

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2023.4.4

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТЕ

А.В. Евсеев, Е.Л. Васильева
Горный институт УрО РАН, г.Пермь

Аннотация: В статье приведены результаты исследования процесса деформирования и разрушения целиков во времени. Выполнен анализ графиков нарастания оседаний земной поверхности и сопоставление результатов с измерениями на замерных станциях в очистных камерах. Определена величина продольной деформации междукамерных целиков, при достижении которой наблюдается увеличение скорости оседания земной поверхности. Полученные результаты могут быть использованы для прогноза развития деформаций междукамерных целиков, оседания земной поверхности и планирования выполнения закладочных работ на руднике.

Ключевые слова: междукамерный целик, конвергенция, оседание земной поверхности, деформирование, устойчивость, критическая деформация.

Мониторинговые исследования, проводимые маркшейдерскими подразделениями на рудниках Верхнекамского месторождения, играют важную роль в обеспечении безопасности ведения горных работ и предотвращении затопления выработанного пространства пресными водами. В соответствии с требованиями нормативных документов выполняются массовые измерения оседаний и горизонтальных смещений грунтовых реперов на земной поверхности [1, 2] и осуществляется контроль горизонтальной конвергенции в очистных камерах [3]. По скорости деформирования судят об устойчивости междукамерных целиков (МКЦ) и на основе таких измерений принимают решение о необходимости применения мер охраны водозащитной толщи и подработанных объектов. Результаты мониторинга являются также исходной информацией для калибровки математической модели при прогнозировании развития оседаний земной поверхности. Выработанное пространство в такой ситуации представляется средой с пониженными по отношению к породам соответствующего пласта механическими свойствами без учета особенностей отработки камерного блока. Изменение модулей деформации во времени полностью определяются графиками нарастания оседаний земной поверхности.

Отдельный интерес представляют шахтные исследования, направленные на детальное изучение процессов деформирования выработанного пространства. Чаще всего сооружаются наблюдательные станции, оборудованные глубинными и контурными реперами, что позволяет как контролировать смещение на контуре выработок, так и определять распределение деформаций в приконтурной зоне. Для измерения используются нивелиры, ленточные экстензометры, тахеометры, лазерные рулетки и т.д. Средства измерения и периодичность контроля выбирается исходя из интенсивности деформационных процессов и требуемой точности. Результаты являются исходной информацией для калибровки математической модели при решении вопросов устойчивости кровли камер, междупластья и целиков в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Для установления взаимосвязи между процессами деформирования междукамерных целиков и оседанием земной поверхности выполнен сопоставительный анализ результатов измерений. Рассмотрен один из характерных участков, расположенный на 1 ЮЗП рудника БКПРУ-4. Пласт АБ отработан в 2010 году, ширина камер a_{AB} составляет 5,5 м,

ширина МКЦ $b_{AB}=6,5$ м, высота камер $m_{AB}=3,1$ м, степень нагружения целиков $C_{AB}=0,32$. Пласт КрII отработан в 2013 году со следующими параметрами: $a_{крII}=5,5$ м; $b_{крII}=6,5$ м; $m_{крII}=5,0$ м; $C_{крII}=0,4$; мощность междупластья АБ-КрII составляет 3,9 м. Замерная станция оборудована в 2013 году, первый цикл измерений на земной поверхности выполнен в 2009 году. Измерения деформаций камерного блока выполнялись на комплексных замерных станциях [4] одновременно на обоих обрабатываемых пластах в течение 7 лет, после чего выполнена гидравлическая закладка участка. На рис. 1 приведены выкопировка с плана горных работ на пласте КрII (на пласте АБ выработки располагаются соосно) и вертикальный разрез камерного блока. На рис. 1б показано вертикальное смещение контролируемых точек, расположенных по оси камер, относительно почвы нижнего пласта. На рис. 2а приведены графики оседания земной поверхности с 2009 по 2020 годы. На рис. 2б и рис. 2в приведены графики поперечного деформирования целиков относительно глубинного репера, расположенного на расстоянии 2,0 м от контура.

Как и следовало ожидать, наиболее интенсивно деформируются целики на пласте КрII, расчётная степень нагружения которых выше, чем на пласте АБ. На момент завершения измерений на пласте КрII продольная деформация целиков составляет 3,5%, на пласте АБ – 0,7%. Междупластье сохраняет свою устойчивость, расслоения за весь период наблюдений не превышают 20 мм. Величина оседания земной поверхности определяется суммарной продольной деформацией целиков. Важно отметить, что скорость оседания земной поверхности, как и скорость поперечной и продольной деформации целиков за весь период наблюдения сохранялась постоянной. Таким образом, на начальном этапе до достижения критических деформаций скорость их ползучести является величиной постоянной и определяется степенью нагружения.

В процессе деформирования целиков происходит увеличение степени их нарушенности. С течением времени это приводит к снижению прочности пород и, соответственно, уменьшению несущей способности целиков. При постоянной нагрузке, определяемой весом вышележащей толщи, происходит увеличение степени нагружения МКЦ, сопровождаемое увеличением скорости оседания земной поверхности. При этом ускорение оседаний наблюдается после достижения критических деформаций.

В качестве примера, иллюстрирующего увеличение скорости, проанализирован другой участок горных работ, где к настоящему времени оседания земной поверхности достигли 950 мм (рис. 3, репер 98). На участке отработаны 2 пласта АБ (2012 год) и КрII (2013 год). Ширина камер по обоим пластам составляет 5,5 м, ширина целиков – 5,4 м. Вынимаемая мощность по пласту АБ равна 3,1 м, по пласту КрII – 5,2 м. Расчётная степень нагружения по пластам АБ и КрII составляет 0,35 и 0,4 соответственно. В 2019-21 гг. выполнена закладка выработанного пространства по пласту КрII.

На рис. 4 показан график оседания репера 98 во времени. Начиная с момента отработки до 2018 года оседание земной поверхности происходило с постоянной скоростью и достигло 300 мм. В 2019 году отмечено увеличение скорости оседания, связанное по всей видимости с достижением целиками критических деформаций и изменением их несущей способности. Выполнение гидрозакладочных работ в период с конца 2019 по 2020 год на пласте КрII также отразилось на скорости оседания земной поверхности. После окончания закладки скорость стабилизировалась на прежних уровнях.

В ходе обследования выработанного пространства в 2019 году горизонтальная конвергенция в отработанных камер на пласте АБ составляла 15-25 см, на пласте КрII – 40-45 см. В относительном виде горизонтальная конвергенция равнялась 2,5-4,5% и 6,5-8,0% на пластах АБ и КрII соответственно. Согласно выполненным ранее исследований [5] отношение поперечных деформаций целика к продольным составляет 1,6, следовательно, расчётная продольная деформация целиков равнялась 1,6-2,8% и 4,1-5,0% на пластах АБ и КрII соответственно. В абсолютном виде это составляло 50-85 мм на пласте АБ и 230-280 мм на пласте КрII.

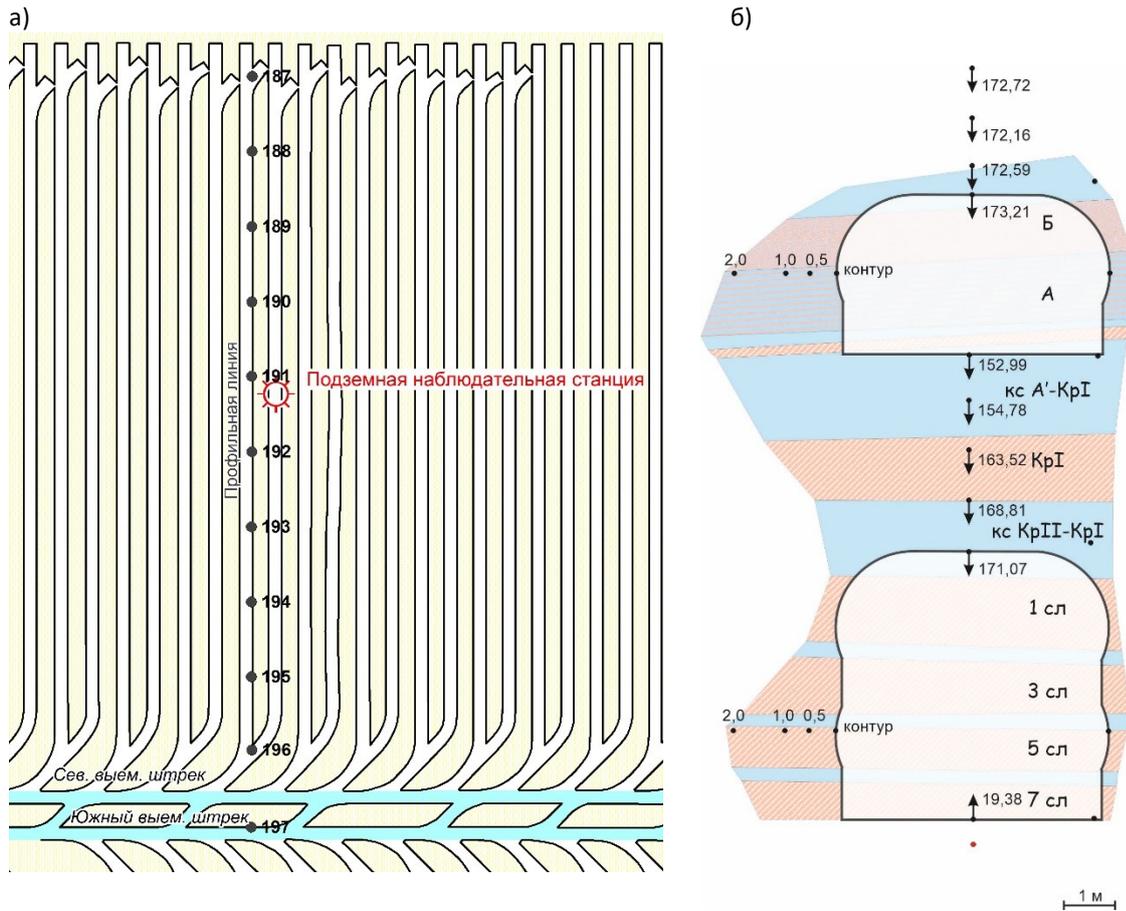


Рис. 1. Выкопировка с плана горных работ (а) и смещение контролируемых точек в междупластье и кровле пласта АБ за период с 11.2013 г. по 12.2020 г.

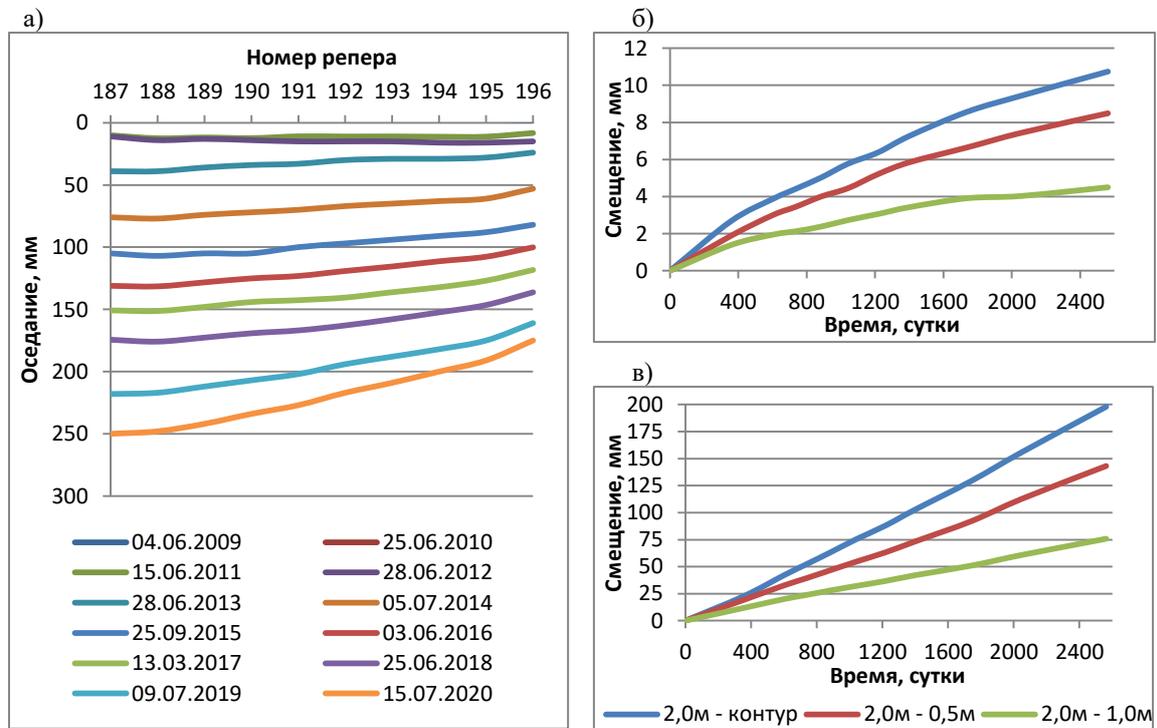


Рис. 2. График нарастания оседаний земной поверхности (а) и поперечного деформирования междукамерных целиков на пластах АБ (б) и КрII (в)

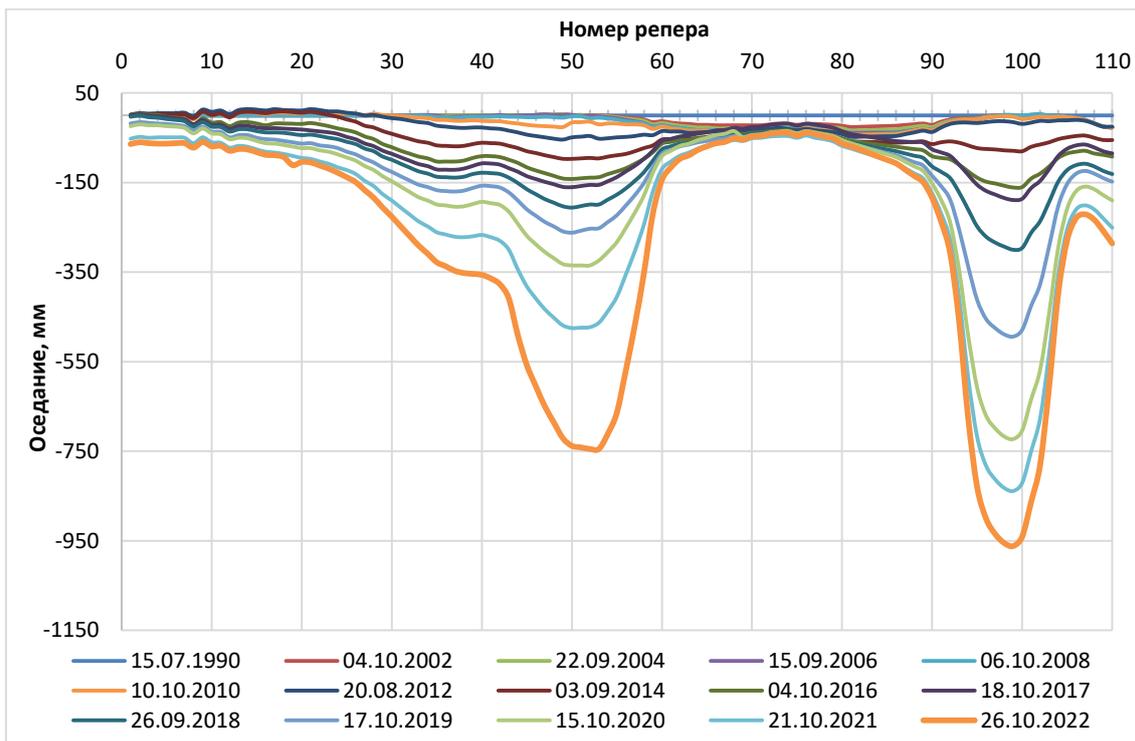


Рис. 3. Графики нарастания оседаний земной поверхности по профильной линии

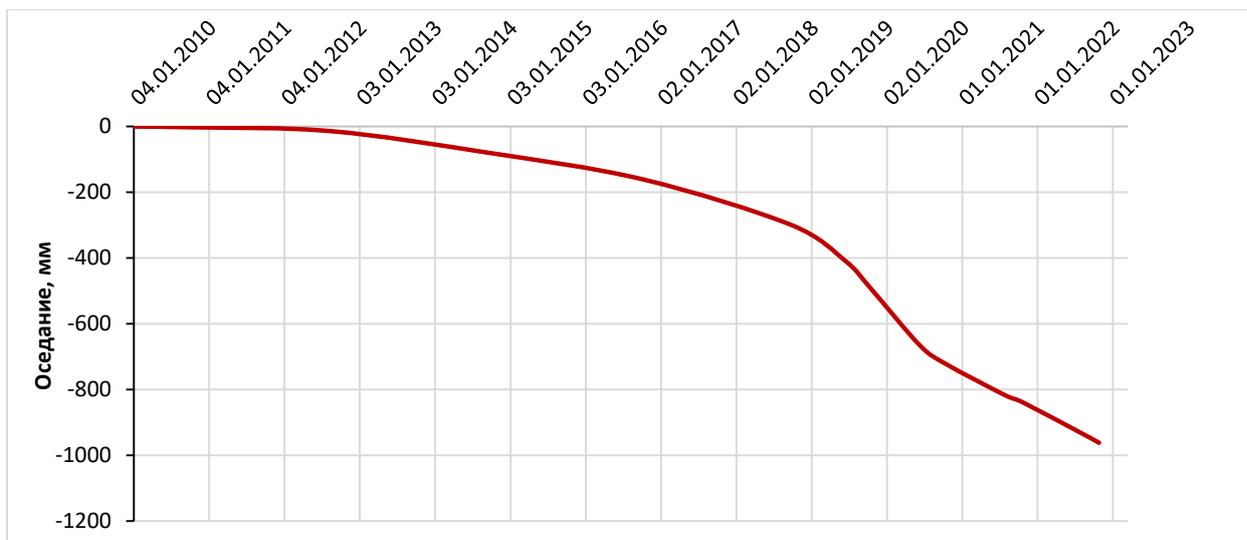


Рис. 4. График оседания репера 98 во времени

Таким образом, на основании анализа графиков нарастания оседания земной поверхности и результатов контроля деформаций МКЦ установлено, что в пределах экспериментального участка критическая продольная деформация МКЦ составляет около 5%. При достижении этой величины наблюдается увеличение скорости оседания земной поверхности.

Полученные результаты могут быть использованы для прогноза развития деформаций междукамерных целиков и оседания земной поверхности по результатам контроля горизонтальной конвергенции очистных камер и для планирования выполнения закладочных работ на отработанных площадях.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 20-45-596011 р_НОЦ_Пермский край
и Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР 122012000403-1).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми зданиями и сооружениями на калийных рудниках: утв. ОАО «Сильвинит», ОАО «Уралкалий»; согласовано Госгортехнадзор России 26.04.2004 № АС-04-35/336. – СПб, 2004. – 73 с.
2. Технологический регламент по комплексному обеспечению безопасности горных работ и охране недр на рудниках ПАО «Уралкалий»: утв. 16.02.2016, № 253. – 5-е изд.
3. 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.
4. Евсеев А.В. Методика инструментального контроля процессов деформирования камерного блока при двухпластовой отработке сильвинитовых пластов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2015. – С. 105-107.
5. Барях А.А., Евсеев А.В., Глебова П.А., Васильева Е.Л. Прогноз оседаний земной поверхности по данным измерения деформаций горных выработок // Горный журнал. – 2023. – № 11. – С.

УДК 622.02+622.2

DOI:10.7242/echo.2023.4.5

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ

В.С. Кузьминых

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье приведены результаты проведения лабораторных испытаний образцов сильвинита с ВКМКС по схеме долговременного приложения растягивающих усилий. Эксперименты реализовывались на универсальной разрывной машине «Zwick Z050» при постоянных величинах прикладываемых нагрузок от 0,4 до 1,2 МПа, длительность опытов составляла от 7 до 14 суток. По итогам проделанных работ получена теоретическая зависимость длительной прочности при растяжении.

Ключевые слова: сильвинит, растягивающее усилие, скорость деформирования, степень нагружения.

В настоящее время для калийных рудников Верхнекамского месторождения весьма важной проблемой является обеспечение безопасных условий ведения работ при добычи полезных ископаемых. При камерной системе разработки, которая применяется на ВКМКС, необходимо уделять особое внимание состоянию кровли горных выработок [1], породы которой, как правило, находятся по действием растягивающих напряжений в течение длительного времени [2, 3]. Поэтому, работы связанные с изучением реологических свойств соляных пород, являются актуальными.

С целью проведения исследования были изготовлены пробы сильвинита призматической формы длиной 250 мм и поперечным сечением 50×50 мм.

Эксперименты проводились на универсальной электромеханической машине «Zwick 050» (максимальное усилие – 50 кН), позволяющей поддерживать постоянное растягивающее усилие с одновременной регистрацией продольных деформаций (рис. 1). Для исключения концевых эффектов, связанных с низкой контактной прочностью солей перед испытанием проводилась подготовка образца, заключавшаяся в его цементации в специальных металлических матрицах [4].