



ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА

УДК 504.55.054:622 (470.6)

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36481](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36481)

Оригинальная статья

Геомеханические факторы взаимодействия природных и технических систем в районах освоения недр

В.И. Голик ¹, д.т.н., проф., Х.Х. Кожиев², д.т.н., проф.,
О.Г. Бурдзиева ¹, к.геогр.н., С.А. Масленников³, к.т.н.

¹Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: v.i.golik@mail.ru;

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

³Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал в г. Шахты) «Донской государственной технической университет», Россия, 346500, Ростовская обл., г. Шахты, пер. Луговой, 21

Статья поступила: 16 июня 2019, доработана: 22 августа 2019, одобрена в печать: 23 августа 2019.

Аннотация: Актуальность работы. Деятельность горнодобывающей отрасли осуществляется с высокой степенью риска. Проблема управления состоянием массива особо актуальна в условиях горного региона с неработающими выработками, воронками провалов и отвалами пород и хвостов обогащения на террасных участках и в долинах рек. Она особо актуальна в условиях региона Северная Осетия с неработающими выработками, воронками провалов и отвалами пород и хвостов обогащения на террасных участках и в долинах рек. Увеличение глубины горных работ и объемов выемки сырья в сейсмически активных районах усиливают статическое и динамическое воздействие на геомеханические системы. **Цель работы** – исследование влияния геомеханических факторов с целью их учета при разработке месторождений. **Методы исследования.** Динамика напряжений в массиве измерялась с помощью тензометрических датчиков. На одном из месторождений была оборудована замерная тензометрическая станция. Полученные эпюры напряжений вокруг выработки служили основанием для оценки поведения массива. **Результаты работы.** Установлено, что изменение состояния крепи в зависимости от фазы развития очистных работ подчиняется закономерности. Пока рудное тело в пределах блока ведет себя как защемленная висячем и лежащем боках балка, напряжения распределяются равномерно. После отрезки рудного тела со стороны висячего бока нагрузка на верхний элемент крепи со стороны очистных работ возрастает. Одним из направлений совершенствования технологий является использование феномена заклинивания дискретных пород, что нередко позволяет обеспечить возможность отработки месторождений с получением эколого-экономического эффекта при обеспечении безопасности горных работ. **Практическая значимость работы.** Эффективность использования породных конструкций складывается из экономии труда и материалов на управление состоянием скальных массивов при подземных работах. Оптимизация влияния напряжений в зоне взаимодействия очистных и подготовительных выработок уменьшает разубоживание руд породами и снижает опасность травмирования работающих отлаивающимися породами. При подземной разработке скальных сложноструктурных металлических месторождений в зоне взаимодействия горных выработок величина и знак напряжений во времени и пространстве может быть прогнозирована с достаточной для оперативного управления детализацией. Учет геомеханических факторов при отработке таких участков позволяет корректировать параметры разработки с получением экономического эффекта от повышения качества добываемых руд и уменьшения опасности для работающих.

Ключевые слова: руда, разработка, напряжения, деформации, тензометрия, нивелирование, качество, безопасность.

Для цитирования: Голик, В. И., Кожиев Х. Х., Бурдзиева О. Г., Масленников С. А. Геомеханические факторы взаимодействия природных и технических систем в районах освоения недр. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9 (3): 179-188. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36481.

DOI: [10.23671/VNC.2019.3.36481](https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36481)

Original paper

Interaction of Natural and Technical Systems in the Subsoil Development Areas

V. I. Golik ¹, Kh. Kh. Kozhiev², O. G. Burdzieva ¹, S. A. Maslennikov³

¹Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru;

²North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
44 Nikolaev Str., Vladikavkaz 362201, Russian Federation;

³Institute of Service and Entrepreneurship, Don State Technical University, 21 per.
Lugovoi, Shakhty 346500, Rostov-on-Don, Russian Federation

Received 16 June 2019; revised 22 August 2019; accepted 23 August 2019

Abstract: Relevance. Mining activities are carried out with a high degree of risk. The problem of managing the massif state is especially actual under the conditions of a mountain region with non-operated workings, funnels of dips and dumps of rocks and tailings in terraced areas and in river valleys. It is especially relevant under the conditions of the North Ossetia region with non-operated workings, funnel dips and dumps of rocks and tailings in terraced areas and in river valleys. An increase in the depth of mining and the volume of excavation in seismically active areas reinforce the static and dynamic effects on geomechanical systems. **Aim.** To study the influence of geomechanical factors in order to take them into account during mining. **Methods.** The stress dynamics in the array was measured using tensometric sensors. At one of the fields, a measuring strain gauge station was equipped. The obtained stress diagrams around the mine opening were the basis for assessing the behavior of the array. **Results.** It was defined that the change in the state of the lining depends on the phase of development of the treatment works. While the ore body within the block behaves like a beam pinched in the hanging and lying sides, the stresses are distributed evenly. After the ore body cutting from the side of the hanging side, the load on the upper support element from the side of the treatment works increases. One of the areas of technology improvement is the use of the phenomenon of self-locking of discrete rocks, which often allows you to provide the opportunity to develop deposits with environmental and economic effects while ensuring the safety of mining. **Practical significance.** The efficiency of rock structure using consists of saving labor and materials for managing the state of rock masses during underground work. Optimization of the effect of stresses in the zone of interaction between treatment and preparatory workings reduces ore dilution by rocks and reduces the risk of injury for workers working with peeling rocks. In underground mining of rocky complex structural metal deposits in the interaction zone of mine workings, the magnitude and sign of stresses in time and space can be predicted with sufficient detail for operational control. Consideration of geomechanical factors during the mining of such sites allows one to adjust the development parameters to obtain the economic effect of improving the quality of ore mined and reducing the risk to workers.

Keywords: ore, development, stress, strain, strain gauge, leveling, quality, safety.

For citation: Golik V. I., Kozhiev Kh. Kh., Burdzieva O. G., Maslennikov S. A. Interaction of Natural and Technical Systems in the Subsoil Development Areas. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. 9 (3): 179-188. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36481.

Эффективность взаимодействия природных и технических систем на месторождениях руд обеспечивается применением геофизического контроля состояния техногенно изменяемого горного массива и технологии контроля и блокирования технологического цикла

при достижении определенного уровня напряженного состояния разрабатываемого массива [Дмитрак и др., 2018; Заалишвили, Дзеранов, 2010; Комащенко и др., 2016; Семенова и др., 2018].

Концепция природоохранности и ресурсосбережения включает в себя управление состоянием массива путем определения уровня напряжений, формируемых совокупностью геостатического давления, природных сеймотектонических воздействий и техногенной сейсмичности [Molev et al., 2015].

При проектировании технологий подземной разработки рудного месторождения, по мере расширения сети горных выработок, оценка техногенной сейсмичности и напряженно-деформированного состояния массива осуществляются по обоснованным объективным и достоверным критериям, разрабатываемым для конкретных геотехнических условий. Критерии оценки техногенной сейсмичности осуществляются численным моделированием (метод конечных элементов) в виде физико-математической модели системы целиков и очистных камер месторождения.

Метод рассматривает континуум как совокупность дискретных элементов, границы которых определяются узловыми точками, что позволяет описывать реакцию континуума на внешнее воздействие движением узловых точек.

Исследования, направленные на изучение закономерностей развития негативных последствий под воздействием факторов техносферы на окружающую среду, имеют не только научное, но и практическое значение.

Проблема особо актуальна в условиях региона Северная Осетия, где добыча цветных металлов имеет более 200 летнюю историю, с неработающими выработками, воронками провалов и отвалами пород и хвостов обогащения на террасных участках и в долинах рек [Заалишвили и др., 2013; Семенова и др., 2018; Najafi et al., 2014].

Деятельность горнодобывающей отрасли осуществляется с высокой степенью риска из-за сложности геологической обстановки, как в плане структурно-тектонической раздробленности, так и в многообразии негативно воздействующих факторов на устойчивость массива горных пород.

При разработке рабочей документации параметры управления массивом завышают в сторону увеличения безопасности, что увеличивает потери в целиках и разубоживает руды вмещающими породами. Как правило, расчеты не учитывают вероятности влияния на массив динамических напряжений техногенного характера.

Извлечение руды из недр происходит в условиях недостаточной изученности напряженно-деформированного состояния массива, подверженного наложенному воздействию природных (тектоника, гравитация, магматизм, сейсмичность) и техногенных (горные выработки, технологические взрывы, вибрации) полей напряжений.

Напряженно-деформированное состояние массива горных пород проявляется не только в форме механических разгрузок, но и в изменении параметров среды, мониторинг которых позволяет дифференцировать элементы массива по степени концентрации напряжений.

При проектировании состояние разрабатываемых массивов принимается статическим, а влияние динамических, в том числе, сейсмических процессов несущественным или не прогнозируемым. Увеличение глубины проведения горных работ и наращивание объемов выемки сырья в сейсмически активных районах усиливают статическое и динамическое воздействие на геомеханические системы, что обуславливает необходимость учета сейсмической составляющей, в том числе техногенного характера.

Сейсмичность обусловлена суммарным действием геодинамической активности территории и физико-механическими характеристиками среды. Она зависит от условий формирования массивов и процессов дезинтеграции.

При разработке сложноструктурных месторождений рудные залежи увязаны с мелки-

ми разломами и крупными макротрещинами, создающими зоны трещиноватости и расланцевания пород.

В геологическом строении скальных месторождений принимают участие осадочные и магматические породы. Ведущая роль в структуре и рудоносности месторождения принадлежит разломам и трещинам.

Трещиноватость пород составляет до 10 трещин на 1 метр, а вблизи тектонических разломов увеличивается до 50 и – редко – более трещин на 1 метр. Характер распределения трещиноватости в лежащем и висячем боках зон примерно одинаков.

Главным фактором устойчивости массива является влияние трещиноватости (рис. 1).

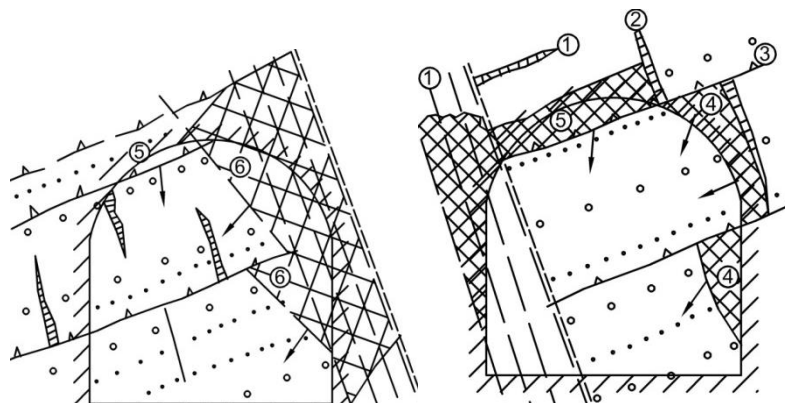


Рис. 1. Характер обрушения пород: 1 – разлом; 2 – трещины отрыва; 3 – послойные срывы; 4 – вывалы по трещинам отрыва послойных зон; 5 – вывалы по послойным трещинам; 6 – вывалы по трещинам скола зоны разлома. /

Fig. 1. The nature of the rocks collapse: 1 – fault; 2 – separation cracks; 3 – layered breakdowns; 4 – dumps along the separation cracks of layered zones; 5 – dumps along layered cracks; 6 – dumps along the cleavage cracks of the fault zone. /

Наиболее интенсивно трещиноватость проявляется в оперяющих нарушениях и вблизи их (рис. 2).

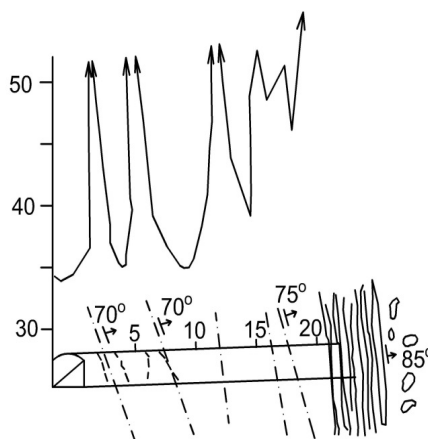


Рис. 2. Характер распределения трещин в выработке. /

Fig. 2. The nature of the distribution of cracks in the excavation. /

В непосредственной близости к разлому в породах отмечается зона повышенной трещиноватости и расланцевания. Породы здесь разбиты на плитки толщиной 1-30 мм. Коэффициент структурного ослабления снижается.

В массиве скальных месторождений выделяются инженерно-геологические районы,

различающиеся нарушенностью, ослабленностью, прочностью и устойчивостью пород. Внутри районов выделяются инженерно-геологические элементы, характеризующиеся сходностью свойств и состояния пород и руд [Стась и др., 2017; Golik et al., 2015a].

Одним из основных способов исследования динамики нагрузки на крепь выработок являются измерения с помощью тензометрических датчиков [Анохин и др., 2014; Дмитрак и др., 2006; Goodarzi, Oraee-Mirzamani, 2011].

На одном из месторождений-аналогов Садонских месторождений в выработке №1 на жесткой металлической крепи участка длиной 13 м было установлено 27 металлических рам с интервалом 0,5 м друг от друга. Замерная тензометрическая станция была размещена на 5 металлических рамах. На каждой раме было оборудовано 9 замерных точек, в каждой из которых располагались три датчика, наклеенные на три плоскости спецпрофиля.

По измеренным напряжениям ξ_{f_0} , ξ_{f_1} , ξ_{f_2} определяли главные деформации:

$$\xi_{1,2} = \frac{\xi_{f_2} + \xi_{f_1}}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\xi_{f_2} - \xi_{f_1})^2 + (\xi_{f_0} - \xi_{f_1})^2},$$

и угол j между направлениями ξ_{f_0} и ξ_{f_1}

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{\xi_{f_1} - \xi_{f_2}}{2\xi_{f_0} - \xi_{f_1} - \xi_{f_2}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1,$$

Главные напряжения в исследуемой точке на основании закона Гука:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2} (\xi_1 + \mu\xi_2),$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2} (\xi_2 + \mu\xi_1),$$

где E – модуль упругости;

μ – коэффициент Пуассона.

Нормальные напряжения σ_z – вертикальное и σ_x – горизонтальное:

$$\sigma_z = \sigma_1 \sin \alpha - \sigma_2 \sin \alpha$$

$$\sigma_x = \sigma_1 \sin \alpha - \sigma_2 \sin \alpha$$

Эпюры напряжений вокруг выработки служили основанием для оценки поведения массива под влиянием горных работ (рис. 3).

В районе очистных блоков были пробурены скважины, в которых частотными датчиками по изменению частоты генерируемых импульсов определяли величину напряжений. Кроме того, в скважинах устанавливали датчики смещения стенок скважин, показания которых регистрировали тензометрической аппаратурой.

Усиление влияния очистных работ на состояние крепи зафиксировано с приближением фронта работ на расстояние 15-18 м. Напряжения в крепи возрастали по мере приближения очистных забоев сначала медленно, а на расстоянии 20 м от всячего бока к лежащему – интенсивно.

Изменение состояния крепи в зависимости от фазы развития очистных работ подчиняется закономерности. Пока рудное тело в пределах блока ведет себя как защемленная висячем и лежащем боках балка, напряжения распределяются равномерно. После отрезки рудного тела со стороны всячего бока нагрузка на верхний элемент крепи со стороны очистных работ возрастает (табл. 1, 2).

Установлено, что при прочих равных условиях рудные целики испытывают большие деформации, чем породный массив (рис. 4).

В процессе очистной выемки на площади длиной L и шириной l действует нагрузка Q , вызванная массой вышележащих пород (γH):

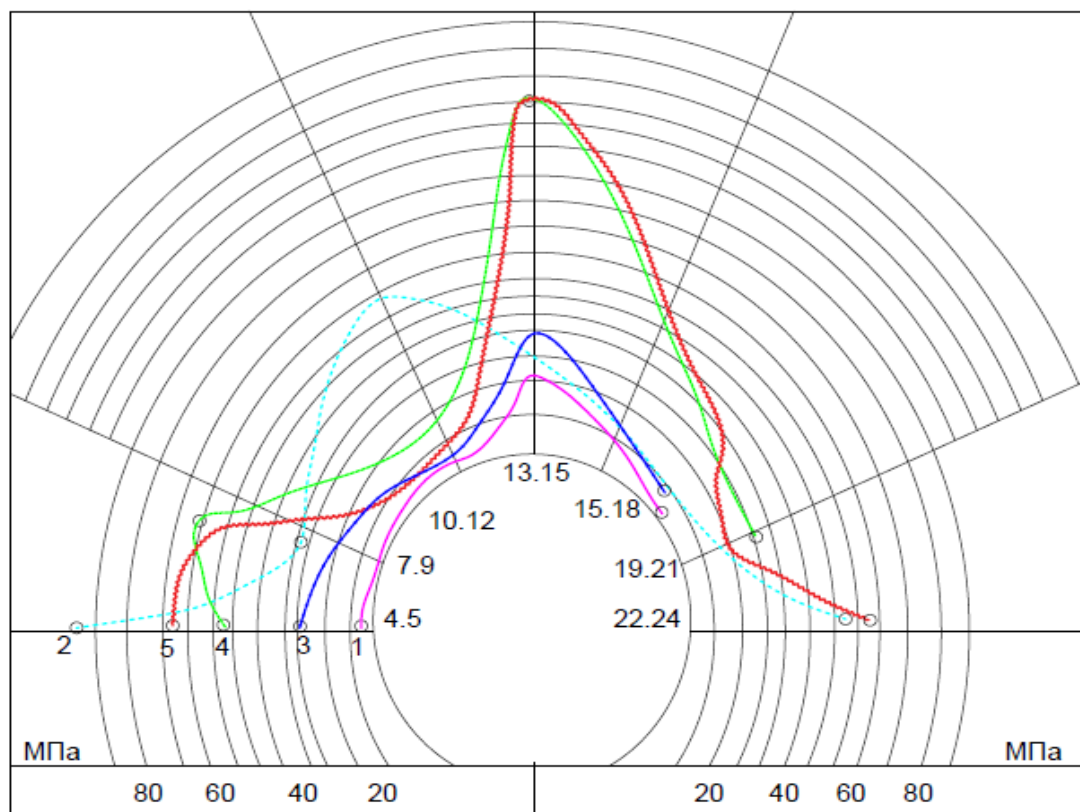


Рис. 3. Эпюры напряжений σ_z : 4-24 – тензометрические датчики; 1-5 – замеры. /
 Fig. 3. Plots of stresses σ_z : 4-24 – strain gauges; 1-5 – measurements.

Таблица 1. / Table 1.

Динамика напряжений в крепи. /
The dynamics of stresses in the mine working support.

Замеры / Measurements	Напряжения, МПа / Voltage, MPa		
	Номера датчиков / Sensor Numbers		
	24	44	11
1	-	-	-
2	2,3	0,12	0,04
3	9,7	2,35	0,85
4	7,65	5,1	2,65
5		6,35	3,6
6		-	3,7

$$Q = Ll\gamma I$$

В рассматриваемых условиях $\gamma H = 98$ МПа. Нагрузка определяется из выражения:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

где Q_1 – нагрузка от массы вышележащих обрушенных пород;

Q_2 – нагрузка в зоне концентрации напряжений.

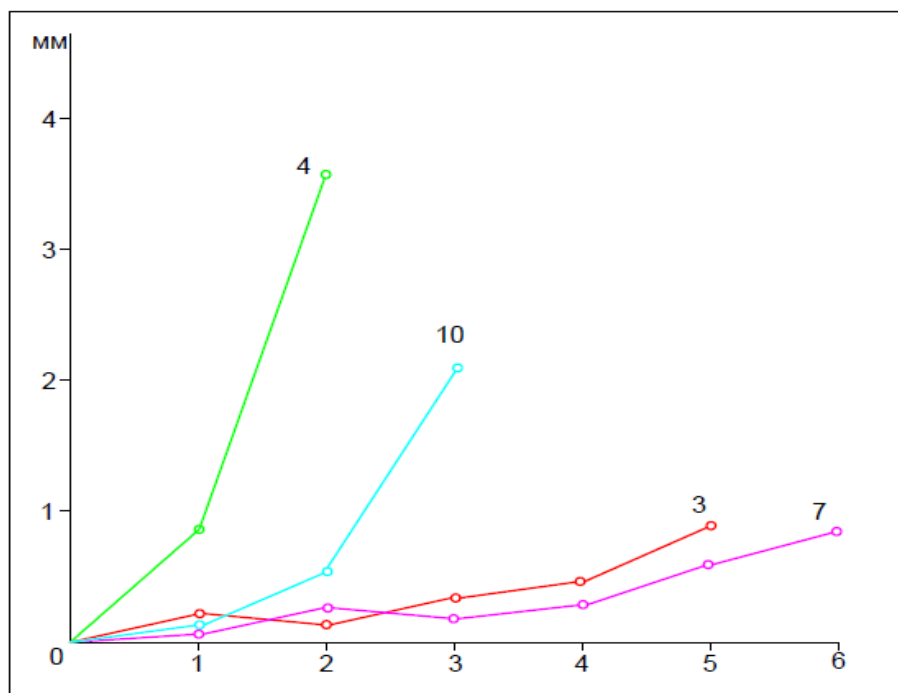


Рис. 4. Напряжения в стенках скважин: 3, 4, 7, 10 – номера датчиков, 1-6 – наблюдения. /
 Fig. 4. Stresses in the walls of the wells: 3, 4, 7, 10 – sensor numbers, 1-6 – observations.

Рост нагрузки в зоне концентрации напряжений составляет 15-20% от гравитационной составляющей, или 39 МПа, что менее предела прочности пород на сжатие – 54-75 МПа.

Наблюдения за состоянием породного массива указывают на существенное увеличение деформаций и напряжений после истечения трех месяцев сопряжения выработок. Отмечено также, что напряжения в породном массиве возрастают медленнее, чем в руде.

Обрушение пород в пределах зоны сопряжения может быть предотвращено креплением выработок, параметры которого определяются взаимодействием заклинившихся структурных породных блоков:

- при достаточной силе распора может быть применена облегченная крепь;
- при недостаточной силе распора крепление выработки рассчитывают из условия поддержания столба пород высотой до дневной поверхности или высоты свода естественного равновесия пород.

Регулирование напряжений в зоне взаимодействия очистных и подготовительных выработок уменьшает разубоживание руд породами и снижает опасность травмирования работающих отслаивающимися породами.

Одним из основных направлений совершенствования технологий погашения напряжений является использование феномена заклинивания дискретных пород с реализацией их остаточной прочности. В ряде случаев использование свойств пород позволяет обеспечить возможность отработки месторождений с получением эколого-экономического эффекта при обеспечении безопасности горных работ. Оптимизация процессов погашения является целью многих исследований, в том числе и настоящего [Козырев и др., 2014; Протосеня, Куранов, 2015; Яковлев и др., 2016].

Концепция способа погашения напряжений выработанного пространства исходит из того, что обнаженные горными работами породы с течением времени обрушаются или до свода, образованного заклинившимися структурными блоками, или до определяемой коэффициентом обрушения пород высоты.

Эффективность использования породных конструкций складывается из экономии труда и материалов на управление состоянием скальных массивов при подземных работах. Оптимизация влияния напряжений в зоне взаимодействия очистных и подготовительных выработок уменьшает разубоживание руд породами и снижает опасность травмирования работающих отслаивающимися породами [Грязев и др., 2016; Каплунов, 2014; Рыльникова, 2016; Golik et al., 2015b].

Заключение

При подземной разработке скальных сложноструктурных металлических месторождений в зоне взаимодействия горных выработок величина и знак напряжений во времени и пространстве могут быть прогнозирована с достаточной для оперативного управления детализацией.

Учет геомеханических факторов при отработке таких участков позволяет корректировать параметры разработки с получением экономического эффекта от повышения качества добываемых руд и уменьшения опасности для работающих.

Литература

1. Анохин А. Г., Семенько К. А., Дарбинян Т. П., Цирель С. В., Мулёв С. Н. Методология учета степени влияния нарушенности рудопородного массива на сейсмический риск. // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 19-24.
2. Грязев М. В., Качурин Н. М., Захаров Е. И. Тульский государственный университет: 85 лет на службе отечеству. // Горный журнал. – 2016. – № 2. – С. 25-29.
3. Дмитрак Ю. В., Голик В. И., Вернигор В. В. Геомеханические предпосылки сохранения устойчивости выработок при разработке водообильных месторождений. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С. 218-229.
4. Дмитрак Ю. В., Логачева В. М., Подколзин А. А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 35-36.
5. Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Закс Т. В., Кануков А. С. Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории. // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 4. – С. 8-16.
6. Заалишвили В. Б., Дзеранов Б. В. Вероятностная карта сейсмической опасности, в том числе сейсмического микрорайонирования с учетом нелинейных свойств. // Наука и высшая школа Чеченской Республики: перспективы развития межрегионального и международного научно-технического сотрудничества Межрегиональный Пагуошский симпозиум, тезисы докладов. – 2010. – С. 277-279.
7. Каплунов Д. Р. Условия устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России. / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 10. – С. 3-11.
8. Козырев А. А., Федотова Ю. В., Журавлева О. Г. Вероятностный прогноз сейсмоопасных зон в условиях удароопасных месторождений Хибинского массива. // Вестник МГТУ. – 2014. – Том 17. № 2. – С. 225-230.
9. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологией подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101-114.
10. Протосеня А. Г., Куранов А. Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения. // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 67-71.
11. Рыльникова М. В. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений. / Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. // Рациональное освоение недр. – 2016. – № 3. – С. 36-41.
12. Семенова И. Э., Аветисян И. М., Земцовский А. В. Геомеханическое обоснование отработки

запасов глубокого горизонта в сложных горно-геологических и геодинамических условиях. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 12. – С. 65-73.

13. Стась Г.В., Качурин Н.М., Корчагина Т.В., Змеев М.В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса. // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 1. – Тула: ТулГУ, 2017. – С. 170-182.

14. Яковлев Д.В., Цирель С.В., Мулев С.Н. Закономерности развития и методика оперативной оценки техногенной сейсмической активности на горных предприятиях и в горнодобывающих регионах. // ФТПРПИ. – 2016. – №2. – С. 34-47.

15. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015a. – No. 4. – Pp. 321-324.

16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015b. – T. 7. No. 4. – Pp. 325-329.

17. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. // 30th International Conference on Ground Control in Mining. – 2011. – Pp. 74-79.

18. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2013. – No. 60. – Pp. 345-352.

19. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 10. No. 16. – Pp. 6787-6792.

20. Najafi A. B., Saeedi G. R., Farsangi M. A. E. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2014. – Vol. 70. – Pp. 115-122.

References

1. Anokhin A.G., Semen'ko K.A., Darbinyan T.P., Tsirel' S.V., Mulev S.N. Methodology for taking into account the degree of disturbance influence of the ore-rock massif on seismic risk. "Gornyi Zhurnal". 2014. No. 4. pp. 19-24. (In Russ.)

2. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Zakharov E.I. Tula State University: 85 years in the service of the fatherland. "Gornyi Zhurnal". 2016. No. 2. pp. 25–29. (In Russ.)

3. Dmitrak Yu.V., Golik V.I., Vernigor V.V. Geomechanical prerequisites for maintaining the stability of mine workings during the development of watered deposits. Bulletin of Tula State University. Earth sciences. 2018. No. 1. pp. 218–229. (In Russ.)

4. Dmitrak Yu.V., Logacheva V.M., Podkolzin A.A. Geophysical prediction of disturbance and watering of the rock mass. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2006. No. 11. pp. 35-36. (In Russ.)

5. Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Information monitoring of distributed physical fields within an urbanized area. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2013. No. 4. pp. 8–16. (In Russ.)

6. Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V. Probabilistic map of seismic hazard, including seismic microzonation taking into account nonlinear properties. Science and Higher School of the Chechen Republic: prospects for the development of interregional and international scientific and technical cooperation Interregional Pugwash Symposium, proceedings of abstracts. 2010. pp. 277–279. (In Russ.)

7. Kaplunov D.R. Conditions for sustainable development of the mineral resource complex of Russia. Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2014. No. 10. pp. 3–11. (In Russ.)

8. Kozyrev A.A., Fedotova Yu.V., Zhuravleva O.G. The probabilistic forecast of seismic hazard zones in the conditions of shock-hazardous deposits of the Khibiny massif. Bulletin of MSTU. 2014. Vol. 17. No. 2. pp. 225–230. (In Russ.)

9. Komashchenko V.I., Vasil'ev P.V., Maslennikov S.A. The reliable raw material base for KMA underground mining technologies. Bulletin of Tula State University. Earth sciences. 2016. No. 2. pp. 101–114. (In Russ.)

10. Protosenya A.G., Kuranov A.D. The prognosis methodology for the stress-strain state of a rock

mass during combined development of the Koashvinskoye field. "Gornyi Zhurnal". 2015. No. 1. pp. 67–71. (In Russ.)

11. Ryl'nikova M.V. Methodological aspects of designing a control system for mineral and raw material flows in the full cycle of integrated development of ore deposits. Rational development of the subsoil. 2016. No. 3. pp. 36–41. (In Russ.)

12. Semenova I.E., Avetisyan I.M., Zemtsovskii A.V. Geomechanical substantiation of the development of reserves of a deep horizon in difficult mining, geological and geodynamic conditions. Mining Informational and Analytical Bulletin. 2018. No. 12. pp. 65–73. (In Russ.)

13. Stas' G.V., Kachurin N.M., Korchagina T.V., Zmeev M.V. Geomechanical and aerodynamic consequences of undermining the territories of mining allotments in the mines of East Donbass. Izv. TulSU. Earth sciences. Vol. 1. Tula: TulSU, 2017. pp. 170–182. (In Russ.)

14. Yakovlev D.V., Tsirel' S.V., Mulev S.N. Patterns of development and methodology for the rapid assessment of technogenic seismic activity in mining enterprises and in mining regions. FTPPRI. 2016. No. 2. pp. 34–47. (In Russ.)

15. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 4. pp. 321–324.

16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. No. 4. pp. 325–329.

17. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. 30th International Conference on Ground Control in Mining. 2011. pp. 74–79.

18. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2013. No. 60. pp. 345–352.

19. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10. No. 16. pp. 6787–6792.

20. Najafi A.B., Saeedi G.R., Farsangi M.A.E. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 70. pp. 115–122.