

**А.В. Томилин, Р.К. Халкечев**

## **МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ СОЛЯНЫХ ЦЕЛИКОВ С УЧЕТОМ ПРИСУТСТВИЯ СТРУКТУРНЫХ И ТЕКСТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ПРОСТРАНСТВЕ**

Описаны механизмы разрушения соляных целиков в зависимости от контактных условий, возникающие под действием нагрузок, возникающих в руднике. Особое внимание уделяется наличию в целиках с сильно коррелированных структурных и текстурных составляющих, а также показано их влияние на процесс разрушения. Кроме этого исследование учитывает наличие глинистых прослоев, довольно часто встречающихся в соляных целиках и показано изменение процесса разрушения целиков в зависимости от количества данных прослоев.

Ключевые слова: природно-техническая геосистема, подземное строительство, сильно-коррелированные структурные составляющие, сильно коррелированные текстурные составляющие, упругие модули, горная порода, разрушение горных пород.

**В**остребованность калийной и каменных солей постоянно растет, поскольку они широко применяются при производстве минеральных удобрений, используемых достаточно широко в сельском хозяйстве, а также востребованы в фармацевтической, бумажной, стекольной, лакокрасочной отраслях промышленности.

При добыче солей подземным способом в основном используется камерная система разработки с оставлением целиков, выполняющих важнейшую роль поддержания кровли, для предотвращения ее обрушения. Особо стоит отметить, что активно развивается использование отработанных месторождений по добыче солей для различных целей по всему миру. В пустующих рудниках располагают склады, в том числе и для ядерных отходов, музеи, рестораны, религиозные и оздоровительные объекты.

Подземное пространство рудника представляет собой совокупность различных горных выработок, каждая из которых,

оказывает взаимное влияние и в этом аспекте является сложной природно-технической геосистемой (ПТГС), для которой характерно постоянное пространственно-временное развитие и взаимодействие ее природной и технической составляющих. Отмеченное развитие и взаимодействие являются основными, хотя и не единственными, факторами, влияющими на устойчивость ПТГС. Для нормального безаварийного функционирования ПТГС необходимо, чтобы действующие в ней природные и техногенные силы различной физической природы не приводили к потере ее устойчивости. Обеспечение последней обычно осуществляется за счет реализации таких технических решений (принимаемых, в частности, на стадии проектирования), которые минимизируют изменения исходного равновесного состояния системы, а также организации целенаправленных консолидирующих обратных связей в системе, обеспечивающих поддержание ее в равновесном состоянии [1, 2, 4].

Системный подход предполагает квалифицированное выделение в системе наиболее существенных для обеспечения ее устойчивого функционирования подсистем, взаимосвязей между ними и факторов дестабилизирующего влияния, а также отбрасывание тех из них, которые могут быть оценены как менее значимые [3]. Указанный подход позволяет создать математическую модель системы, на базе которой должно строиться принятие оптимальных решений по обеспечению устойчивости. Однако даже в тех случаях, когда построение такой модели по тем или иным причинам оказывается невозможным, системный подход сохраняет свою важность как метод получения правильных качественных представлений и методологическая основа принятия соответствующих проектных и управленческих решений, направленных на поддержание устойчивости объектов подземной инфраструктуры горного предприятия.

Одним из главных параметров точного прогноза будущего состояния природно-технической геосистемы является понимание процесса разрушения соляных целиков с учетом наличия в них структурных и текстурных составляющих сильно коррелированных в пространстве [5, 6].

Для горных выработок выделяют два типа кровли и почвы: массивные солевые и тонкослоистые глиносолевые. В связи с этим возможны следующие контактные условия взаимодействия для целиков:

1. Оба конца целика имеют сцепление с массивной солевой кровлей и почвой.

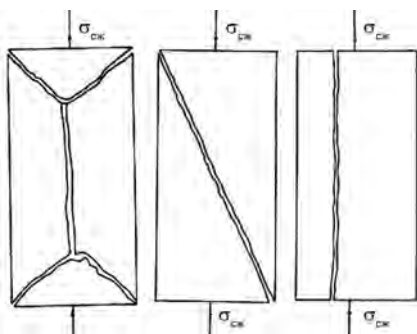


Рис. 1. а) «коническое» разрушение; б) «косое» разрушение; в) разрушение типа «раскалывания»

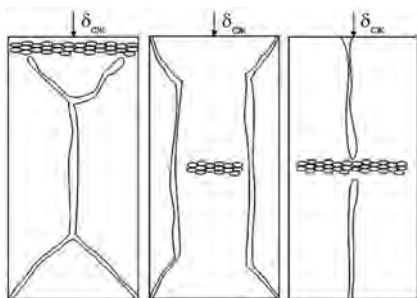


Рис. 2. Изменение процесса разрушения образцов горных пород при наличии структурных и текстурных составляющих преимущественно направленных горизонтально в пространстве

Принимая во внимание зависимость процесса разрушения от контактных условий можно наблюдать следующие виды разрушения целиков:

1. Если оба конца целика имеют сцепление с массивной солевой кровлей и почвой – «коническое» или «косое» разрушение.

2. Оба конца целика имеют сцепление с тонкослоистой глиносолевой кровлей и почвой; – разрушение типа «раскалывание».

3. При комбинированных контактных условиях на концах целика будет наблюдаться комбинированное разрушение: вблизи одного торца целика, где имеется сцепление с массивной солевой кровлей (почвой), ожидается «косое» или «коническое», а вблизи другого, где имеется сцепление с глиносолевой почвой (кровлей), – разрушение типа «раскалывания».

2. Оба конца целика имеют сцепление с тонкослоистой глиносолевой кровлей и почвой.

3. Один из концов целика имеет сцепление с массивной солевой кровлей (почвой), а другой – с тонкослоистой глиносолевой почвой (кровлей).

Исследователи, проводившие опыты по испытанию пород на одноосное сжатие выделяют три варианта разрушения, зависящие от контактных условий на концах испытуемого образца (рис. 1):

1. «коническое» разрушение;

2. «косое» разрушение;

3. разрушение типа «раскалывания».

Следует отметить, что наличие сильно коррелированных ориентации структурных и текстурных составляющих в пространстве изменяет процесс разрушения в зависимости от положений частиц в целике и угла их ориентации по отношению к оси «х» (рис. 2).

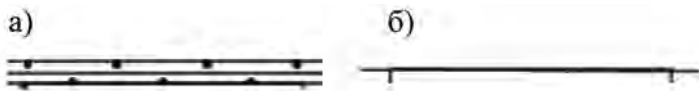


Рис. 3. Схематичное отображение кровли и почвы: а) массивной солевой; б) глиносолевой

В дальнейшем на рисунках массивную соляную кровлю и почву, а также глиносолевую кровлю и почву будем обозначать как показано на рис. 3.

Используя автоматизированную систему научных исследований физических процессов горного производства [7] в части обработки и систематизации экспериментальных данных, было установлено, что при разрушении целиков, как и при разрушении опытных образцов, наличие сильно коррелированных ориентаций структурных и текстурных составляющих в пространстве изменяет процесс разрушения, либо ускоряя его при совпадении преимущественной ориентации с процессом разрушения, либо препятствуя ему (рис. 4–5).

При добыче солей довольно часто встречаются глинистые прослой, которые затем остаются в целиках. Если в материале имеется прослой другого и прочность поверхности раздела между ними меньше прочности основного материала, то в этой поверхности, которую называют слабой, происходит торможение по схеме Кука-Гордона, имеющее следующий механизм (рис. 6): прежде чем к слабой поверхности подойдет трещина, к ней приблизится зона растягивающих напряжений, которая движется впереди распространяющейся трещины; под действием этой

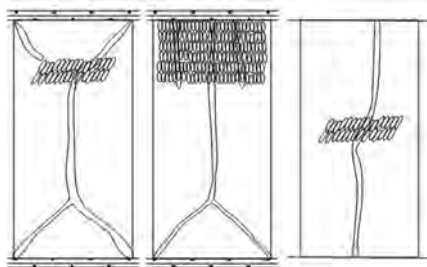


Рис. 4. Разрушение соляных целиков при наличии структурных и текстурных составляющих в пространстве преимущественная ориентация которых совпадает с развитием трещины

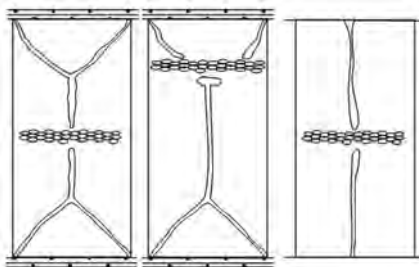


Рис. 5. Препятствие процессу разрушения целиков при наличии структурных и текстурных составляющих в пространстве с преимущественной ориентацией, не совпадающей с развитием трещины

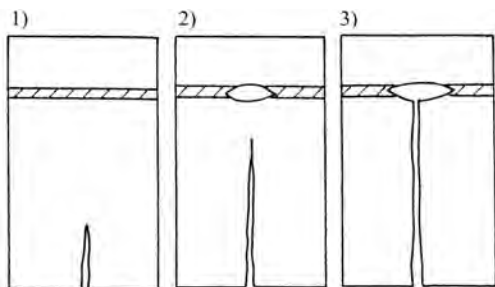


Рис. 6 Механизм торможения трещины по Куку-Гордону: 1 – трещина приближается к поверхности раздела; 2 – в поверхности раздела образуется новая трещина; 3 – первоначальная трещина торможения

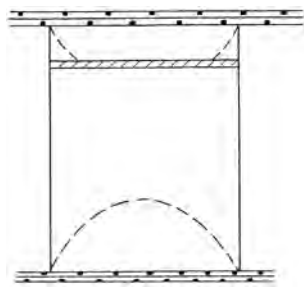


Рис. 7 Формирование напряжений в цементе при прохождении глинистого прослоя через приторцевую коническую область

зоны поверхность раздела разрушится – образуется новая трещина под прямым углом к первоначальной; образовавшаяся трещина остановит движение первоначальной трещины [5, 6].

При наличии одного или нескольких глинистых прослоев внутри целика процесс разрушения будет протекать отдельно для каждого слоя целика: между кровлей и глинистым прослоем, между глинистыми прослоями, между глинистым прослоем и почвой (рис. 7–9).

Всюду предполагалось, что глинистый прослой расположен горизонтально, т.е. составляет с осью целика угол, который по своей величине мало отличается от прямого. Если это условие не соблюдается, то возможен другой механизм разрушения целиков. Например, магистральные трещины образуют трещины на слабой поверхности и тормозятся ими; дальнейшее разру-

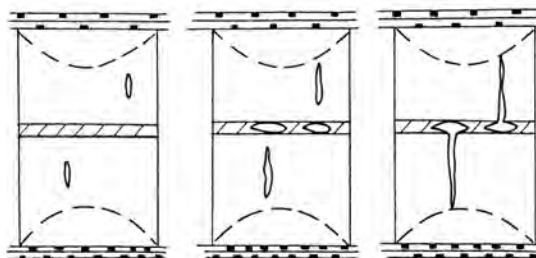


Рис. 8 Механизм распространения трещины в случае глинистого прослоя, проходящего по середине целика

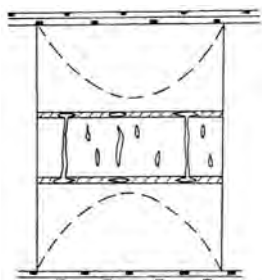


Рис. 9 Разрушение при наличии двух глинистых прослоев

шение может происходить путем распространения трещин на слабой поверхности, что приводит к сдвигу одной части целика относительно другой по глинистому прослою.

Если в соляных целиках имеются прослои других пород, так что прочность поверхности раздела больше от общей прочности сцепления соли, то поверхность раздела не является слабой и, следовательно, не тормозит распространяющиеся трещины. Так, например, если целик представлен чередующимися слоями сильвинита и каменной соли, то магистральная трещина беспрепятственно пересечет поверхности раздела между ними и поведение целика в смысле механизма разрушения не изменится.

Имея представление о механизме разрушения целиков в зависимости горно-геологических условий, а также наличия сильно коррелированных ориентаций структурных и текстурных составляющих в пространстве и с учетом такой ориентации можно достоверно спрогнозировать разрушение каждого целика в горной выработке, что позволит дать прогноз о будущем состоянии природно-технической геосистемы в которую входит данная горная выработка и предотвратить возможную техногенную катастрофу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчак А. В., Картозия Б. А., Мельникова С. А. Строительная геотехнология. — М.: Издательство МГГУ, 2003. — 229 с.
2. Корчак А. В. Методологические принципы освоения подземного пространства мегаполисов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 9. — С. 51–62.
3. Картозия Б. А., Корчак А. В., Левченко А. Н. Проблемы методологии и практики освоения подземного пространства мегаполисов // Горный журнал. — 2014. — № 9. — С. 60–64.
4. Корчак А. В. Проблемы, направления и пути решения задач освоения подземного пространства мегаполисов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 5. — С. 89–97.
5. Томилин А. В. Закономерности влияния структурно-текстурных особенностей горных пород на их деформационные свойства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 3. — С. 169–170.
6. Томилин А. В., Халкечев К. В. Математическое моделирование деформирования горных пород с сильно коррелированными ориентациями структурных и текстурных составляющих в пространстве // Обозрение прикладной и промышленной математики. — 2010. — Т. 17. — Вып. 3. — С. 466–468.
7. Халкечев Р. К. Разработка архитектуры автоматизированной системы научных исследований физических процессов горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7. — С. 317–323. **ИИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Томилин Александр Владимирович*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: avtomilin@mail.ru,  
*Халкечев Руслан Кемалович*<sup>1</sup> — кандидат физико-математических наук, доцент,  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 5, pp. 357–363.

UDC 622.012:  
658.2.016;  
622.25

**A.V. Tomilin, R.K. Khalkechev**

### **THE MECHANISM OF DESTRUCTION OF THE PILLARS OF SALT GIVEN THE PRESENCE OF STRUCTURAL AND TEXTURAL COMPONENTS IN SPACE**

The article describes such complex natural-technical geosystems as salt mines. Like any natural-technical geosystems they are in constant development, it is important to maintain the stability of the systems that would eliminate the emergency situation. Stability of natural-technical geosystems is largely dependent on prediction of their future state. When salt mining by underground method is mainly used chamber system development with the remaining pillars, which play a critical role in the maintenance of the roof to prevent its collapse. That is why the forecasting of a condition of natural-technical geosystems as the salt mines should be based on identifying failure mechanisms of salt pillars.

The presented article describes how the destruction salt pillars depending on contact conditions at the ends of the pillars, arising under the action of loads generated in the mine. Particular attention is paid to the presence of strongly correlated pillars of structural and textural components, and shows their impact on the process of destruction. In addition, the study takes into account the presence of clay layers, are quite common in salt pillars and shows the change in the process of destruction of pillars depending on the number of data layers.

Key words: natural-technical geosystems underground construction, strongly correlated constituents strongly correlated leaving texture, elastic moduli, rock, destruction of rocks.

## AUTHORS

*Tomilin A.V.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: avtomilin@mail.ru,

*Khalkechev R.K.*<sup>1</sup>, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia.

## REFERENCES

1. Korchak A. V., Kartoziya B. A., Mel'nikova S. A. *Stroitel'naya geotekhnologiya* (Construction geotechnology), Moscow, Izdatel'stvo MGGU, 2003, 229 p.
2. Korchak A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 9, pp. 51–62.
3. Kartoziya B. A., Korchak A. V., Levchenko A. N. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 9, pp. 60–64.
4. Korchak A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 5, pp. 89–97.
5. Tomilin A. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 3, pp. 169–170.
6. Tomilin A. V., Khalkechev K. V. *Obozrenie prikladnoy i promyshlennoy matematiki*. 2010. T. 17. Vyp. 3, pp. 466–468.
7. Khalkechev R. K. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7, pp. 317–323.