

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСХОДНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА РУДНИКЕ «ЗАПОЛЯРНЫЙ»

М.П. Сергунин¹, В.А. Еременко²

¹ Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия

² МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: prof.erehenko@gmail.com

Аннотация: Представлены результаты исследований по определению напряжений в массиве горных пород рудника «Заполярный» методом разгрузки керна. Направление главных напряжений согласуется с трещиноватостью массива и определяется с использованием карт геодинамического районирования и натурными измерениями систем трещиноватости с последующей обработкой данных в геомеханической программе Dips. Обобщая полученные результаты по скважинам, можно сделать вывод о том, что в краевой части массива образуется зона опорного давления со среднезвешенным значением вертикальной составляющей, превышающей уровень γH , и отношением горизонтальных напряжений к вертикальным, равным 0,70. Результаты полученного соотношения свидетельствуют о гравитационной природе действующих напряжений. Средний коэффициент концентрации напряжений, полученный в ходе измерений, также имеет хорошую сходимость с закономерностями проявления напряжений на руднике «Заполярный». Согласно общепринятым закономерностям, направление действия главных максимальных напряжений также может быть определено по диаграммам роз трещиноватости. Плоскости роз трещиноватости сориентированы по направлению ранее выделенных главных напряжений. Работы по картированию основных систем трещин осуществлялось как по пикетажным геологическим журналам, так и непосредственным измерением горным компасом параметров трещиноватости.

Ключевые слова: напряжения, массив горных пород, метод разгрузки керна, трещиноватость, геодинамическое районирование, измерительная скважина, программа Dips.

Для цитирования: Сергунин М. П., Еременко В. А. Определение параметров исходного поля напряженного состояния на руднике «Заполярный» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 63–74. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-63-74.

Determining parameters of original stress field in rock mass in Zapolyarny mine

M.P. Sergunin¹, V.A. Eremenko²

¹ Center for Geodynamic Safety, Polar Division of PJSC «MMC «Norilsk Nickel», Norilsk, Russia

² Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia,
e-mail: prof.erehenko@gmail.com

Abstract: The article presents the study outcome on determination of stress state in rock mass of Zapolyarny mine by the overcoring method. Orientation of principal stresses agrees with rock mass jointing and is found using geodynamic zoning maps and in-situ measurements of joint systems with subsequent processing of the data in geomechanical program Dips. From the results, the original the original stress field in Zapolyarny mine is connected with existing jointing, is gravitational in na-

© М.П. Сергунин, В.А. Еременко. 2019.

ture and described as $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ at the horizontal/vertical stress ratio of 0.7. The major principal stress σ_1 is oriented vertically, the intermediate principal stress σ_2 is directed along the strike line of the Norilsk–Kharaelakh fault. Stopping causes additional load on selvage by the value 2.5 times higher than the original stresses. Having generalized the borehole data, it is possible to draw a conclusion that in the selvage, a mining-induced stress zone appears, with weighted mean vertical stress exceeding and with the horizontal/vertical stress ratio of 0.70. These results point at the gravity nature of the effective stresses. The average stress concentration factor obtained in the measurement process also agrees well with the stress patterns in Zapolyarny mine. According to the common laws, direction of the major principal stress can be determined using the rose diagrams of joint orientations. The joint planes in the rose diagrams are directed along the lines of the preliminary marked principal stresses. The main systems of joints were mapped using the geological field books and via direct measurement of jointing parameters by a dip compass.

Key words: stresses, rock mass, overcoring method, jointing, geodynamic zoning, measurement borehole, program Dips.

For citation: Sergunin M. P., Eremenko V. A. Determining parameters of original stress field in rock mass in Zapolyarny mine. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;4:63-74. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-63-74.

Введение

Определение исходных полей напряженного состояния массива горных пород имеет важное значение при проектировании горных предприятий: при выборе мест заложения капитальных горных выработок, параметров систем разработки и очередности развития очистных работ [1–3]. С развитием численных методов решения прикладных задач геомеханики актуальность данного вопроса только возросла, так как эти данные стали использоваться на самом раннем этапе — технико-экономическом обосновании, когда ошибка в принятых решениях существенно влияет на технико-экономические показатели всего проекта [4–6]. Наглядно рассмотреть механизм определения исходного поля напряжений методом полной разгрузки можно на примере рудника «Заполярный», обрабатывающего месторождение Норильск-1, где накоплен значительный опыт по измерению напряжений в массиве горных пород.

Исследования по определению напряжений методом разгрузки керна

Наибольшее число замеров приходится на период обработки южного крыла

гор. +162 м [7] на глубине 270 м. В геологическом плане район рудника в этом месте сложен изверженными и осадочными породами. Верхнюю часть составляет мощная толща эффузивных пород, нижнюю — осадочные породы Тунгусской свиты. Интрузивные породы — лабродоровые порфириды и габбро-диабазы (в том числе и рудные разности) залегают между эффузивной толщей и свитой осадочных пород, причем в кровле габбро-диабазов всегда эффузивная толща, а в почве, благодаря секущему характеру контакта, или лабродоровые порфириды, или нижние горизонты эффузивной толщи (андезитовые диабазы), или осадочные породы Тунгусской свиты.

Измерения напряжений массива проводились в районе границы фронта ведения очистных работ. Места расположения измерительных скважин приведены на рис. 1.

Направление движения очистных работ — с севера на юг, система разработки — с блоковым принудительным обрушением. Размеры выемочных блоков принимались следующих размеров: ширина — 30 м, длина — 48 м. Обработка блоков велась в две стадии, на первой обрабатывались камерные запасы, на

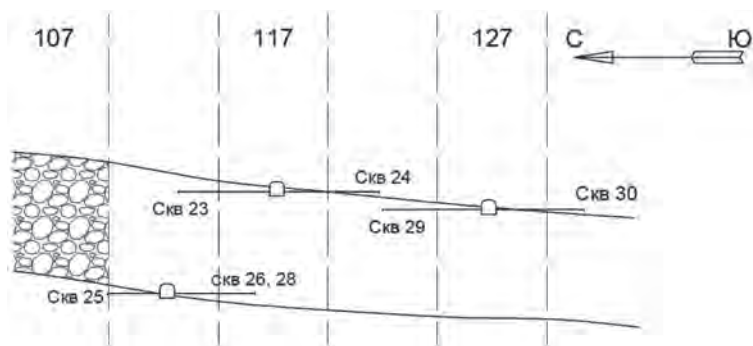


Рис. 1. Места заложения измерительных скважин: Скв. — скважина
 Fig. 1. Locations of measurement boreholes. Brh—borehole

второй — междукамерные целики. Ширина камер и целиков принималась равной 15 м. На рис. 1 рудное тело представлено с разбивкой на камеры и целики, № 107, 117 и 127 отмечены камерные запасы, ранее отработанные области заштрихованы.

Всего для изучения напряженно-деформированного состояния в данном районе было забурено 8 скважин, в которых во время бурения было произведено более 200 измерений. Все скважины располагались в одной плоскости, перпендикулярной к границе отработки. Работы по измерению напряжений проводились в очистных блоках № 107—127, что позволило получить картину распределения напряжений на глубину до 65 м. На первом подэтаже работы велись только в междукамерном целике № 107÷117, где было пробурено 3 скважины с углом наклона к горизонту $5\div 10^\circ$, причем две из них (№ 25 и 26) до посадки междукамерных целиков (№ 97÷117) и одна (№ 28) после нее. Расположение измерительных скважин в блоке было следующее: скважина № 25 бурилась на север, в сторону очистного пространства, на глубину 5,4 м, скважина № 26 — на юг, в сторону неотработанного массива, глубиной 9 м, скважина № 28 — на юг, глубиной 9,5 м.

На III п/этаже измерительные скважины бурились в блоках № 117 и 127.

Скважина № 26 бурилась на север, глубиной 12,2 м, № 24 — на юг, глубиной 11,6 м, из бурового штрека камеры № 117. Скважина № 29 — на север, глубиной до 12 м, № 30 — на юг, глубиной 11,4 м, из бурового штрека камеры № 127. Скважина № 31 бурилась вертикально вверх, на глубину 3,0 м, из бурового штрека № 127.

Определение напряженного состояния в глубине исследуемого массива сводилось к непосредственному измерению деформаций массива при его разгрузке и последующему их пересчету в напряжения согласно закономерностям теории упругости. Отделение исследуемого элемента (керн) от массива проводилось путем обуривания его кольцевой алмазной коронкой. В качестве датчиков измерения деформаций использовались тензометры типа ПКБ-20—100 с измерительной базой 15 или 20 мм и сопротивлением 98—101 Ом.

Керн, получаемый в процессе бурения измерительных скважин, в дальнейшем подвергался комплексному испытанию физико-механических свойств. В общей сложности в результате лабораторных исследований было испытано 246 образцов.

На рис. 2 приведены результаты полученных измерений.

Обобщая полученные результаты по скважинам № 23÷30 (таблица), можно

сделать вывод о том, что в краевой части массива образуется зона опорного давления со средневзвешенным значением вертикальной составляющей, в 2,5 раза превышающей уровень γH , и отношении горизонтальных напряжений к вертикальным, равным 0,70.

Результаты полученного соотношения свидетельствуют о гравитационной при-

роде действующих напряжений. (В данном случае, в понятие гравитационного поля вкладывается более обширное понятие, нежели в понятие поле напряжений, задаваемое по А.Н. Диннику. Значения вертикальных и горизонтальных напряжений по А.Н. Диннику связаны соотношением через функцию Пуассона. В случае, представленном в статье,

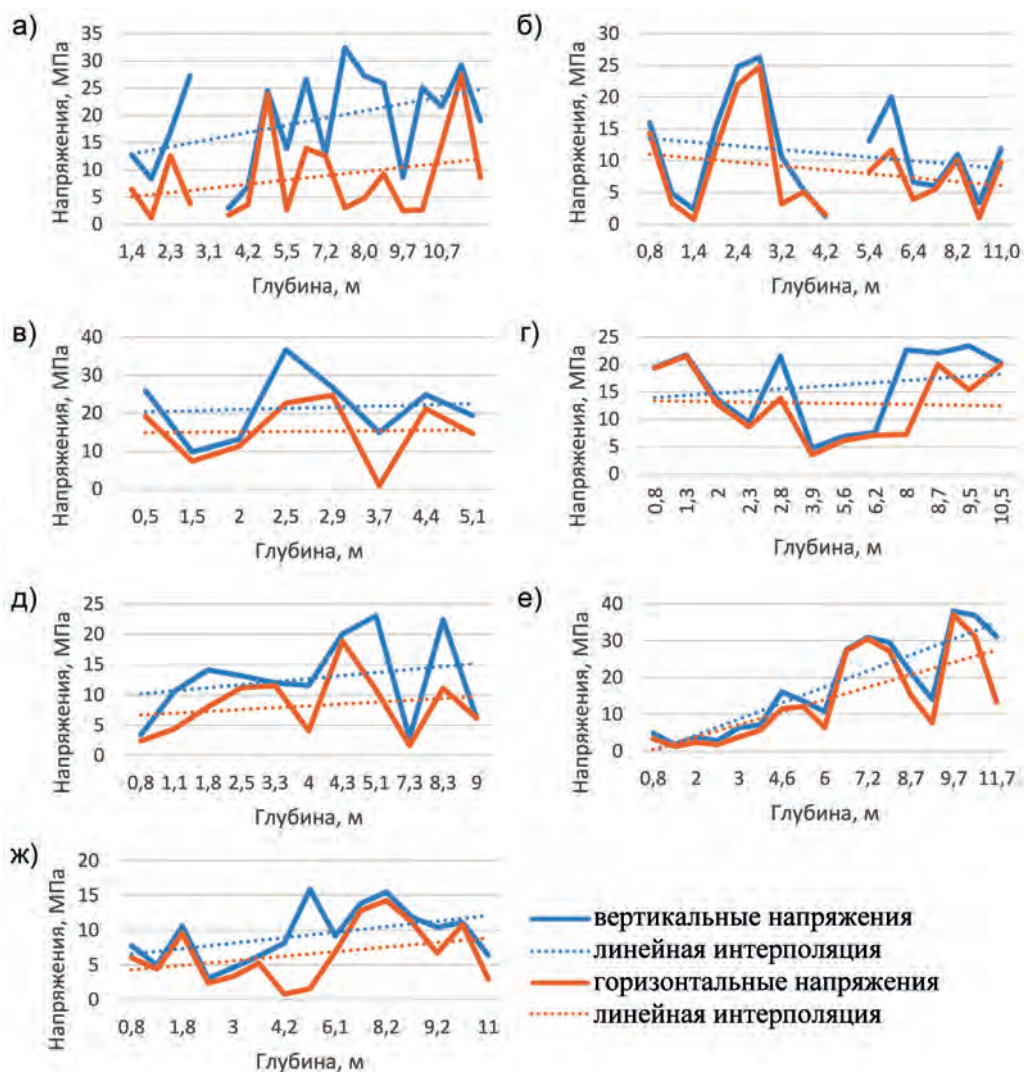


Рис. 2. Результаты замеров напряжений: скважина № 23 (а); скважина № 24 (б); скважина № 25 (в); скважина № 26 (г); скважина № 28 (д); скважина № 29 (е); скважина № 30 (ж)

Fig. 2. Stress measurement results: borehole no. 23 (a); borehole no. 24 (b); borehole no. 25 (v); borehole no. 26 (g); borehole no. 28 (d); borehole no. 29 (e); borehole no. 30 (zh)

Обобщенные результаты измерений
Generalized measurement results

Номер скважины	Общее число измерений	Число качественных измерений	Расчетные значения на глубине 270 м	Результаты измерений, МПа		Коэффициент концентрации	Отношение
				вертикальные	горизонтальные		
23	24	18	7,35	19,0	8,6	2,6	0,45
24	19	17	7,35	11,2	8,6	1,5	0,77
25	8	8	7,35	21,4	15,2	2,9	0,71
26	15	12	7,35	16,1	12,9	2,2	0,80
28	—	11	7,35	12,7	8,2	1,7	0,65
29	—	16	7,35	17,5	14,0	2,4	0,80
30	—	15	7,35	9,3	6,6	1,3	0,71
Ср. значение						2,5	0,70

если соотношение горизонтальных напряжений к вертикальным равно 0,7, то для получения сходимости по А.Н. Диннику коэффициент Пуассона должен быть равен 0,41, что не соответствует рудам и породам, имеющим магматическое происхождение (0,24÷0,33). Кроме того, формула А.Н. Динника не определяет направление действия напряжений σ_2 , σ_3 , а принимает их по умолчанию, по направлению осей декартовой системы координат.) Средний коэффициент концентрации напряжений, равный 2,5, который получен в ходе измерений, также имеет хорошую сходимость с закономерностями проявления напряжений на руднике «Заполярный» [1] и является общепринятым для систем разработки с обрушением руды.

Изучение направления действия главных напряжений на основе оценки трещиноватости массива горных пород

Что касается направления действия главных напряжений, то, согласно работам [8–16], они имеют прямую связь с наличием крупных тектонических нарушений и формой элементарных блоков, слагаемых массив горных пород. Последнее изучение блочного строения

Норильского промышленного района проводилось в 2005 г. [11], по результатам этих работ были составлены карты геодинамического районирования (рис. 3). На карте условным обозначением в виде зубчиков показаны рельефообразующие разломы, направление зубчиков указывает на направление изменения рельефа местности. Месторождение Норильск-1, отрабатываемое рудником «Заполярный», приурочено к блоку № 1 блоковой структуры I ранга и расположено южнее города Норильск. В данном блоке II ранга выделяются блоки № 24, 25, 26, 27, 28. Месторождение Норильск-1 приурочено к блоку № 25 II ранга. Согласно результатам геодинамического районирования, блоки II ранга ориентированы в северо-восточном направлении и представляют собой ступенчатую структуру. Наибольшую высотную отметку имеет блок № 27 (+766 м), блоки № 26, 25, 24 имеют, соответственно, высотные отметки + 683, + 468 и + 324 м. Блок № 25 находится в тектонически спокойном районе, наибольшее влияние на месторождение Норильск-1 оказывает Норильско-Хараелахский разлом, который является важнейшей рудоконтролирующей структурой Норильского промышленного района. На рельефе местности он чет-

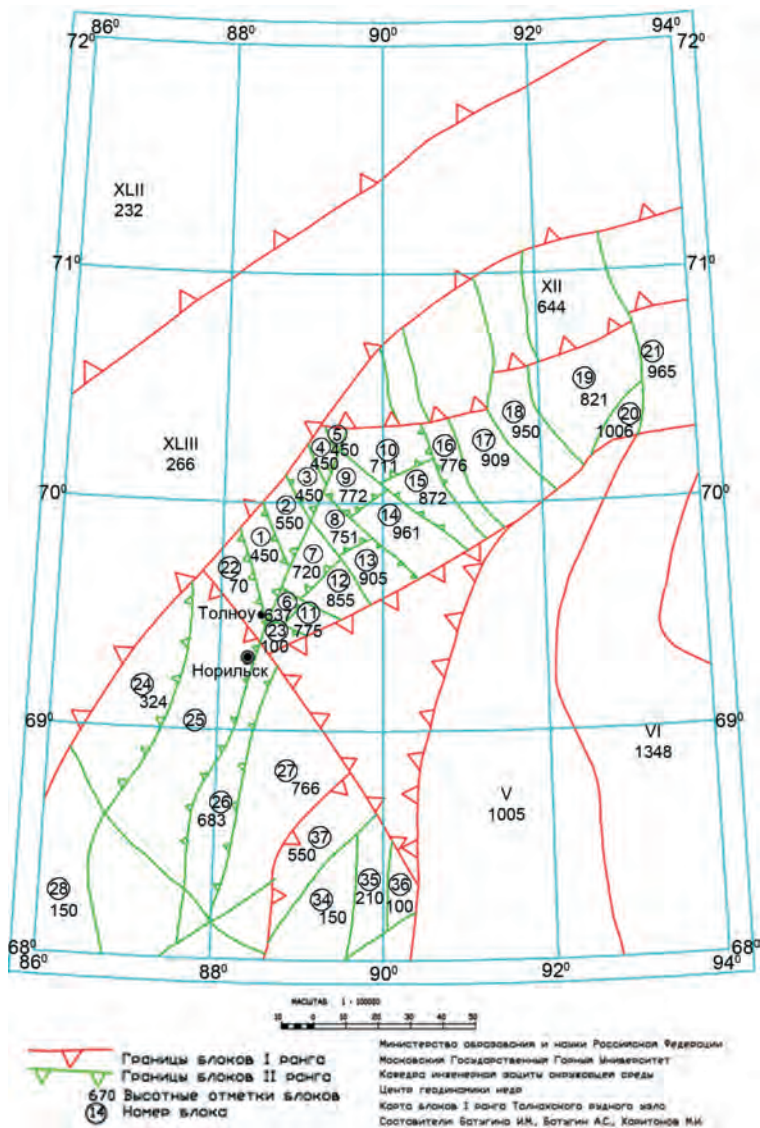


Рис. 3. Карта геодинамического районирования Норильского промышленного района
 Fig. 3. Geodynamic zoning map of the Norilsk industrial areas

ко прослеживается на границе блоков № 25, 26, поэтому одно из направлений действия главных напряжений будет связано с Норильско-Хараелахским разломом. Высотное расположение блока № 25 говорит о том, что блок не находится в условиях всестороннего сжатия, поэтому характер напряженного поля в блоке можно считать гравитационным, что под-

тверждается результатами ранее проведенных измерений. Для более подробного изучения направлений действия главных напряжений рассмотрены существующие системы трещин, их углы и азимуты падения. Результаты картирования существующих систем трещин вкрапленных руд обрабатывались в геомеханической программе Dips.

Работы по картированию основных систем трещин осуществлялось как по пикетажным геологическим журналам (рис. 4) [17], так и непосредственным измерением горным компасом параметров трещиноватости. Полученные результаты приведены в виде стереограммы на рис. 5, а, согласно которой выделяется 4 системы трещин:

- Система трещин по напластованию или слоистости со средними значениями элементов залегания $\sim 20^\circ$ угол падения; $\sim 260^\circ$ азимут падения;
- Система тектонических трещин, связанная с Норильско-Хараелахской системой разломов с углами падения $\sim 60-90^\circ$ и азимутом падения $\sim 100^\circ$;
- Система тектонических трещин, связанная с системой «Широтных» разломов с углами падения $\sim 75-90^\circ$; азимутом падения $\sim 20^\circ$;
- Система тектонических трещин, связанная с разломами сбросового характера в системах «западной» и «ручья

угольного» с углами падения $\sim 75-90^\circ$ и азимутом падения $\sim 50-60^\circ$.

Все группы трещин имеют крайне неправильные поверхности, быстро изменяют угол падения и направление, как по простиранию, так и по падению, поэтому при беглом осмотре выработок расположение трещин кажется хаотическим.

На большей части трещин происходили дизъюнктивные смещения, о чем свидетельствуют хорошо развитые зеркала скольжения и наличие зон, заполненных тектонической брекчией. Обычно, мощность трещин измеряется несколькими миллиметрами или несколькими сантиметрами. В некоторых случаях зона раздробленного материала достигает нескольких дециметров.

Характерной особенностью трещин, по которым происходили передвижки массива горных пород, является то, что они заполнены вторичными минералами, являющимися либо продуктами гидронормального изменения породоб-

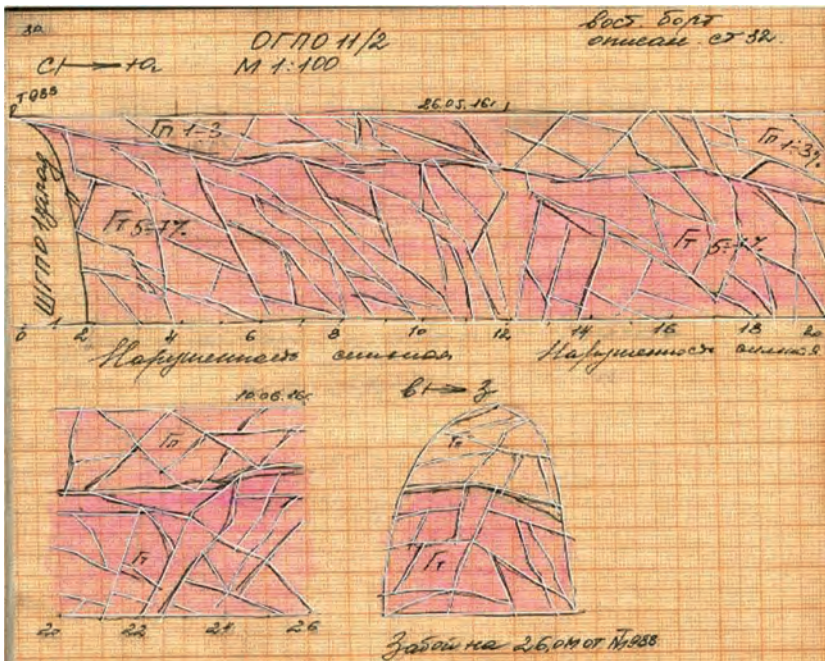


Рис. 4. Пикетажный журнал по выработке
Fig. 4. Field book

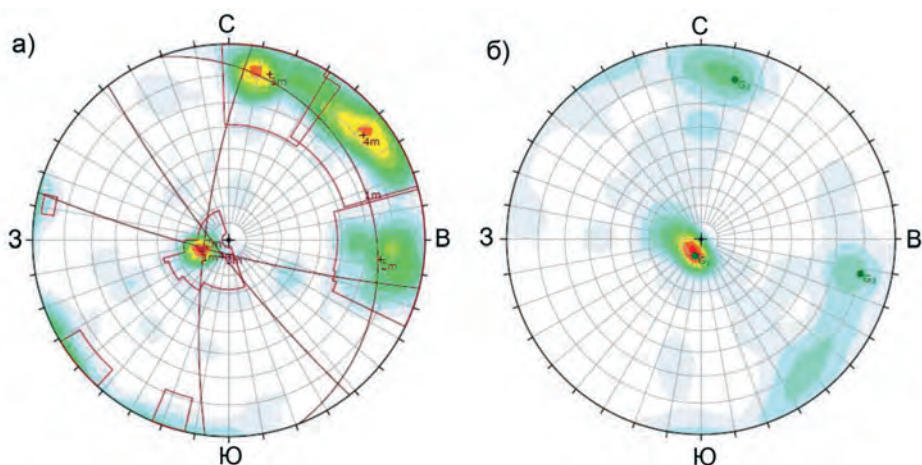


Рис. 5. Диаграммы трещиноватости (стереограмма трещиноватости верхняя проекция): стереограмма трещиноватости (а); направления линий пересечения плоскостей трещиноватости (б)
 Fig. 5. Diagram of jointing (stereogram of jointing, upper projection): stereogram of jointing (a); directions of intersection lines of joint planes (b)

разующих минералов габбро-диабазов (мыльник хлориты, серпантин и др.), либо отложениями гидронормальных растворов (кальцит).

Наличие вторичных минералов и зеркал скольжений по трещинам нарушают общую связь массива и при значительных обнаженных поверхностях глыбы отваливаются по трещинам смещений.

Кроме того, в результате динамических воздействий образовалось большое количество новых техногенных трещин, имеющих более мелкие смещения по господствующим направлениям первичной трещиноватости.

Выделенные системы трещин, пересекаясь, образуют блочную структуру, формы и размеры трещин формируются под воздействием напряжений, действующих в массиве, поэтому имеют непосредственную связь с направлениями и величинами главных напряжений. Для выделения направления главных напряжений проводилась обработка данных стереограммы (рис. 5, а). Для этих целей выделены все направления, образующиеся при пересечении существующих систем трещин. Результаты обработки приведены на рис. 5, б. Линии пересече-

ния плоскостей концентрируются в нескольких направлениях, наибольшие из которых отмечаются в вертикальном направлении и могут быть связаны с направлениями действующих главных максимальных напряжений, на рисунке они обозначены σ_1 . Направление промежуточных напряжений (σ_2) также выделяется на стереограмме трещиноватости. Направление минимальных напряжений однозначно не определяется, но с учетом существующих зависимостей может быть точно выделено и на рисунке обозначено σ_3 , оставшееся направление относится к воздействию максимальных касательных напряжений.

Согласно общепринятым закономерностям, направление действия главных максимальных напряжений также может быть определено по диаграммам роз трещиноватости [18–25]. Для этих целей используется программа Dips. Плоскости роз трещиноватости сориентированы по направлению ранее выделенных главных напряжений. Одна плоскость сориентирована по направлению действий напряжений σ_1 и σ_2 , вторая — по направлению действий напряжений σ_2 и σ_3 . Результаты приведены на рис. 6. На

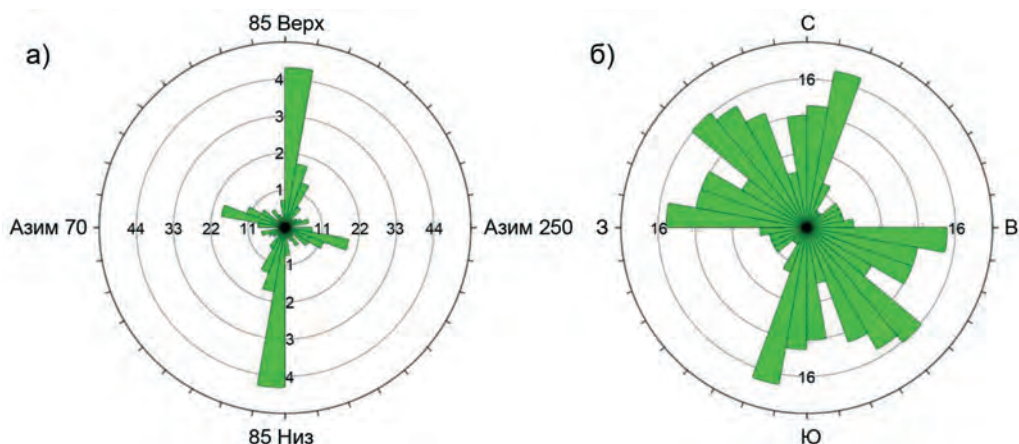


Рис. 6. Диаграммы трещиноватости (роза трещиноватости): вертикальная проекция трещиноватости (а); горизонтальная проекция (б)

Fig. 6. Diagram of jointing (rose diagram): vertical projection of jointing (a); horizontal projection of jointing (b)

рис. 6, а выделяется направление σ_1 и совпадает с данными стереограммы на рис. 5, б. По диаграмме (рис. 6, б) выделить направления горизонтальных напряжений не удалось, так как они носят разноориентированный характер. Такое распределение свидетельствует о том, что напряжения σ_2 и σ_3 имеют примерно одинаковые значения. Несколько большее значение выделяется по простиранию Норильско-Хараелахского разлома, поэтому напряжение σ_2 может быть связано с этим направлением, что также подтверждается данными стереограммы (рис. 5, б).

Выводы

Согласно полученным результатам исследований, установлено, что исходное

поле напряжений на руднике «Заполярный» связано с существующей трещиноватостью, имеет гравитационный характер и описывается как $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$.

Отношение горизонтальных напряжений к вертикальным определено по результатам инструментальных наблюдений и составляет 0,7.

Направления главных напряжений определены по стереограмме (рис. 5, б), главные максимальные напряжения σ_1 ориентированы в вертикальном направлении, промежуточные (средние) σ_2 вдоль линии простирания Норильско-Хараелахского разлома.

Влияние очистных работ приводит к пригрузке краевой части массива на величину, в 2,5 раза превышающую значения исходных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергунин М. П. Оценка напряженно деформированного состояния массива на фронте ведения очистных работ при системах с обрушением руды и вмещающих пород в условиях рудника «Заполярный» / Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Сборник научных трудов. — Красноярск: ГОУ «ГАЦМиЗ», 2004.

2. Сидоров Д. В., Потапчук М. И., Сидляр А. В. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения // Записки Горного института. — 2018. — Т. 234. — С. 604–611.

3. Еременко В. А., Гахова Л. Н., Семенякин Е. Н. Формирование зон концентрации напряжений и динамических явлений при обработке рудных тел Таштагольского месторождения на больших глубинах // ФТПРПИ. — 2012. — № 2. — С. 80–87.
4. Мясков А. В. Методологические основы эколого-экономического обоснования сохранения естественных экосистем в горнопромышленных регионах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 1. — С. 399–401.
5. Мясков А. В. Современные эколого-экономические проблемы недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 2. — С. 157–160.
6. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes // J. Min. Sci. 2015. Vol 51. No 5 pp. 1056–1061.
7. Отчет по теме «Исследование устойчивости охранного и барьерных целиков при обработке нижних горизонтов рудника «Заполярный». — Норильск: ГМОИЦ, 1969.
8. Зерцалов М. Г. Механика скальных грунтов: Учебник. — М.: Юриспруденция, 2003. — 184 с.
9. Зерцалов М. Г. Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов): Учебное издание. — М.: Ассоциации строительных вузов, 2006. — 346 с.
10. Чернышев С. Н. Трещины горных пород. — М.: Наука, 1983.
11. Figueiredo B., Cornet F. H., Lamas L., Muralha J. Determination of the stress field in a mountainous granite rock mass // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Vol. 72, December 2014, Pp. 37–48.
12. Jingshou Liu, Wenlong Ding, Haimeng Yang, Ruyue Wang, Shuai Yin, Ang Li, Fuquan Fu. 3D geomechanical modeling and numerical simulation of in-situ stress fields in shale reservoirs. A case study of the lower Cambrian Niutitang formation in the Cen'gong block, South China // Tectonophysics Vol. 712–713, 21 August 2017, Pp. 663–683.
13. Chongyuan Zhang, Qunce Chen, Xianghui Qin, Bo Hong, Wen Meng, Quanfeng Zhang In-situ stress and fracture characterization of a candidate repository for spent nuclear fuel in Gansu, northwestern China // Engineering Geology Vol. 231, 14 December 2017, Pp. 218–229.
14. Shuai Yin, Wenlong Ding, Wen Zhou, Yuming Shan, Runcheng Xie, Chunhua Guo, Xiangyu Cao, Ruyue Wang, Xinghua Wang In situ stress field evaluation of deep marine tight sandstone oil reservoir. A case study of Silurian strata in northern Tazhong area, Tarim Basin, NW China // Marine and Petroleum Geology Vol. 80, February 2017, Pp. 49–69.
15. Cheuk Yiu Lai, Louis Ngai Yuen Wong, Mark Wallace Review and assessment of In-situ rock stress in Hong Kong for territory-wide geological domains and depth profiling // Engineering Geology 248 (2019). Pp. 267–282.
16. Jianju Du, Xiang huiQin, Qingli Zeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal // Engineering Geology Vol. 220, 30 March 2017, Pp. 76–84.
17. Батугина И. М., Батугин А. С., Петухов И. М. Отчет о НИР Корректировка карт геодинамического районирования недр, построенных в 1986–88 г. в связи с модернизацией методики их построения. — Норильск, 2005.
18. Селиванов Д., Бирючев И. Ливинский И., Спиринов В. Разработка геомеханической информационной модели этап 3, 2018.
19. Регламент по оценке нарушенности массива горных пород на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». — Норильск, 2018.
20. Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // Rock Mechanics, 1974, 6(4), pp. 183–236.
21. Barton N. Application of Q-System and Index Tests to Estimate Shear Strength and Deformability of Rock Masses. Workshop on Norwegian Method of Tunneling. New Delhi, 1993. pp. 66–84.
22. Laubscher D. H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design // Trans. S. Afr. Inst. Min. Metal., 9(10). 1990.
23. Terzaghi K., Peck R. V. Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York. 1967.
24. Еременко В. А., Есина Е. Н., Семенякин Е. Н. Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 42–47.
25. Еременко В. А. Курсы подготовки геомехаников (геотехников), геологов и горных ин-

REFERENCES

1. Sergunin M.P. Assessment of stress state against the background of stoping operations with caving of ore and enclosing rocks in Zapolyarny mine. *Sovremennyye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov*. Collection of scientific papers. Krasnoyarsk, GOU «GATSMiZ», 2004. [In Russ].
2. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V. Rockburst hazard prediction in tectonically damaged ore body at deep levels of the Nikolaevka complex deposit. *Zapiski Gornogo instituta*. 2018. Vol. 234, pp. 604–611. [In Russ].
3. Eremenko V.A., Gakhova L.N., Semenyakin E.N. Formation of concentration zones of stresses and dynamic events in deep-level mining at the Tashtagol deposit. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2012, no 2, pp. 80–87. [In Russ].
4. Myaskov A.V. Methodological framework for ecological-and-economic substantiation of natural ecosystem preservation in mining regions. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 1, pp. 399–401. [In Russ].
5. Myaskov A.V. Current ecological-and-economic problems in the subsoil use. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 2, pp. 157–160. [In Russ].
6. Timonin V.V., Kondratenko A.S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes. *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51. No 5, pp. 1056–1061.
7. Otchet po teme «Issledovanie ustoychivosti okhrannogo i bar'ernykh tselikov pri otrabotke nizhnikh gorizontov rudnika «Zapolyarnyy» [Stability of protective and safety pillars in lower-level mining in Zapolyarny mine: Report], Noril'sk, GMOITS, 1969. [In Russ].
8. Zertsalov M.G. *Mekhanika skal'nykh gruntov*: Uchebnik [Rock mechanics: Textbook], Moscow, Yurisprudentsiya, 2003, 184 p.
9. Zertsalov M.G. *Mekhanika gruntov (vvedenie v mekhaniku skal'nykh gruntov)*: Uchebnoe izdanie [Soil mechanics (Introduction to rock mechanics): Textbook], Moscow, Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006, 346 p.
10. Chernyshev S.N. *Treshchiny gornykh porod* [Joints in rocks], Moscow, Nauka, 1983.
11. Figueiredo B., Cornet F.H., Lamas L., Muralha J. Determination of the stress field in a mountainous granite rock mass. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* Vol. 72, December 2014, Pp. 37–48.
12. Jingshou Liu, Wenlong Ding, Haimeng Yang, Ruyue Wang, Shuai Yin, Ang Li, Fuquan Fu. 3D geomechanical modeling and numerical simulation of in-situ stress fields in shale reservoirs. A case study of the lower Cambrian Niutitang formation in the Cen'gong block, South China. *Tectonophysics*. Vol. 712–713, 21 August 2017, Pp. 663–683.
13. Chongyuan Zhang, Qunce Chen, Xianghui Qin, Bo Hong, Wen Meng, Quanfeng Zhang In-situ stress and fracture characterization of a candidate repository for spent nuclear fuel in Gansu, northwestern China. *Engineering Geology*. Vol. 231, 14 December 2017, Pp. 218–229.
14. Shuai Yin, Wenlong Ding, Wen Zhou, Yuming Shan, Runcheng Xie, Chunhua Guo, Xiangyu Cao, Ruyue Wang, Xinghua Wang In situ stress field evaluation of deep marine tight sandstone oil reservoir. A case study of Silurian strata in northern Tazhong area, Tarim Basin, NW China. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. 80, February 2017, Pp. 49–69.
15. Cheuk Yiu Lai, Louis Ngai Yuen Wong, Mark Wallace Review and assessment of In-situ rock stress in Hong Kong for territory-wide geological domains and depth profiling. *Engineering Geology*. 248 (2019). Pp. 267–282.
16. Jianju Du, Xiang huiQin, Qingli Zeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal. *Engineering Geology*. Vol. 220, 30 March 2017, Pp. 76–84.
17. Batugin I.M., Batugin A.S., Petukhov I.M. Otchet o NIR Korrektirovka kart geodinamicheskogo rayonirovaniya nedr, postroyennykh v 1986–88 g. v svyazi s modernizatsiyey metodiki ikh postroyeniya [Adjustment of 1986–88 geodynamic zoning maps of subsoil in connection with mapping procedure modernization: R&D report], Noril'sk, 2005.
18. Selivanov D., Biryuchev I. Livinskiy I., Spirin V. *Razrabotka geomekhanicheskoy informatsionnoy modeli, etap 3* [Development of geomechanical information model, stage 3], 2018.

19. *Reglament po otsenke narushennosti massiva gornykh porod na rudnikakh ZF PAO «GMK «Noril'skiy nikel'»* [Rock mass quality assessment regulations for mines of Polar Division of Norilsk Nickel], Noril'sk, 2018. [In Russ].

20. Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 1974, 6(4), pp. 183–236.

21. Barton N. *Application of Q-System and Index Tests to Estimate Shear Strength and Deformability of Rock Masses. Workshop on Norwegian Method of Tunneling*. New Delhi, 1993. pp. 66–84.

22. Laubscher D. H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. *Trans. S. Afr. Inst. Min. Metal.*, 9(10). 1990.

23. Terzaghi K., Peck R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley, New York. 1967.

24. Eremenko V. A., Esina E. N., Semenyakin E. N. Operational monitoring of stress state in rock mass under mining. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 42–47.

25. Еременко В. А. Training courses for geomechanics (geotechnical engineers), geologists and mining engineering on Map3S and Rocscience (Dips, RocData, Unwedge) software suites. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 2, 2 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергунин Максим Петрович — начальник отдела Центра геодинамической безопасности Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель»,
e-mail: SerguninMP@nornik.ru,

Еременко Виталий Андреевич — доктор технических наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ «МИСиС»,
e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

Для контактов: Еременко В.А., e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.P. Sergunin, Head of Department, Center for Geodynamic Safety, Polar Division of PJSC «MMC «Norilsk Nickel», Norilsk, Russia,

V.A. Eremenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Director of the Research Center «Application of Geomechanics and Mining of Convergent Technologies», Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

Corresponding author: V.A. Eremenko, e-mail: prof.eremenko@gmail.com.



ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 3, 2019 г. в статье автора Басова В.В. «Методика оценки соответствия результатов численного моделирования и шахтных измерений геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок» на с. 51 допущена техническая ошибка:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
51	В.В. Басов Сибирский государственный индустриальный университет, Москва, Россия, e-mail: vadimbasov@yahoo.com	В.В. Басов Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, e-mail: vadimbasov@yahoo.com

Статья отнесена к рубрике «Горная геофизика», должна быть отнесена к рубрике «Геомеханика».