

Верификация структурно-тектонического строения массива карьера «Нежданинское»

В.В. Арно✉, Н.Е. Ломакина, И.Ю. Гарифулина, Е.А. Ельникова, Е.А. Миккельсен, И.А. Голубев
Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация
✉ vvnika@mail.ru

Резюме: Статья посвящена анализу исследований факторов, влияющих на устойчивость уступов карьера «Нежданинское». Авторами подтверждено, что основополагающими являются векторное расположение и характеристики разломов, трещин в массиве. Определены три основные системы протяженных блокообразующих трещин: 1 – субвертикальные трещины с азимутом простирания $A = 290^\circ$; 2 – трещины с азимутом простирания $A = 50^\circ$ и углом падения в массив $P = 70^\circ$; 3 – трещины с азимутом простирания $A = 50^\circ$ и углом падения в карьер $P = 40^\circ$. В основном протяженные поверхности нарушения сплошности массива залегают под углом $40\text{--}50^\circ$ в направлении выработанного пространства карьера. Отдельные протяженные трещины имеют угол $60\text{--}65^\circ$. Наиболее вероятные системы трещин, участвующие в обрушении откосов в случае неблагоприятного сочетания направлений откоса и падения систем трещин, прослеживаются на юго-восточных бортах карьеров. На северных и северо-западных бортах неблагоприятные поверхности отсутствуют. При этом разломы, проходящие параллельно уступам, создают потенциальные зоны обрушения, что требует дополнительных мер по обеспечению их устойчивости. Структурно-тектоническое строение массива оказывает существенное влияние на образование и устойчивость уступов в карьере. Учёт этих факторов при планировании и разработке карьеров поможет обеспечить безопасность труда и эффективность процесса добычи.

Ключевые слова: геологические структуры, устойчивость уступов карьера, устойчивость бортов карьера, карьер, деформационные зоны

Благодарности: Особая благодарность научному руководителю НИР, зав. лабораторией открытой геотехнологии ИГД УрО РАН, кандидату технических наук А.В. Яковлеву.

Для цитирования: Арно В.В., Ломакина Н.Е., Гарифулина И.Ю., Ельникова Е.А., Миккельсен Е.А., Голубев И.А. Верификация структурно-тектонического строения массива карьера «Нежданинское». *Горная промышленность*. 2024;(2):139–142. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-139-142>

Verification of the structural and tectonic framework of the Nezhdaninskoye open-pit mine rock massif

V.V. Arno ✉, N.E. Lomakina, I.Yu. Garifulina, E.A. Elnikova, E.A. Mikkelsen, I.A. Golubev
North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation
✉ vvnika@mail.ru

Abstract: The article analyses the studies of factors affecting bench stability in the Nezhdaninskoye open-pit mine. It is determined that the fundamental factors are the vector location and characteristics of faults and cracks in the rock massif. The following three main systems of extended block-forming fractures were defined: (1) subvertical fractures with strike azimuth $A = 290^\circ$; (2) fractures with strike azimuth $A = 50^\circ$ and dip angle into the massif $P = 70^\circ$; (3) fractures with strike azimuth $A = 50^\circ$ and dip angle into the pit $P = 40^\circ$. Basically, the extended surfaces of the rock massif discontinuities lie at an angle of $40\text{--}50^\circ$ towards the mined-out space of the open pit. Individual extended fractures have the angle of $60\text{--}65^\circ$. The most probable fracture systems involved in bench collapse in case of unfavourable combination of the slope direction and the fracture system's dip are traced in the south-eastern walls of the open pits. There are no unfavourable surfaces in the northern and north-western walls. At the same time, faults running parallel to the benches create potential collapse zones, which requires additional measures to ensure their stability. The structural and tectonic framework of the rock massif has a significant impact on the formation and stability of the open-pit benches. Taking these factors into account when planning and developing open-pit mines will help ensure occupational safety and high efficiency of the mining process.

Keywords: geological structures, stability of open pit benches, stability of open pit walls, open pit mine, deformation zones

Acknowledgments: To the scientific director of the Research Institute, head. Laboratory of Open Geotechnology, IGD UrO RAS, Cand. Sci. (Eng.) A.V. Yakovlev.

For citation: Arno V.V., Lomakina N.E., Garifulina I.Yu., Elnikova E.A., Mikkelsen E.A., Golubev I.A. Verification of the structural and tectonic framework of the Nezhdaninskoye open-pit mine rock massif. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):139–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-139-142>

Введение

Структурно-тектоническое строение массива является одним из ключевых факторов, влияющих на устойчивость уступов карьера. Оно определяет расположение и характеристики различных геологических структур, таких как складки, разломы, трещины и прочие деформационные зоны. Исследования в этом направлении позволяют определить направление и интенсивность силовых воздействий на массив, а также выявить потенциально слабые места, подверженные разрушению. Например, наличие горизонтальных или наклонных разломов может привести к образованию блокиров при добыче материала из карьера.

Кроме того, структура массива влияет на способность пород к диссипации напряжений и рассасыванию воды. Наличие жил или трещин потенциально приводит к концентрации напряжений в определенных точках уступа и вызывает его обрушение.

Результаты

Золоторудное месторождение «Нежданинское» находится в Северо-восточной части Республики Саха (Якутия) на территории Томпонского и Усть-Майского районов. Рудное поле Нежданинского месторождения находится в западной части Южно-Верхоянского синклиория, имеющего сложное геологическое строение с характерным широким развитием субмеридиональных глубинных разломов и складчатых дислокаций. Нежданинское рудное поле представляет собой вытянутый с юга на север пояс, простирающийся на 12,5 км от западного берега реки Тыры на юге до бассейна ручья Курум на севере. Ширина рудного поля достигает 5 км. В геологическом строении прибортовой массив карьера разделен на 2 комплекса – покровный и вмещающий, породы которых резко отличаются по условиям залегания, структуре, физическим и водным свойствам. Разрабатываемый массив представлен толщей песчаниково-аргиллит-алевролитовых пород от среднего карбона до верхней перми¹ [1].

В структурно-тектоническом отношении район работ приурочен к резко асимметричной Дыбинской антиклинали коробчатого типа. Район работ обусловлен субмеридиональными и субширотными тектоническими нарушениями, которые разделяются на системы – Нежданинская, Курумская, Сунтурская, Сентаньинская² [1].

Нежданинская система является основной рудовмещающей структурой. Разломы системы имеют падение западного направления под углом 70–80°, реже – обратное или вертикальное, преобладающее простирание – 350°. Разломы простираются на север на 15 км, после чего они постепенно уменьшаются, на юге разломы концентрируются в узкий пояс и постепенно перетекают в Сунтарскую систему разломов. Инженерно-геологический анализ и оценка степени и характера трещиноватости массива пород месторождения основывались на инженерно-геологической документации скважин с отбором ориентированного керна. В программе Dips были определены основные системы трещин, влияющие на устойчивость уступов и бортов карьеров. Так, в структуре породного массива выделено: две основные (открытые трещины) и две второстепенные (залеченные трещины, обычно кварц или карбонат) системы трещин, а также система, развитая по напластованию (клинажу) пород (BD). Как правило, это трещины с раскрытием 0,1–0,5 см при максимальных значениях 2,0–5,0 м. Трещины плоские или волнистые шероховатые, редко с зеркалами скольжения, стенки трещин выветрелые или заполнены твердой глиной. Расстояние между трещинами варьирует от 0,05 до 2,0 м, при среднем значении 0,3–0,5 м. Обобщенная диаграмма трещиноватости для уступов и бортов карьеров приведена на рис. 1.

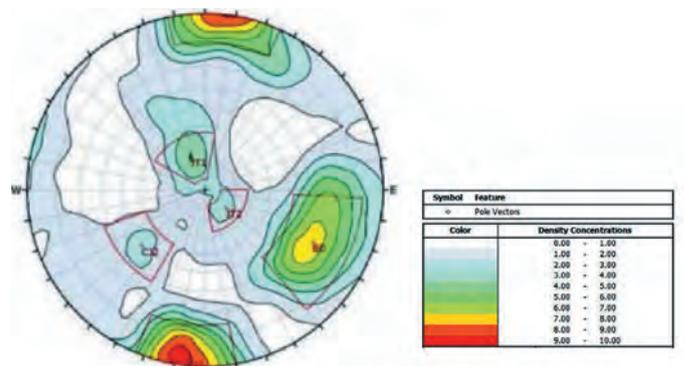


Рис. 1
Обобщенная диаграмма трещиноватости

Fig. 1
A generalized fracture diagram

Согласно представленным структурным данным для всех бортов проектируемых карьеров были определены наиболее вероятные системы трещин, участвующие в обрушении откосов в случае неблагоприятного сочетания направлений откоса и падения систем трещин ($\pm 20^\circ$). Потенциально опасные системы трещин представле-

ловия месторождения. Том 5.6.1.1 [АО «Полиметалл инжиниринг». СПб.; 2019. 118 с.; Исследование влияния структурно-тектонического строения массива на устойчивость уступов при их постановке в предельное положение на Нежданинском карьере: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. Екатеринбург; 2020. 107 с.; Разработка и внедрение оптимальных параметров систем и режимов ведения добычных работ в сложных горнотехнических условиях. Этап: Разработка рациональных систем и определение их оптимальных параметров для золоторудного месторождения «Нежданинское»: отчет о НИР по лабораторной стадии (заключительный) [ВНИПИгорцветмет, Читинский филиал]. Чита; 1985; Исследования теплового режима Нежданинского месторождения, выдача исходных данных для проектирования: отчет о НИР. [Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН]. Якутск; 2000; Определение физико-механических свойств пород месторождения «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет]. СПб.; 2017. 331 с.

1 Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. СПб.; 2019. 128 с.; Строительство горно-обогадательного комбината на месторождении Нежданинское. 1-я очередь: проектная документация. Кн. 1. Текстовая часть. Часть 1. Горно-геологические условия месторождения. Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Подраздел 6. Технологические решения. Часть Горногеологические условия месторождения. Том 5.6.1.1 [АО «Полиметалл инжиниринг». СПб.; 2019. 118 с.; Исследование влияния структурно-тектонического строения массива на устойчивость уступов при их постановке в предельное положение на Нежданинском карьере: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. Екатеринбург; 2020. 107 с.; Разработка и внедрение оптимальных параметров систем и режимов ведения добычных работ в сложных горнотехнических условиях. Этап: Разработка рациональных систем и определение их оптимальных параметров для золоторудного месторождения «Нежданинское»: отчет о НИР по лабораторной стадии (заключительный) [ВНИПИгорцветмет, Читинский филиал]. Чита; 1985; Исследования теплового режима Нежданинского месторождения, выдача исходных данных для проектирования: отчет о НИР. [Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН]. Якутск; 2000.

2 Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. СПб.; 2019. 128 с.; Строительство горно-обогадательного комбината на месторождении Нежданинское. 1-я очередь: проектная документация. Кн. 1. Текстовая часть. Часть 1. Горно-геологические условия месторождения. Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Подраздел 6. Технологические решения. Часть Горногеологические усло-

Таблица 1
Потенциально опасные
системы трещин

Table 1
Potentially hazardous fracture
systems

Карьер	Азимут падения бортов, град	Системы трещин с неблагоприятным залеганием		Системы трещин с благоприятным залеганием (наклонное в сторону массива)
		плоское обрушение (наклонное в сторону откоса)	клиновидное обрушение	
1	90–120	–	–	
	215–270	BD	–	
2	60–140	–	–	
		BD	–	

ны в табл. 1. Из приведенного анализа видно, что негативно ориентированные поверхности прослеживаются на юго-восточных бортах проектируемых карьеров. На северных и северо-западных бортах карьеров неблагоприятные поверхности отсутствуют [2; 3].

По данным геомеханического описания керна, в пределах конечных контуров карьеров преимущественным развитием пользуются слабо- и среднетрещиноватые породы (модуль трещиноватости – 1,5–5 трещин на метр). Средне- и сильнотрещиноватые разности скальных пород (модуль трещиноватости 5–30 трещин на метр) приурочены к центральным частям карьеров, где они образуют ореолы вокруг рудных зон мощностью до 20–30 м, в местах сближения рудных зон мощность средне- и сильнотрещиноватых пород увеличивается до 100–200 м. По мере удаления от центральных частей карьеров трещиноватость пород уменьшается. Основные зоны трещиноватости приурочены к крутопадающим разрывным нарушениям, представленным щелевидными зонами дробления, в которых порода разбита на обломки размером до 1–5 см. Видимая мощность зон дробления не превышает 1–4 м при средней мощности таких зон 0,7 м. Средние значения показателя качества вмещающих пород «RQD» (Rock Quality Designation- «Индекс качества породы» (RQD), или критерий Дира, отражает устойчивость массива), варьируют от 70 до 90%, руды от 10 до 50%, что характеризует качество вмещающих пород как хорошее, руды – как плохое⁴ [2; 3].

3 Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. СПб.; 2019. 128 с.; Строительство горно-обогатительного комбината на месторождении Нежданинское. 1-я очередь: проектная документация. Кн. 1. Текстовая часть. Часть 1. Горно-геологические условия месторождения. Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Подраздел 6. Технологические решения. Часть Горногеологические условия месторождения. Том 5.6.1.1 [АО «Полиметалл инжиниринг»]. СПб.; 2019. 118 с.; Исследование влияния структурно-тектонического строения массива на устойчивость уступов при их постановке в предельное положение на Нежданинском карьере: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. Екатеринбург; 2020. 107 с.; Разработка и внедрение оптимальных параметров систем и режимов ведения добычных работ в сложных горнотехнических условиях. Этап: Разработка рациональных систем и определение их оптимальных параметров для золоторудного месторождения «Нежданинское»: отчет о НИР по лабораторной стадии (заключительный) [ВНИПИГорцветмет, Читинский филиал]. Чита; 1985; Исследования теплового режима Нежданинского месторождения, выдача исходных данных для проектирования: отчет о НИР. [Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН]. Якутск; 2000; Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Ленинград: ВНИИИ; 1972. 165 с.

4 Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. СПб.; 2019. 128 с.; Строительство горно-обогатительного комбината на месторождении Нежданинское. 1-я очередь: проектная документация. Кн. 1. Текстовая часть. Часть 1. Горно-геологические условия месторождения. Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических

Заключение

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Прибортовые массивы имеют блочное структурное строение. Определены три основные системы протяженных блокообразующих трещин:

- субвертикальные трещины с азимутом простирания $A = 290^\circ$;
- трещины с азимутом простирания $A = 50^\circ$ и углом падения в массив $P = 70^\circ$;
- трещины с азимутом простирания $A = 50^\circ$ и углом падения в карьер $P = 40^\circ$.

2. В основном протяженные поверхности нарушения сплошности массива залегают под углом 40–50° в направлении выработанного пространства карьера. Отдельные протяженные трещины имеют угол 60–65°. Все эти протяженные трещины не только вызывают обрушения верхней приоткосной части уступов, но и могут оказать влияние на устойчивость бортов на предельном контуре карьера.

3. Наиболее вероятные системы трещин, участвующие в обрушении откосов в случае неблагоприятного сочетания направлений откоса и падения систем трещин, прослеживаются на юго-восточных бортах карьеров. На северных и северо-западных бортах неблагоприятные поверхности отсутствуют⁵.

Вклад авторов

В.В. Арно, Е.А. Микклесен, И.А. Голубев – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; Е.А. Ельникова, И.Ю. Гарифулина – оценка результатов и коррекция написанной работы; Н.Е. Ломакина – оценка результатов исследования, выборка и сбор материала для исследований

Author's contribution

Veronika V. Arno, Ekaterina A. Mikkelsen, Ilya A. Golubev – research idea, formulating the conflict between the current paradigm and the new facts, drafting the research paper; Elena A. Elnikova, Irina Yu. Garifulina – evaluation of the results and correction of the paper written; Natalia E. Lomakina – evaluation of the research results, sampling and collection of the research material.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

мероприятий, содержание технологических решений. Подраздел 6. Технологические решения. Часть Горногеологические условия месторождения. Том 5.6.1.1 [АО «Полиметалл инжиниринг»]. СПб.; 2019. 118 с.; Исследование влияния структурно-тектонического строения массива на устойчивость уступов при их постановке в предельное положение на Нежданинском карьере: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. Екатеринбург; 2020. 107 с.; Разработка и внедрение оптимальных параметров систем и режимов ведения добычных работ в сложных горнотехнических условиях. Этап: Разработка рациональных систем и определение их оптимальных параметров для золоторудного месторождения «Нежданинское»: отчет о НИР по лабораторной стадии (заключительный) [ВНИПИГорцветмет, Читинский филиал]. Чита; 1985; Исследования теплового режима Нежданинского месторождения, выдача исходных данных для проектирования: отчет о НИР. [Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН]. Якутск; 2000.

5 Обоснование безопасных параметров бортов и уступов карьера (участки 1 и 2) на месторождении «Нежданинское»: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. СПб.; 2019. 128 с.; Исследование влияния структурно-тектонического строения массива на устойчивость уступов при их постановке в предельное положение на Нежданинском карьере: отчет о НИР. [Санкт-Петербургский горный университет; рук. А.А. Павлович]. Екатеринбург; 2020. 107 с.

Список литературы / References

1. Артемьев Э.П., Яковлев А.В., Бусаргина Е.С. Обоснование пространственно-временного порядка инициирования скважинных зарядов при массовых взрывах на карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(S11):41–50. Artemev E.P., Yakovlev A.V., Busargina E.S. The substantiation of the space-time of the order initiation hole charges in large-scale explosions in open pits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2011;(S11):41–50. (In Russ.)
2. Яковлев А.В., Шимкив Е.С. Исследование влияния основных систем трещин в массиве северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» на качество дробления взорванной горной массы. *Проблемы недропользования*. 2015;(3):19–27. Режим доступа: <https://trud.igduran.ru/index.php/psu/article/view/111> (дата обращения: 06.03.2024). Yakovlev A.V., Shimkiv E.S. Studying the main cracks systems influence in rock mass of the «EVRAZ KGOK» northern open pit on the quality of blasted rock mass crushing. *Problems of Subsoil Use*. 2015;(3):19–27. (In Russ.) Available at: <https://trud.igduran.ru/index.php/psu/article/view/111> (accessed: 06.03.2024).
3. Артемьев Э.П. Управление воздействием взрывных нагрузок на законтурный массив. В кн.: *Уральский горнопромышленный форум*: сб. докл. Екатеринбург: УрО РАН; 2006. С. 115–119. Artemyev E.P. Control of the blast load impact on the edge rock mass. In: *Urals Mining Industrial Forum: collection of papers*. Yekaterinburg, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences; 2006, pp. 115–119. (In Russ.)

Информация об авторах

Арно Вероника Владимировна – кандидат технических наук, доцент Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: vvnika@mail.ru

Ломакина Наталья Евгеньевна – старший преподаватель кафедры горного дела Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: lom_a_n@mail.ru

Гарифулина Ирина Юрьевна – старший преподаватель кафедры геологии и горного дела Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Ельникова Елена Александровна – старший преподаватель кафедры энергетики, транспорта и строительства Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: lenaemail@mail.ru

Голубев Илья Алексеевич – студент Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: ilya.golubev.5329@mail.ru

Миккельсен Екатерина Александровна – студент Политехнического института, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: katena.glotova.0173@gmail.com

Information about the authors

Veronika V. Arno (Kurbatova) – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: vvnika@mail.ru

Natalia E. Lomakina – Senior Lecturer, Mining Department, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: lom_a_n@mail.ru

Irina Yu. Garifulina – Senior Lecturer, Department of Geology and Mining, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Elena A. Elnikova – Senior Lecturer, Department of Energy, Transport and Construction, Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: lenaemail@mail.ru

Ilya A. Golubev – Student of the Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: ilya.golubev.5329@mail.ru

Ekaterina A. Mikkelsen – Student of the Polytechnic Institute, North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: katena.glotova.0173@gmail.com

Article info

Received: 09.02.2024

Revised: 04.03.2024

Accepted: 06.03.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 09.02.2024

Поступила после рецензирования: 04.03.2024

Принята к публикации: 06.03.2024