

нижнего и среднего интервала ВЗТ (Б-В, В-Г, Г-Д, Д-Е, Е-Ж, Ж-З, З-И, И-К). Целостность сохраняют ПП и верхняя часть ПКС. У западной границы зоны 3 прогнозируется похожая ситуация с единственным отличием, что развитие субвертикальной нарушенности пластов каменной соли ограничено интервалом верхней части карналито-сильвинитовой зоны (Б-В, В-Г, Д-Е).

Таким образом, изменение характера кривой деформирования подработанного массива приводит к изменению динамики его разрушения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барях А.А., Самоделкина Н.А. К расчету устойчивости целиков при камерной системе разработки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 1. – С. 11-20.
2. Baryakh A.A., Lobanov S.Y., Lomakin I.S. Estimation of salt rocks' long-term strength in natural conditions // Solid State Phenomena. – 2016. – V. 243. – P. 11-16.
3. Барях А.А., Телегина Е.А. Анализ условий разрушения водозащитной толщи при различных вариантах камерной системы разработки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 1. – С. 34-40.
4. Барях А.А., Асанов В.А., Самоделкина Н.А., Паньков И.Л., Телегина Е.А. Геомеханическое обеспечение защиты калийных рудников от затопления // Горн. журн. – 2013. – № 6. – С. 30-34.
5. Цаюков А.А., Ломакин И.С. О деформационном критерии оценки устойчивости междукамерных целиков / А.А. Цаюков, И.С. Ломакин // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 106-109. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.27.
6. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.
8. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – № 6. – С. 32-41. – DOI: 10.1007/s10913-006-0015-x.
9. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей: (технологический регламент): утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.
10. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с.
11. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.4.6

## К ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ НАГРУЖЕНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТЕ

А.В. Евсеев

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Согласно действующим нормативным документам для обеспечения равномерного характера деформирования водозащитной толщи степень нагружения целиков не должна превышать допустимых величин. Для оценки принятых параметров системы разработки на земной поверхности и в очистных камерах ведется инструментальный контроль протекающих процессов. В статье выполнен анализ результатов мониторинга для различных участков месторождений и сделан вывод о соответствии фактической степени нагружения расчетной величине.

**Ключевые слова:** оседание земной поверхности, междукамерные целики, степень нагружения, скорость деформирования, содержание Н.О., глинистые прослои.

Один из основных показателей, характеризующих процесс деформирования подработанной толщи, – скорость оседания земной поверхности. Эта величина является индикатором корректности выбора параметров системы разработки. Многочисленными лабораторными и натурными исследованиями установлено, что связь между степенью нагружения и скоростью деформирования может быть описана экспоненциальной зависимостью (рис. 1). Данные закономерности позволяют также прогнозировать развитие оседаний земной поверхности при оценке сохранности зданий и сооружений на земной поверхности в долговременной перспективе.

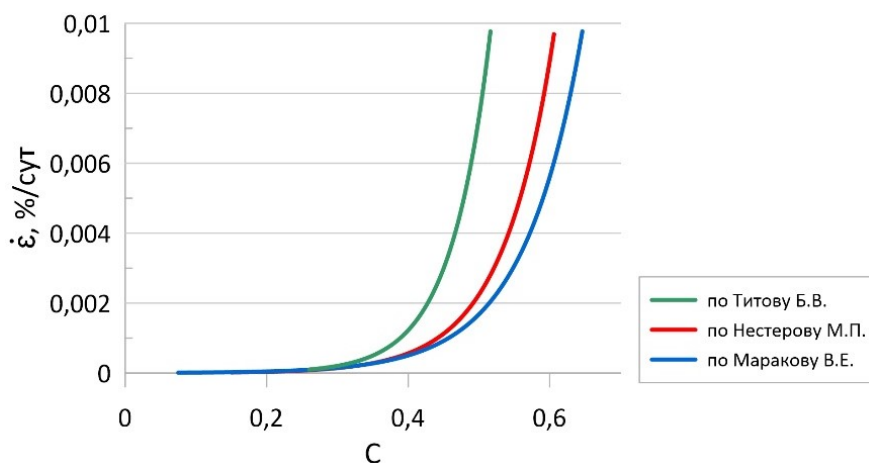


Рис. 1. Зависимость скорости деформирования целиков при различной степени их нагружения

Другой показатель, используемый для контроля междукамерных целиков и прогноза времени их устойчивого состояния, – скорость горизонтальной конвергенции стенок добычных камер. По сравнению с оценкой вертикальной деформации целиков измерения горизонтальной конвергенции камер являются более технологичными, а получаемые результаты не искажаются процессами, связанными с расслоением и обрушением пород кровли. Эти измерения дополняют результаты геодезического мониторинга и расширяют область контроля при невозможности выполнения работ на земной поверхности. В результате регулярного мониторинга, совмещенного с визуальным обследованием выработанного пространства, получается оперативная информация о состоянии целиков на каждом пласте, что позволяет своевременно корректировать параметры отработки и планировать производство закладочных работ в соответствии с геомеханической ситуацией на предприятии. В качестве критерия перехода целиков в стадию прогрессирующей ползучести принято достижение скорости поперечного их деформирования величины 50 мм/м в год.

Сопоставление результатов контроля горизонтальной конвергенции междукамерных целиков и оседаний земной поверхности показал качественное соответствие получаемых данных (рис. 2). Вместе с тем, интенсивность деформационных процессов в различных частях месторождения значительно отличается.

Так, например, на рудниках Соликамского рудоуправления при степени нагружения 0,4 скорость оседания земной поверхности редко превышает 50 мм/год, при этом скорость поперечного деформирования целиков практически полностью отсутствует (величина смещения не превышает точность измерения). В центральной части месторождения (рудник Четвертого Березниковского рудоуправления) оседание земной поверхности и деформирование целиков идет более интенсивно, при этом скорость попереч-

ного деформирования целиков не превышает 30 мм/м в год. В юго-восточной части месторождения уже в течение 1,5-2 лет после окончания горных работ скорость оседания земной поверхности на отдельных участках даже при отработке одного пласта может достигать 90-100 мм/год, а скорость поперечного деформирования целиков превышать 100 мм/м в год.

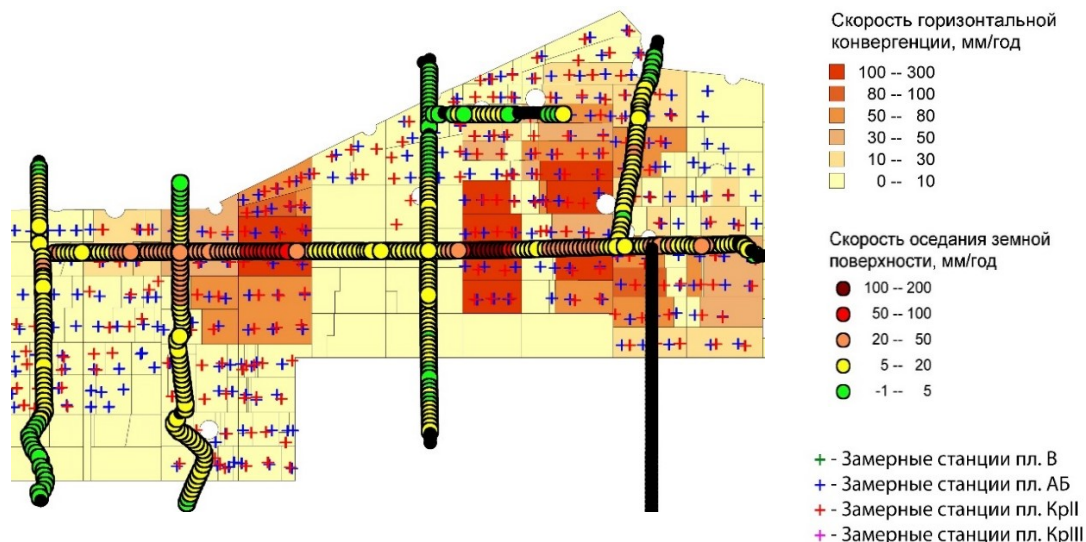


Рис. 2. Результаты инструментального контроля в шахте и на поверхности на одном из участков шахтного поля

Анализ результатов геодезических измерений показал, что в условиях Палашерского участка Верхнекамского месторождения скорость оседания земной поверхности превышает теоретические величины (рис. 3) в 2-6 раз, что косвенно свидетельствует о несоответствии расчетной степени нагружения фактической. Выполненные оценки показали, что в юго-восточной части месторождения уже на начальном этапе целики деформируются в податливом режиме с реальной степенью нагружения целиков 0,5-0,6. Одной из наиболее вероятных причин интенсивного деформирования целиков в юго-восточной части месторождения является высокое содержание глины (Н.О.) в отработываемых пластах.

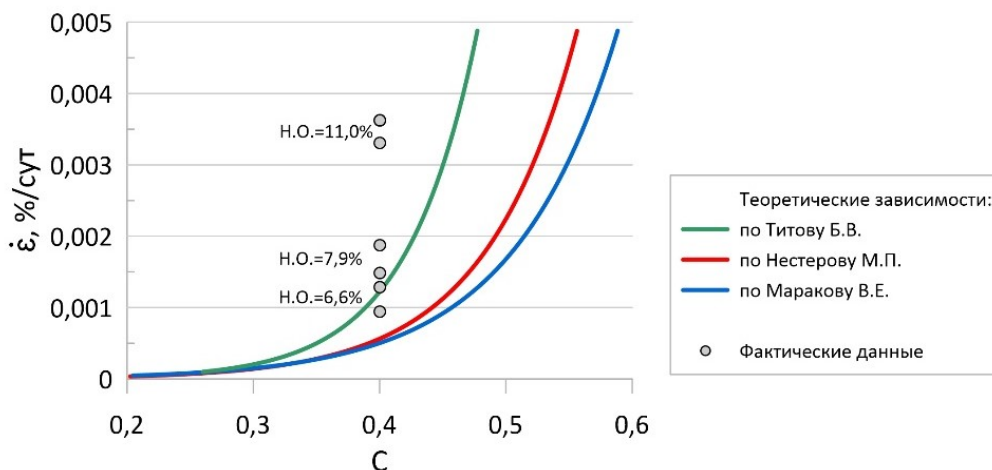
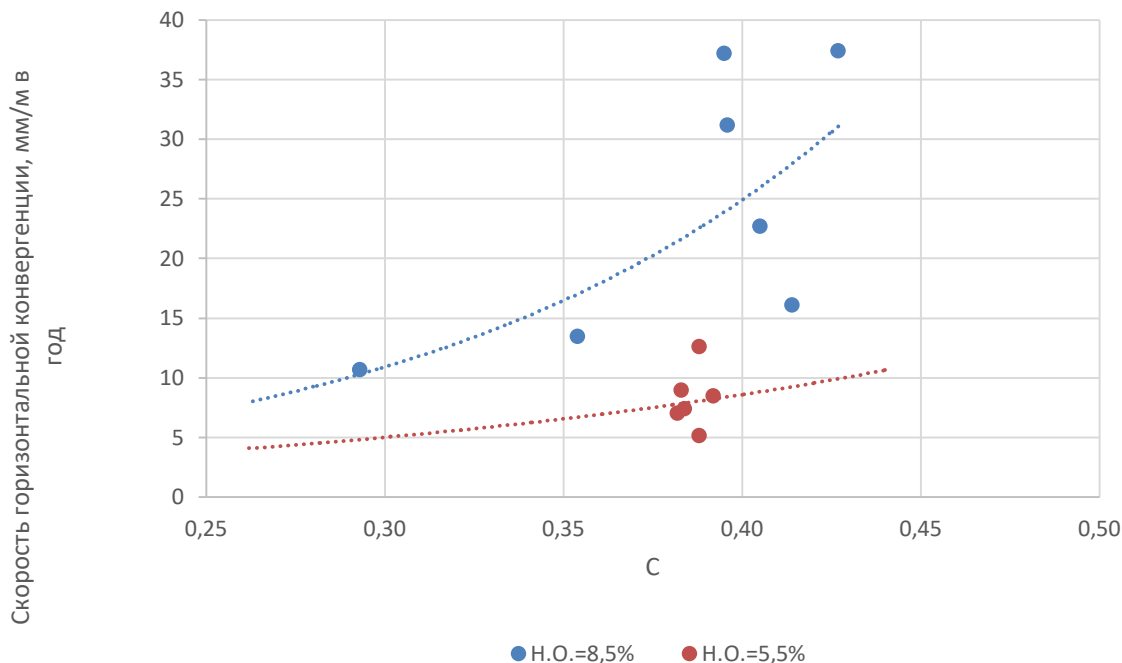


Рис. 3. Фактические скорости оседания земной поверхности на Палашерском участке ВКМКС

Аналогичные выводы можно сделать и по результатам шахтных измерений. При одинаковой расчетной степени нагружения скорость относительного поперечного деформирования целиков на участках с содержанием глины 5,5 и 8,5% отличается более чем в 2 раза. (рис. 4).



**Рис. 4.** График зависимости скорости поперечной деформации междукамерных целиков от их расчетной степени нагружения при различном содержании Н.О. в пласте

Выполненный анализ свидетельствует о том, что существующие методики расчета параметров системы разработки не в полной мере учитывают влияние глинистого материала на агрегатную прочность целиков, в результате чего скорость их деформирования определяется не только степенью нагружения, но и содержанием нерастворимого остатка.

Для достоверного определения безопасных параметров ведения горных работ и возможности прогноза деформаций земной поверхности требуется внести соответствующие корректировки в действующие нормативные документы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
в рамках проекта № 20-45-596011 р НОЦ Пермский край  
и Министерства науки и образования РФ  
в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374  
от 29 декабря 2020 г.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability // Eurasian mining. – 2020. – № 2 – DOI: 10.17580/em.2020.02.02.
2. Методические указания по расчету податливых междукамерных целиков на калийных месторождениях / отв. ред. В.С. Федоренко. – Л.:ВНИИГ, 1982. – 104 с.
3. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми зданиями и сооружениями на калийных рудниках. – СПб, 2004.