

УДК 622.831

## Оценка геомеханической ситуации на основе анализа фотодокументации кернового материала разведочных скважин нижних горизонтов Ирокиндинского рудника

© Е.Л. Сосновская<sup>1</sup>, Батжаргал Долгурсурэн<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

**Аннотация.** В ходе исследований геомеханических условий нижних горизонтов Ирокиндинского золоторудного месторождения проведен анализ фотодокументации керна разведочных скважин, пробуренных из подземных выработок, по авторской методике пространственно-статистического фрактального анализа. Произведена оценка категории удароопасности массива горных пород базовым методом по степени дискования керна. Установлено, что массив горных пород характеризуется категориями «средняя устойчивость» и «неустойчивый». Установлена категория «неопасно» по горным ударам. Выявлены ключевые геомеханические факторы, влияющие на степень устойчивости и удароопасности горных пород. Техногенное растепление в совокупности с интенсивной трещиноватостью и обводненностью приконтурного массива существенно снижает его устойчивость. Для повышения безопасности горных работ предлагается оперативный геомеханический мониторинг. В выявленных неустойчивых, тектонически ослабленных и обводненных участках горных пород предложены дополнительные мероприятия по обеспечению их устойчивости.

**Ключевые слова:** геомеханические условия, фотографически документированный керновый материал, потенциальная удароопасность, устойчивость горных выработок, многолетняя мерзлота, тектонические структуры, трещиноватость

## Assessment of Geomechanical Situation Based on Analysis of the Core Material of the Exploration Wells of the Lower Horizons of the Irokinda Mine

© Elena L. Sosnovskaya<sup>1</sup>, Batjargal Dolgorsuren<sup>2</sup><sup>1</sup>Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

**Abstract.** In the course of researching the geomechanical conditions of the lower horizons of the Irokinda gold mine, the photo documentation of the core of exploratory wells drilled from underground works was analyzed according to the author's method of spatial-statistical fractal analysis. The impact hazard category of the rock mass was estimated by the basic method according to the degree of core dinking. It has been established that the rock mass is characterized by the categories of «average stability» and «unstable». The category «non-hazardous» for mountain strikes is established. The key geomechanical factors affecting the degree of stability and impact hazard of rocks are identified. Technological warming, combined with intense cracking and flooding of the contour array, significantly reduces its stability. Operational geomechanical monitoring is proposed to improve the safety of mining operations. In the identified unstable, tectonically weakened and flooded sections of rocks, additional measures are proposed to ensure their stability.

**Keywords:** geomechanical conditions, photographically documented core material, potential impact hazard, stability of mine workings, permafrost, tectonic structures, fracture

### Введение

На Ирокиндинском месторождении отрабатываются пологие и наклонные золоторудные жилы малой и средней мощности следующими системами: камерно-столбовой и с креплением. В массиве горных пород верхних горизонтов рудника повсеместно

распространена вечная мерзлота [1]. Многолетними исследованиями [2–4] установлено, что мерзлый массив Ирокиндинского месторождения находится в устойчивом и неудароопасном состоянии вследствие цементирующего фактора, заполняющего многочисленные трещины природного льда. При

понижении горных работ до естественно-природной зоны талых пород прогнозировалось значительное понижение устойчивости массива вследствие раскрытия ранее мерзлых трещин и усиления водопритока [4]. В 2014–2017 гг. на руднике, в связи с переходом на новое технологическое оборудование с применением самоходного транспорта, усилились процессы растепления массива горных пород под влиянием техногенных факторов. В горных выработках были зафиксированы локальные участки разрушающихся талых, обводненных, трещиноватых пород.

Возникла актуальная необходимость оценить изменившиеся геомеханические условия и уточнить степень устойчивости и удароопасности массива горных пород в условиях перехода мерзлых пород в талые.

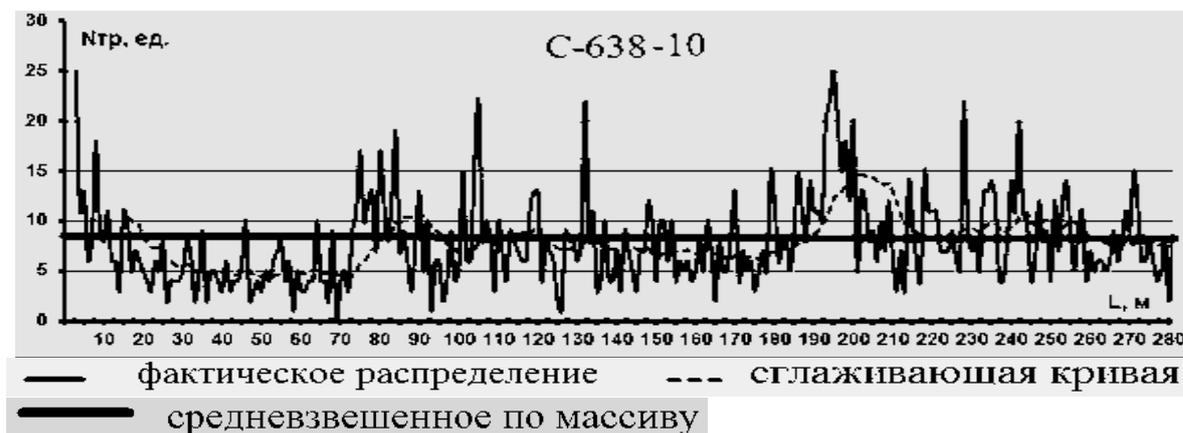
### Методики

В ходе многолетних исследований геомеханических условий ряда золоторудных месторождений (Каральвеевского, Ново-Широкинского, Погромного, Майского, Кедровского, Ирокиндинского, Зун-Холбинского и др.) профессором Филонюком В.А. и доцентом Сосновской Е.Л. разработана комплексная методика пространственно-статистического анализа структурной организации степени нарушенности массива горных пород, данная методика ос-

нована на концепции саморазвития тектонических структур. Пространственно-статистический анализ удобно проводить на базе имеющейся на руднике маркшейдерско-геологической информации, в том числе фотографической документации по керновому материалу разведочных скважин. Теоретическое обоснование и практическое решение метода подробно изложены в работах Филонюка В.А., Сосновской Е.Л., Павлова А.М. [5–8].

Основные положения методики в приложении к фотодокументированному керну разведочных скважин следующие.

По фотографиям керна разведочных скважин последовательно определяется интенсивность трещиноватости (удельная трещиноватость), выражаемая в количестве трещин на 1 погонный метр. Для удобства анализа результаты представляются в виде графиков (рис.). Проводится статистическая обработка полученных значений, определяется средневзвешенная интенсивность трещиноватости и среднее расстояние между трещинами. На графиках выявляются иерархически структурированные участки повышенной интенсивности трещин выше средневзвешенной по массиву. Затем проводится интерполяция и интерпретация полученных данных.



**Распределение удельной трещиноватости по данным разведочной скважины С-638-0:**  
*N<sub>тр</sub>* – количество трещин на один погонный метр, единиц,  
*L* – расстояние от устья скважины, м

Определяются средние размеры структурных ячеек, и вычисляются скейлинговые (масштабные) коэффициенты между уровнями структур. Масштабный коэффициент между уровнями тектонически трещиноватых структур по исследованиям Филонюка В.А., Сосновского Л.И., Сосновской Е.Л. и

др. можно использовать в качестве критерия степени устойчивости и удароопасности массива горных пород. При значениях коэффициента 1.9–2.0 и выше выделяются участки массива малотрещиноватых в целом устойчивых горных пород, склонных тем не менее к динамическим проявлениям гор-

ного давления в опасных формах. При масштабном коэффициенте 1.6–1.8 выделяются среднетрещиноватые участки массива горных пород средней устойчивости, не склонные к проявлениям горного давления в опасных формах. При дальнейшем понижении значений скейлингового коэффициента выделяются участки неустойчивых высокотрещиноватых горных пород, склонных к разрушению в статических, неудароопасных формах.

Для оценки степени устойчивости и потенциальной удароопасности массива горных пород нижних горизонтов Ирокиндинского рудника был проведен пространственно-статистический анализ фотографий ядра 17 разведочных скважин, пробуренных из буровых камер, расположенных в районе жил № 3 и Серебряковской.

Дополнительно для уточнения категории удароопасности массива был проведен анализ степени дискования ядра, который является базовым методом оценки удароопасности массива в соответствии с действующими нормативными документами [9–10]. Сущность метода заключается в формировании в ядровом материале, извлеченном из приконтурного массива буровой камеры, характерных множественных выпукло-вогнутых дисков. Количественные зависимости толщины дисков  $t$  от напряженного состояния массива являются универсальными для пород, склонных к горным

ударам. К учету принимаются диски, толщина  $t$  которых не превышает половины их диаметра  $d_{\text{дис}}$ . Прогноз удароопасности выполняется исходя из определения величины напряжений в максимуме зоны опорного давления и расстояния до максимальных нагрузок от обнажения. По соотношениям  $t$ ,  $d_{\text{дис}}$  и расстоянию от устья скважины до максимума опорного давления производят оценку удароопасности участка массива горных пород.

### Результаты

На основании результатов пространственно-статистического анализа ядрового материала 17 разведочных скважин, пробуренных на нижних горизонтах рудника в районе расположения жил № 3 и Серебряковской, можно отметить следующее (табл. 1).

Средневзвешенное значение интенсивности трещиноватости по результатам анализа 17 разведочных скважин общей длиной 4647 м равно  $8.5 \pm 0.4$  трещин на 1 погонный метр. В том числе по жиле № 3 трещиноватость составляет 8.6 тр./м, по жиле Серебряковская – 8.5 тр./м. Среднее расстояние между трещинами равно 11–12 см. В 69 % объема массива горных пород интенсивность трещиноватости составляет ниже средней, в 31 % – выше средней.

Таблица 1

**Распределение удельной трещиноватости в массиве горных пород нижних горизонтов Ирокиндинского рудника**

Классы интенсивности трещиноватости, кол. трещин на 1 погонный метр		Распределение по классам	
от	до	метры	%
<b>Жила № 3</b>			
1	5	5	6
5	10	94	23.3
10	15	206	51.0
15	20	67	16.6
20	25	17	4.2
25	30	14	3.5
30	35	3	0.7
<b>Жила Серебряковская</b>			
1	5	1220	27.5
5	10	1905	43.0
10	15	840	19.0
15	20	326	7.4
20	25	107	2.4
25	30	33	0.7
30	35	1220	27.5

Анализ тектонических структур по методике профессора Филонюка В.А., доцента Сосновской Е.Л. по фотографиям керна разведочных скважин выявил наличие семи иерархических уровней (табл. 2). Коэффициент масштабного подобия между структурными тектоническими блоками здесь составляет 1.5–1.8. Такое распределение скейлингового коэффициента является признаком неудароопасного массива горных пород средней устойчивости и неустойчивых. Если учитывать интенсивность трещиноватости горных пород 8.5 тр./м, средний размер выбуриваемого керна 11–12 см и полученные значения масштабного коэффициента, то массив горных пород нижних горизонтов рудника по устойчивости можно классифицировать категориями «средняя устойчивость» и «неустойчивый», по степе-

ни удароопасности – категорией «неопасно».

Анализ дискообразования керна восьми скважин нижних горизонтов рудника позволил отметить следующее.

Анализ степени дискообразования керна 17 скважин нижних горизонтов рудника позволил отметить следующее. Отношение  $t_{cp}/d_{дис}$  в зоне максимума опорного давления составляет в среднем 1 и более, что соответствует категории удароопасности горных пород «неопасно». Множественного дискования на характерные диски толщиной 1–5 мм не зафиксировано. Таким образом, по оценке степени дискования керна разведочных скважин, пробуренных из подземных выработок, массив горных пород нижних горизонтов рудника характеризуется неудароопасным состоянием.

Таблица 2

**Статистическая характеристика параметров структурной организации поля тектонической нарушенности нижних горизонтов рудника**

Порядковый номер масштабного уровня	Количество зафиксированных ячеек уровня, ед.	Среднее значение размера ячейки уровня, м	Скейлинговый коэффициент между уровнями
1	4	142.0±16.1	
			1,7
2	6	83.4±5.8	
			1,7
3	45	49.9±1.0	
			1,5
4	21	32.7±1.4	
			1,6
5	15	20.9±0.8	
			1,5
6	20	13.8±0.9	
			1,8
7	21	8.5±0.6	

Однако следует отметить, что примерно половина анализируемого керна с первых метров скважин, в которых обычно прогнозируется удароопасность, разрушена, на фотографиях информация представлена в виде обломков пород или вовсе отсутствует. Этот факт, по-видимому, обоснован тем, что приконтурный массив горных выработок нижних горизонтов рудника интенсивно разрушается в процессе ведения горных работ под комплексным воздействием техногенного и естественно-природного растепления и связанного с этим усиления водопритоков. Установленные по результатам натурных измерений повышенные значения тектонических природных напряжений в переходных

участках мерзлых пород в талые и талых по отношению к зафиксированным в мерзлых породах [4], очевидно, не увеличивают степень удароопасности, а ускоряют процесс разрушения неустойчивых высокотрещиноватых пород. Также при прогнозе удароопасности следует учесть, что горные породы Ирокиндинского месторождения как верхних, так и нижних горизонтов характеризуются высокими упругими и прочностными свойствами и в целом склонны к хрупкому разрушению под нагрузкой. Коэффициент хрупкости (соотношение пределов прочности на одноосное сжатие и растяжение) находится в диапазоне 5.9–10.1, что в основном больше критерия хрупкости по Куз-

нецову Г.Н. (6), но меньше критерия хрупкости по Бичу Я.А. (10) [4]. Таким образом, фактическая степень удароопасности массива талых пород нижних горизонтов рудника значительно ниже прогнозируемой по высоким значениям тектонических первоначальных напряжений, действующих в массиве, и по высоким прочностным и упругим свойствам горных пород в образце. Основное влияние на степень удароопасности здесь оказывают, по всей видимости, процессы растепления, обводнения и разрушения приконтурного массива в неудароопасных, статических формах. Естественно, при изменении горно-геологических или горно-технических условий ситуация может принципиально измениться.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Горные выработки нижних горизонтов Ирокиндинского рудника в районе отработки жил № 3 и Серебряковской имеют категорию «неопасно» по горным ударам. Массив гор-

ных пород характеризуется категориями «средняя устойчивость» (69 % горных пород) и «неустойчивый» (29 % горных пород). В выявленных неустойчивых, тектонически ослабленных и обводненных участках горных пород при проходке и эксплуатации выработок рекомендуется предусматривать дополнительные мероприятия по обеспечению их устойчивости, в том числе предотвращение растепления приконтурного массива, водоотводные мероприятия, крепление.

Для повышения безопасности горных работ рекомендуется оперативный геомеханический мониторинг состояния приконтурного массива горных пород нижних горизонтов рудника. При фиксации визуальных признаков проявлений горного давления не в статических, а в динамических формах руководству рудника необходимо обеспечить выполнение соответствующих мероприятий [9].

#### Библиографический список

1. Семенов Ю.М. Температурный режим горного массива в криолитозоне на руднике «Ирокинда» // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. трудов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. С. 228–231.
2. Павлов А.М. Исследование криолитозоны и ее влияния на геомеханическое состояние массива горных пород при подземной разработке золоторудных месторождений Бурятии // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2012. № 1 (40). С. 53–61.
3. Павлов А.М., Семенов Ю.М. Управление горным давлением в криолитозоне при отработке наклонных маломощных жил на примере Ирокиндинского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 11. С. 30–34.
4. Павлов А.М., Семенов Ю.М., Сосновский Л.И. Определение параметров устойчивых целиков и обнажений камер при разработке наклонных жил в криогенных зонах в условиях Ирокиндинского золоторудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 10. С. 21–27.
5. Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Авдеев А.Н. Оценка геомеханических условий отработки пологих и наклонных жил Ирокиндинского золоторудного месторождения в криолитозоне // Вестник ИрГТУ. 2015. № 10 (105). С. 99–107.
6. Сосновская Е.Л., Филонюк В.А., Сосновский Л.И. Геоинформационная модель геомеханического состояния жильных золоторудных месторождений на основе выявления и использования дискретности свойств геологической среды // Вестник ИрГТУ. 2012. № 12 (71). С. 119–122.
7. Павлов А.М. Фрактальные свойства геологической среды как показатель сложности условий эксплуатации золоторудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 6. С. 60–66.
8. Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Филонюк В.А. Геоинформационное моделирование фундаментальных свойств геологической среды для создания систем управления её геомеханическим состоянием // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды науч. конф. с участием иностранных ученых. Новосибирск: Институт горного дела СО РАН, 2008. С. 469–476.
9. Павлов А.М. Обоснование параметров подземной геотехнологии жильных золоторудных месторождений на основе выявления и использования свойств фрактальности геологической среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 4. С. 106–112.
10. Sosnovskaia E.L., Avdeev A.N. Control over the geotechnical processes at the goldfields of Eastern Siberia // Известия высших учебных заведений. 2019. № 5. С. 21–29.

Сведения об авторах / Information about the Authors

**Сосновская Елена Леонидовна,**

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт горного дела Уральского отделения  
Российской академии наук,  
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка,  
58, Российская Федерация,  
e-mail: avdeev0706@mail.ru

**Elena L. Sosnovskaya,**

Cand. Sci. (Geological and Mineralogical Sciences),  
Senior Researcher,  
Institute of Mining of Ural Branch of Russian Acad-  
emy of Sciences,  
58 Mamina-Sibiryaka Ul., Yekaterinburg, 620075,  
Russian Federation,  
e-mail: avdeev0706@mail.ru

**Батжаргал Долгорсурэн,**

аспирант кафедры разработки месторождений  
полезных ископаемых,  
горный инженер,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-  
ская Федерация,  
e-mail: Doogii.do@mail.ru

**Batjargal Dolgorsuren,**

Graduate Student of Mineral Deposits Development  
Department,  
Mining Engineer,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Fed-  
eration,  
e-mail: Doogii.do@mail.ru