

А. А. Еременко¹, В. Н. Колтышев¹, К. Н. Лобанов²

Оценка геомеханического состояния массива горных пород на участке Центральные Штоки Казского месторождения

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Казская шахта АО «Евраз ЗСМК», п. г. т. Каз, Российская Федерация

Аннотация. Представлена оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке рудных запасов на участке Центральные Штоки Казского месторождения. Исследовано НДС горных пород акустическим методом и разработана методика определения категории удароопасности в районе выработок на разных глубоких горизонтах, которые в основном показали, что массив разгружен — категория соответствует «неопасно». Для обеспечения безопасности горных работ выполнены исследования по корректировке критериев оценки удароопасности массива горных пород на основе сопоставления параметров акустической эмиссии и уровня напряжений по приращению деформаций на станциях глубинных и контурных реперов. Установлена периодичность возникновения геодинамических явлений: большой (108 сут) и малый (19 сут) периоды. Часто толчки происходят при совпадении большого и малого периодов.

Ключевые слова: горные породы, месторождение, безопасность, удароопасность, напряжение, упругие деформации, разгрузочные скважины, заряд, масса ВВ

A. A. Eremenko¹, V. N. Koltyshev¹, K. N. Lobanov²

Assessment of the geomechanical condition of the rock mass at the site of the Central Stocks of the Kazskoye field

¹Chinakal Institute of Mining, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

²KAZ mine of JSC "Evraz ZSMK", Kaz village, Russian Federation

Abstract. An assessment of the geomechanical state of the rock mass during the mining of ore reserves at the site of the Central Stocks of the Kazskoye deposit is presented. The VAT of rocks was investigated by the acoustic method and a methodology was developed for determining the category of impact hazard in the area of workings at different deep horizons, which basically showed that the array was unloaded — the category corresponds to "not dangerous". To ensure the safety of mining operations, studies have been carried out to adjust the criteria for assessing the impact hazard of a rock mass based on a comparison of the parameters of acoustic emission and the stress level according to the increment of deformations at the stations of deep and contour reference points. The frequency of occurrence of geodynamic phenomena has been established: large (108 days) and small (19 days) periods. Often tremors occur when large and small periods coincide.

Keywords: rocks, deposit, safety, impact hazard, stress, elastic deformations, discharge wells, charge, explosive mass

Введение

Казское железорудное месторождение относится к Тельбесскому рудному району Горной Шории и расположено в 75 км к юго-востоку от г. Новокузнецка, в зоне повышенной сейсмической активности 7-8 баллов по шкале Рихтера. Участок Центральные Штоки находится на восточном фланге Казского рудного поля; вскрыта на глубине свыше 400 м от земной поверхности. Ее размеры по простиранию достигают 1400 м, по падению — около 500 м [1-3]. Блочная структура с разрывными нарушениями формирует ослабленные участки, зоны сжатия и растяжения в массиве, что осложняет ведение горных работ. По физико-механическим свойствам вмещающие породы и руды прочные, высокомодульные, хрупко разрушаются, способны накапливать значительную энергию и являются удароопасными [1, 4, 5]. Средняя плотность руды 4,0 т/м³, породы — 3 т/м³, средняя объемная масса разрыхленной руды 2,2 т/м³, породы — 1,83 т/м³. Коэффициент крепости по Протодяконову составляет для руд и пород 10-16.

Отработка запасов руды на участках Казского месторождения ведется системой этажного принудительного обрушения в зажатой среде с отбойкой руды глубокими скважинами [3, 6]. Месторождение с критической глубины 600 м отнесено к склонным по горным ударам [1, 7-12], исходное поле напряжений вне зоны влияния очистных работ определено методом щелевой разгрузки (табл. 1). Вне и в зоне влияния очистных работ напряжения $\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3$ по горизонтам +120 ÷ -300 м колеблются соответственно от -21,3: -36,0: -8,9 до -75,1: -50,8: -20,3 МПа; в зоне — от -31,2: -19,6: -8,9 до -107,6: -52,8: -20,3 МПа.

Таблица 1

Уровень напряжений вне зоны и в зоне влияния очистных работ

Горизонт, глубина	Главные нормальные напряжения, МПа					
	Вне зоны влияния очистных			В зоне влияния очистных ра-		
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_1	σ_2	σ_3
Гор. +120 м = 330 м	-21,3	-3,6	-8,9	31,2	-19,6	-8,9
Гор. +50 м = 400 м	-27,9	-20,6	-10,8	-38,1	-23,9	-10,8
Гор. -20 м = 470 м	-32,0	-5,2	-13,0	-73,6	-31,3	-12,7
Гор. -90 м = 540 м	-53,7	-36,0	-14,6	-78,1	-38,6	-14,6
Гор. -160 м = 610 м	-54,6	-36,0	-16,5	-87,5	-42,9	-16,5
Гор. -230 м = 680 м	-18,1	-46,0	-18,4	-97,5	-47,8	-18,4
Гор. -300 м = 750 м	-75,1	-50,8	-20,3	-107,6	-52,8	-20,3

Исследование уровня напряженно-деформационного состояния массива горных пород в подготовительных и нарезных выработках

Для определения НДС массива широкое распространение получают акустические методы [4, 13]. Для прогноза удароопасности предложено использовать параметры акустической эмиссии (АЭ), интенсивность — количеством-

пульсов в единицу времени и показатель амплитудного распределения. ИГД СО РАН и ОА «ВНИМИ» разработана методика определения категории удароопасности применительно к горнотехническим условиям шахт АО «Евраз ЗСМК», с применением портативного прибора СБ-32М (Сапфир), при этом регистрируются микроразрушения (шумность) массива в полосе частот 10-40 импульсов АЭ по нескольким уровням (каналам) в зависимости от амплитуды сигнала. При проведении измерений датчик устанавливается в шпур в зоне ненарушенных пород на глубине не менее 0,7 и не более 1,5 м. В каждой точке замеры АЭ производят в течение 20 мин с отсчетом количества импульсов с табло прибора через каждую минуту.

Замеры АЭ проведены в подготовительных и нарезных выработках на участке Центральные Штоки Казского месторождения. К основным параметрам процесса АЭ относятся средняя активность (Na_1 – число импульсов за 15-секундный интервал) и показатель амплитудного распределения импульсов (b), который рассчитывается по формуле $b = a_1/a_2$.

Средняя активность АЭ (Na_1) определяется следующим образом: продолжительность измерений (весь период регистрации T) составляет 20 мин, чтобы максимальное число импульсов за 15-секундный интервал при отсутствии помех был не менее 80. Для исключения влияния взрывных работ измерения осуществлялись не ранее, чем через 5-10 ч после взрывных работ. В табл. 2 приведены критерии удароопасности по параметрам акустической эмиссии [13].

Таблица 2

Критерии удароопасности

Категория удароопасности участка	Средняя активность АЭ	Показатель амплитудного распределения
«ОПАСНО»	$Na_1 \geq 3$	$b < 4$
«НЕОПАСНО»	$Na_1 < 3$	« b » - любое

Результаты определения категории удароопасности массива по горным выработкам: гор. –230 м, орты №№ 0-6; гор. –160 м, орты №№ 9, 9А, 10А, штреки №№ 5, 9; гор. –140 м, вентиляционная сбойка № 5; гор. –100 м, орт № 5 показали, что массив разгружен — категория соответствует «НЕОПАСНО».

Корректировка временных критериев оценки удароопасности массива горных пород на основе сопоставления параметров акустической эмиссии и уровня напряжений по приращению деформаций на станциях глубинных и контурных реперов

В процессе исследования НДС горных пород проведено сопоставление данных, полученных с помощью прибора СБ-32М («Сапфир») и показателей приращения деформаций в массиве по результатам мониторинга станций глу-

бинных и контурных реперов. Анализ результатов измерений уровня приращения деформаций методом глубинных и контурных реперов в выработках по горизонтам $-90 \div -300$ м показал, что приращения деформаций $\Delta AA'$, $\Delta BB'$, $\Delta CC'$ колебались соответственно $1 \div 4$, $1 \div -9$ и $1 \div -5$ мм, при этом N_{a1} составило от 0,025 до 3,025; b — от 1 до 7,0, что соответствует категории удароопасности «НЕОПАСНО». Следует отметить, что оценка изменения уровня НДС массива на конкретном участке на гор. -230 м с небольшим интервалом времени между измерениями в течение нескольких дней, где зафиксировано 290 сигналов на первом канале и 139 — на втором канале, величина N_{a1} составила $=290/80 \leq 3,625$, а показатель $A_3(b) = 290/139 = 2,08$; $b \leq 4$, которые указывают на категорию «ОПАСНО». При повторном измерении на этом же участке показатель N_{a1} указал на категорию «НЕОПАСНО». Это свидетельствует о сложном характере изменения уровня напряжений в массиве горных пород Казского месторождения.

Массив горных пород на разных горизонтах находится под воздействием периодически перемещающихся полей напряжений и имеет волновой характер при ведении очистных работ, особенно при проведении взрывов. Отмечена периодичность: длительность большого периода составляет 108 сут, а малого — 19 сут. Геодинамические явления (толчки, заколообразование, стреляние горных пород) приурочены в основном к максимуму малого периода, а величина выделяющейся при этом сейсмической энергии изменяется прямо пропорционально изменениям большого периода. Толчки происходят при совпадении максимумов большого и малого периодов.*

Выводы

1. Актуальность исследований по диагностике НДС массива Казского месторождения на основе расширения применяемых методов контроля и оценки геодинамической активности шахтного поля обусловлена достижением на участке Центральные Штоки критической глубины ведения горных работ 600 м и более от земной поверхности, в связи с чем оно отнесено к склонному по горным ударам.

2. Для определения НДС массива проведены исследования с применением акустического метода (прибор СБ-32М) на основе которого разработана методика прогноза удароопасности в массиве горных выработок, включающая параметры акустической эмиссии (АЭ) и показатель амплитудного распределения.

3. Осуществлена корректировка временных критериев удароопасности массива горных пород на основе сопоставления параметров акустической эмиссии и уровня напряжений по приращению деформаций на станциях глубинных и контурных реперов. Дана оценка НДС массива на гор. $-90 \div -300$ м; установлена категория удароопасности «НЕОПАСНО», кроме одного участка, где «ОПАСНО».

4. Установлено, что массив горных пород при ведении горных работ находится под воздействием полей напряжений, которые имеют волновой характер с

* Работа проведена совместно с к.т.н. С. М. Смирновым.

периодичностью большого периода 108 сут, а малого — 19 сут, причем геодинамические явления происходят при совпадении максимумов большого и малого периодов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указания по безопасному ведению горных работ на Казском месторождении, склонным к горным ударам — Новосибирск-Новокузнецк, 2021. — 57 с.
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.1996г. вып. 1. Железные руды. Ч. 3. Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский. М., 1996. — С. 201-202.
3. Курленя М.В. Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири // М.В. Курленя, А.А. Еременко, Б.В. Шрепп. — Новосибирск, Наука, 2001. — 183 с.
4. Еременко А. А. Диагностика геофизических предвестников геодинамических явлений и развитие геотехнологии разработки железорудных месторождений / А. А. Еременко, А. А. Беспалько, В. А. Еременко, Л. В. Яворович. — Новосибирск: Наука, 2016. — 296 с.
5. Егоров П.В. Предупреждение горных ударов. — Кемерово: КузПИ, 1985 – 91 с.
6. Орлов В. П. Казское месторождение // Сб. Железорудная база России. — М.: МПР РФ ЗАО “Геоинформмарк” 1998. - С. 564-570.
7. Еременко А. А., Шапошник Ю. Н., Филиппов В. Н., Конурич А. И. Развитие научных основ безопасной и эффективной геотехнологии при освоении удароопасных месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера // Горный журнал. — 2019. — № 10. — С. 33-39.
8. Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Айнбиндер И. И., Конурич А. И. Оценка геомеханического состояния массива горных пород на Талнахском и Октябрьском месторождениях // Горный журнал. — 2020. — № 1. — С. 82-86.
9. Еременко А. А., Мулев С. Н., Штирц В. А. Мониторинг геодинамических явлений микросейсмическим методом при освоении удароопасных месторождений // ФТПРПИ. — 2022. — № 1. — С. 12-23.
10. Kan, Jiliang & Dou, Linming & Li, Jiazhao & Li, Xuwei & Bai, Jinzheng & Wang, Mengqi. (2022). Characteristics of Microseismic Waveforms Induced by Underground Destress Blasting: Comparison With Those Induced by Ground Blasting and Coal Mining. *Frontiers in Earth Science*. 10. 797358. 10.3389/feart.2022.797358.
11. Cheng, Ping & Li, Yanbo & Lu, Caiwu & Jiang, Song & Xu, Hanhua. (2022). Study on Blasting Effect Optimization to Promote Sustainable Mining under Frozen Conditions. *Sustainability*. 14. 16479. 10.3390/su142416479.
12. Daou, Ibrahim & Harouna, Souley & Maman Hassan, Abdourazakou & Boukari, Harouna & Oauba, Hamza. (2022). Monitoring of Blasting Operations Techniques and Assessment of their Impacts on Groundwater in the Context of Underground Mining: Case of ROXGOLD SANU, Burkina Faso. *International Journal of Environment and Climate Change*. 491-505. 10.9734/ijecc/2022/v12i121486.
13. Аксенов А. А., Ожиганов И. А. Прогноз удароопасности и оценка напряженного состояния массива рудных месторождений с использованием метода акустической эмиссии // Горный журнал. — 2011. — № 7. — С. 40-43.

© А. А. Еременко, В. Н. Колтышев, К. Н. Лобанов, 2023