительных мер. Учитывая внешнее состояние здания в расчет принимались неблагоприятные условия, соответствующие результатам, полученным при использовании метода типовых кривых. В таком случае, согласно [2], требуется проведение дополнительного обследования здания для оценки необходимости введения конструктивных мер охраны.

Таким образом, от выбора метода определения оседания земной поверхности на участках, не охваченных инструментальными наблюдениями, зависит точность оценки степени влияния подработки на здания и сооружения, что в конечном итоге может привести к завышенной или заниженной оценке. В связи с этим необходимо учитывать также фактическое состояние объекта, которое в определенной мере может являться критерием выбора того или иного метода. Это указывает на необходимость комплексного подхода к оценке негативного влияния подработки на здания и сооружения с использованием всей имеющейся информации по горно-геологическим условиям подработки, состоянию зданий и сооружений и сдвигению земной поверхности с дальнейшей ее обработкой различными методами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500031-4)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указания (мероприятия) по защите рудников ПАО «Уралкалий» от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных разработок на Верхнекамском месторождении солей. Ч. 1. Основные положения: утв. ПАО «Уралкалий». – Пермь, Березники, 2022 г. – 117 с.
2. ПБ 07-296-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Технорма, 2015 – 194 с.
3. Барях А.А., Тенисон Л.О., Самоделкина Н.А. К определению горизонтальных деформаций подработанных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 11. – С. 5-18. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-11-0-5.
4. Иофис М.А., Гришин А.В. Развитие методов оценки влияния горных работ на подрабатываемые здания и сооружения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S1. – С. 90-96.
5. Аникин Н.Ф., Львова А.В., Бешенцева Э.Ф. Особенности формирования краевых частей мульды сдвижения в условиях верхнекамского месторождения // Контроль, прогнозирование и управление состоянием пород в калийных рудниках: сб. науч. тр. – Л.: ВНИИГ, 1985 – С.152-160.

6. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Геомеханическая оценка интенсивности деформационных процессов над затопленным калийным рудником // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 4. – С. 33-46.
7. Барях А.А., Тенисон Л.О. Обоснование инженерных критериев безопасной подработки водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении солей // Горный журнал. – 2021 – № 4. – С. 57-63. – DOI: 10.17580/gzh.2021.04.08.
8. Указания по защите рудников от затопления в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей / ВНИИГ. – Л.: АгроХим, 1990.

УДК 622.02+622.2

DOI:10.7242/echo.2025.3.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД КОРБАЛИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ОБЪЕМНОМ СЖАТИИ

В.С. Кузьминых, И.Ф. Замараев
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа посвящена исследованиям, направленным на определение прочностных свойств горных пород Корбалихинского месторождения полиметаллических руд. Эксперименты осуществлялись на испытательной установке Toninorm-5 при фиксированных уровнях бокового давления 5,0 и 15,0 МПа.

Ключевые слова: литотип, объемное сжатие, прочностные свойства, паспорт прочности.

Корбалихинское полиметаллическое месторождение находится в южной части Алтайского края и является одним из самых крупных месторождений цинка в России. Полезные ископаемые располагаются на глубине до 1300 метров и по оценочным данным их объем может достигать 24 млн. тонн руды с повышенным содержанием цинка и меди, а также золота и серебра. Освоение запасов ведется с помощью слоевой системы отработки. Данная технология имеет ряд недостатков: низкая производительность, высокая себестоимость добычи, а также большой объем подготовительных работ [1]. Для перехода на новый камерный способ отработки необходима информация о прочностных характеристиках основных типов пород при объеме нагружения, соответствующем условиям нахождения пород в массиве. С целью параметрического обеспечения геомеханических расчетов ведения горных работ были проведены исследования в условиях трехосного сжатия шести литотипов горных пород: туф, лава, алевролит, медно-колчеданная руда, колчеданно-полиметаллическая руда и туфопесчанник.

Для проведения исследований из kernового материала диаметром $47,0 \pm 1,0$ и $36,0 \pm 1,0$ мм были изготовлены образцы с соотношением высоты к диаметру, равным 2. Пробоподготовка выполнялась на отрезной машине Labotom-3 (производитель Struers) (рис. 1а). Обработка торцов образцов выполнялась на шлифовально-полировальном станке LaboPol-25 (производитель Struers) (рис. 1б) в соответствии с необходимыми требованиями и рекомендациями [2]. Всего было подготовлено 88 проб.

Эксперименты по определению механических свойств породных литотипов проводили на универсальной испытательной сервогидравлической системе Toninorm-5 (TN2041/5000) (рис. 3а), которая состоит из нагружающей рамы (максимальное осевое усилие – 5000 кН) и ячейки (камеры) объемного сжатия (максимальное давление – 40 МПа). В состав установки входит адаптивное программное обеспечение Test Expert II, которое позволяет задавать необходимые режимы и параметры нагружения, а также контролировать ход эксперимента на всех его этапах.