

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ УСТУПОВ КАРЬЕРА «НЕЖДАНИНСКОЕ»

В. В. Арно¹, Е. П. Колесниченко², И. Ю. Гарифулина¹, Н. Е. Ломакина¹, Е. Ю. Тимченко¹, Е. А. Миккельсен¹

¹ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия

²ВШЭ МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследований и оценки устойчивости откосов уступов карьера «Нежданинское». Установлены оптимальные углы откосов уступов для условий карьера «Нежданинское», выявлены возможные механизмы разрушения откосов, обсуждены причины деформаций и проведен анализ возможных сценариев деформирования. Определено, что безопасность и устойчивость откосов уступов карьера важны для предотвращения обрушений и минимизации рисков. Применение новых технологий и методов оценки позволяет повысить эффективность управления устойчивостью откосов. Результаты исследования применимы к проектированию, горным работам и обеспечению безопасности на карьере «Нежданинское» и аналогичных объектах горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: устойчивость, борт, уступ, карьер, подсекающие трещины, подрезка откосов

Для цитирования: Оценка устойчивости откосов уступов карьера «Нежданинское» / В. В. Арно, Е. П. Колесниченко, И. Ю. Гарифулина [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 24-29. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29.

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE SLOPES OF THE LEDGES OF THE NEZHDANINSKOYE QUARRY

V. V. Arno¹, E. P. Kolesnichenko², I. Y. Garifulina¹, N. E. Lomakina¹, E. Y. Timchenko¹, E. A. Mikkelsen¹

¹North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation

²Higher School of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Abstract: The article presents the results of research on the assessment of the stability of the slopes of the ledges of the Nezhdaninskoye quarry. The optimal slope angles of the ledges for the conditions of the Nezhdaninskoye quarry were established, possible mechanisms of slope destruction were identified, the causes of deformations were discussed and possible deformation scenarios were analyzed. It is determined that the safety and stability of the slopes of the ledges of the quarry are important for preventing collapses and minimizing risks. The use of new technologies and assessment methods makes it possible to increase the effectiveness of slope stability management. The results of the study are applicable to the design, mining and safety at the Nezhdaninskoye quarry and analog mining facilities.

Keywords: stability, side, ledge, quarry, cutting cracks, trimming slopes

For citation: Arno V. V., Kolesnichenko E. P., Garifulina I. Y., et al. Assessment of the stability of the slopes of the ledges of the Nezhdaninskoye quarry. Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):24-29. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29.

Введение

Оценка устойчивости откосов уступов карьера является критически важным аспектом в горнодобывающей промышленности и инженерной геологии, обусловленным необходимостью обеспечения безопасности труда и минимизации экологических рисков. Этот процесс заключается в анализе физических и механических характеристик горных пород, составляющих откосы уступов, для определения вероятности их обрушения.

В первую очередь устойчивость откосов карьера влияет на безопасность работников. Обвалы и оползни могут привести к человеческим жертвам, а также повлечь за собой значительные финансовые потери из-за остановки производственных про-

цессов. Вторым важным аспектом является защита окружающей среды. Неконтролируемые обрушения могут привести к загрязнению водных источников, уничтожению флоры и фауны, изменению ландшафта. Поэтому актуальность и важность оценки устойчивости откосов не подлежит сомнению [1–9].

Высокая значимость данной оценки обусловлена также и экономическим аспектом. Правильное планирование горных работ с учетом устойчивости откосов позволяет оптимизировать объемы добычи полезных ископаемых, минимизировать затраты на обеспечение безопасности и предотвращение обрушений, а также снизить вероятность возникновения непредвиденных расходов, связанных с ликвидацией последствий обвалов.

Специалисты в области горной механики и геотехники давно изучают эту проблему и разработали множество методов и моделей для оценки устойчивости откосов. Одним известным методом оценки устойчивости откосов является метод среза, разработанный Хеффингом в 1970-х годах. Он основывается на определении предельной силы среза грунта и оценке устойчивости откосов по соотношению между предельной силой среза и расчетной силой на откосе. Этот метод также широко используется при проектировании и эксплуатации карьеров.

Кроме того, существует большое количество научных статей и исследований, посвященных оценке устойчивости откосов уступов карьеров. Среди них можно отметить работы Переры и Гунаратне, Дж. Ли и Дж. Ванга, Еремеева и других исследователей, которые разработали новые методы и модели для оценки устойчивости откосов. Они использовали различные теоретические и экспериментальные подходы, включая использование численных моделей, физических моделей и полевых испытаний [11–17].

Основной целью при оценке устойчивости откосов уступов карьера «Нежданское» является определение факторов, влияющих на устойчивость, и оптимальных условий для проведения работ по добыче полезных ископаемых.

Методология исследования в данной работе включает:

- анализ физико-механических свойств горных пород и их контактов. Исследования проводятся для определения параметров, таких как плотность, сцепление и угол внутреннего трения, которые влияют на устойчивость откосов уступов;
- анализ падения и простираения трещин относительно положения уступа. Этот анализ позволяет определить возможные механизмы разрушения откоса и выбрать соответствующую схему расчета устойчивости;
- расчеты устойчивости уступов по различным схемам. Они выполняются с использованием соответствующих формул и параметров горных пород и контактов;
- оценка устойчивости уступов по коэффициенту запаса. После выполнения расчетов устойчивости уступов полученные значения сравниваются с нормативными значениями коэффициента запаса. Если коэффициент запаса не ниже нормативного, то устойчивость уступов считается обеспеченной;
- исследование причин деформаций уступов.

Обсуждение результатов исследований

Оценка устойчивости откосов уступов осуществляется исходя из физико-механических свойств горных пород и их контактов, а также анализа падения и простираения трещин относительно положения уступа.

При отсутствии в массиве поверхностей ослабления, способных реализоваться в поверхности скольжения, расчет устойчивости уступа выполняется по схеме однородного откоса.

В случае наличия потенциальных поверхностей ослабления расчет устойчивости уступов выполняется по схемам, позволяющим учесть соответствующие возможные механизмы разрушения откоса.

По проекту углы откосов 30-метровых уступов в конечном положении в горных породах, незатронутых выветриванием, приняты 65° и 70°.

При анализе элементов залегания естественных трещин и азимутов падения уступов на карьере «Нежданское» выявлены следующие возможные схемы деформирования откосов уступов:

- однородный откос,
- плоское разрушение по трещине,
- клин.

Оценка устойчивости по схеме однородного откоса выполнена при условии отсутствия поверхностей ослабления [18].

При наличии подсекающих трещин уступы рекомендовано заоткашивать под углами наклона этих трещин. Однако при небольшой высоте откос допустимо формировать под более крутыми углами [13].

При условии подрезки откосов горными работами оценка их устойчивости при падении поверхностей ослабления (контактов слоев) в выработанное пространство под углом, большим угла трения ($\beta > \varphi$), и при угле откоса уступа, большим угла падения поверхности ослабления ($\alpha > \beta$), произведена по следующей формуле

$$h_y = \frac{2C' \cdot \cos \varphi' \cdot \sin \alpha}{p \cdot \sin(\beta - \varphi') \cdot \sin(\alpha - \beta)}, \quad (1)$$

где α – угол откоса уступа;

β – угол наклона слабого контакта;

C' и φ' – сцепление и угол трения по контакту;

p – плотность пород массива.

Оценка устойчивости уступа при неблагоприятном залегании относительно уступа двух пересекающихся трещин (вывал клиновидных отдельностей) выполнена по формуле

$$h = \frac{3C' \sqrt{1 + \tan^2 \psi \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} + \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right)}}{\gamma \sin(\beta_1 + \beta_2) \cdot (\cot \gamma \lambda_2 - \cot \gamma \alpha) \cdot (\tan \psi - \tan \varphi')}, \quad (2)$$

Для расчетов устойчивости уступов приняты физико-механические свойства горных пород и контактов, приведенные в таблице 1. Коэффициент запаса устойчивости для откосов уступов, поставленных в конечное положение, принят $n = 1,5$.

Расчеты устойчивости бортов карьеров показали, что при учете в расчетах сейсмического воздействия с интенсивностью колебаний 7 баллов коэффициент запаса не снижается менее 1,05. Поэтому для уступов приводятся результаты расчетов, как для обычных условий.

В результате анализа элементов залегания трещиноватости и азимутов падения откосов уступов были выполнены расчеты устойчивости уступов с учетом наиболее вероятной схемы деформирования, которые показали, что устойчивость уступов обеспечивается с коэффициентом запаса не ниже нормативного.

Отсюда следует, что данные параметры откосов уступов могут быть обеспечены только при применении технологий щадящего взрывания.

По оценке исследований и расчетов устойчивости уступов карьеров не выявлено причин и оснований для возникновения деформаций (в том числе локальных обрушений) уступов на предельном контуре карьеров. Однако на практике формирование уступов на предельном контуре карьеров сопровождается локальными обрушениями верхней приоткосной части уступов с уменьшением ширины предохранительных берм.

Эти обрушения могут быть вызваны тремя такими причинами, как:

1) не выявленные на стадии разведки или неучтенные в ранее проведенных расчетах поверхности ослабления массива, имеющие падение в направлении выработанного пространства карьера;

Таблица 1/ Table 1

Физико-механические свойства горных пород в массиве, принятые для расчетов устойчивости бортов и уступов Нежданинского месторождения
Physico-mechanical properties of rocks in the massif used to calculate the stability of the sides and ledges of the Nezhdaninsky deposit

Наименование породы /	Плотность ρ , кг/м ³	Сцепление в массиве C , Мпа	Угол внутреннего трения (для контактов – угол трения) φ (φ'), град.
Четвертичные отложения: щебенистый и дресвяный грунт с суглинистым заполнителем до 30 %, маловлажный	2 110	0,006	36
Скальные породы, слагающие прибортовой массив, преимущественно из алевролитов и его разновидностей	2 700	0,820	34
Кварцевый жильный агрегат	2 620	0,640	24
Контакт для уступов для бортов	-	0,100 0,165	28 28

2) разрушение структуры приоткосной части уступов буровзрывными работами;

3) ослабление междублочных связей и дезинтеграция массива под воздействием тектонических сил.

Устойчивость уступов в скальных породах зависит от наличия, ориентировки и прочностных свойств поверхностей ослабления в массиве. Для условий карьера «Нежданинское» наибольшее влияние на устойчивость уступов оказывают трещины с углами падения в сторону выработанного пространства карьера 40°, 50° и 60°, имеющие низкие прочностные свойства. Расчеты устойчивости уступов были выполнены по формуле

$$H = \frac{2C_n' \cos \varphi_n' \sin \alpha}{\gamma \sin(\alpha - \beta) \sin(\beta - \varphi_n')}, \quad (3)$$

где H – высота уступа, м;

C_n' – сцепление по поверхности ослабления, т/м²;

α – угол откоса уступа;

φ_n' – угол трения по поверхности ослабления, град.;

γ – плотность пород, т/м³;

β – угол падения поверхности ослабления в сторону выработанного пространства карьера, град.

Для расчетов устойчивости уступов были приняты средние прочностные свойства по результатам испытаний образ-

цов пород на сдвиг по распилу: $C' = 10$ т/м²; $\varphi_n' = 28^\circ$. Кроме того, приведены эти же показатели при сдвиге по естественной трещине: $C' = 33$ т/м²; $\varphi' = 28,1^\circ$.

В соответствии нормативными требованиями для определения предельных параметров уступов величина коэффициента запаса устойчивости должна составлять не менее 1,5, так как в этом случае наиболее напряженная поверхность скольжения практически полностью располагается в зоне влияния процессов выветривания, разуплотнения и буровзрывных работ, проводимых в разрезе.

Для расчетов приняты наиболее низкие прочностные характеристики поверхностей ослабления, которые с учетом коэффициента запаса $n = 1,5$ составляют $C_n' = 6,7$ т/м²; $\varphi_n' = 19,5^\circ$. В расчетах угол откоса уступа варьировался от 50° до 80°, а угол падения поверхности ослабления – от 45° до 75°.

Результаты расчетов по (3) отражены в таблице 2, в которой в зависимости от ориентировки поверхности ослабления в массиве при выбранной высоте уступа можно определить устойчивый угол его погашения на предельном контуре карьера.

Таблица 2 / Table 2

Зависимость устойчивого угла откоса уступа от его высоты при различных углах падения поверхности ослабления
Dependence of the stable slope angle of the ledge on its height at different angles of incidence of the attenuation surface

Угол откоса уступа, град.	Высота уступа H , м						
	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 50^\circ$	$\beta = 55^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 65^\circ$	$\beta = 70^\circ$	$\beta = 75^\circ$
50	95,5						
55	51,2	86,6					
60	36,3	45,9	80,0				
65	28,7	32,2	42,0	74,9			
70	24,1	25,3	29,2	38,9	70,7		
75	20,9	21,0	22,7	26,8	36,4	67,1	
80	18,6	18,1	18,7	20,7	24,9	34,3	64,5

Устойчивые углы откоса уступов приведены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Устойчивые углы откоса уступов высотой 30 м при различных углах падения поверхности ослабления
Stable slope angles of ledges with a height of 30 m at different angles of incidence of the attenuation surface

Угол падения поверхности ослабления β , град.	Угол откоса 30-метрового уступа α , град.
45	63
50	67
55	69
60	73
65	77

Заключение

Исходя из анализа полученных результатов выяснено, что наибольшая вероятность обрушений 30-метровых уступов с углом погашения 70°, особенно вблизи верхней бровки, наблюдается при углах падения поверхностей

ослабления массива в направлении выработанного пространства карьера $\beta = 45\text{--}55^\circ$, а уступов с углом погашения 65° — при $\beta = 35\text{--}45^\circ$.

Результаты полевых исследований структурного строения массива показывают: обрушения верхней части уступов происходят по поверхностям, имеющим падение в карьер под углами $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$.

Расчеты выполнены для сухих гладких ровных трещин без заполнителя. Наличие заполнителя с более низкими прочностными свойствами увеличивает вероятность потери устойчивости уступов (особенно верхней части) и диапазон опасных углов наклона трещин. Следует также учитывать снижение прочностных свойств заполнителя трещин в результате его оттаивания и увлажнения.

В контексте современных требований к безопасности и экономической эффективности добычных процессов вопрос оценки устойчивости откосов уступов карьера приобретает особую актуальность. Изменчивость геологических условий, динамическое воздействие горнодобывающей деятельности и изменение климатических условий требуют развития и адаптации существующих методов анализа устойчивости и разработки новых подходов.

Акцентируя внимание на перспективах развития методов оценки, необходимо отметить, что ведутся исследования, направленные на увеличение точности прогнозов устойчивости, интеграцию геотехнического мониторинга и развитие численных методов анализа. Современные технологии, такие как лазерное сканирование и дистанционное зондирование Земли, уже активно внедряются в практику для получения актуальных данных о состоянии

откосов в реальном времени. Это позволяет оперативно обновлять модели устойчивости и повышать надежность прогнозов.

Будущее оценки устойчивости откосов уступов карьера представляется через призму прикладного использования искусственного интеллекта и машинного обучения. Аналитические системы на основе этих технологий способны анализировать большие массивы данных, идентифицировать закономерности и предвещать потенциальные опасности на основе исторических и текущих условий. Такой подход может существенно повысить эффективность принятия решений по управлению устойчивостью откосов.

Кроме того, развитие материаловедения и строительных технологий также окажет влияние на повышение устойчивости откосов. Инновационные материалы и методы укрепления, такие как геосинтетика, биоматы, химические стабилизаторы и технологии 3D-печати, открывают новые возможности для повышения устойчивости откосов и уменьшения воздействия на окружающую среду [12–15].

Развитие методов оценки устойчивости откосов уступов карьера является многоаспектным процессом, который требует интеграции достижений в области геологии, геотехники, инженерной геологии, информационных технологий и экологии. Прогнозируется, что мультидисциплинарный подход и инновационные технологии будут ключевыми факторами в совершенствовании методов оценки и повышении устойчивости откосов уступов, обеспечивая безопасность и продуктивность добычных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуханов, А. З. Механика грунтов: учебное пособие / А. З. Абуханов. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 352 с.
2. Управление состоянием массива горных пород месторождения «Бургали» / В. В. Арно, И. Ю. Гарифуллина, Н. Е. Ломакина [и др.] // Вестник Северо-Восточного государственного университета. — 2023. — № 40. — С. 10–15.
3. Бахаева, С. П. Расчет устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учебное пособие / С. П. Бахаева; ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева». — Кемерово, 2011. — 158 с.
4. Гаврикова, Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н. А. Гаврикова. — Томск, 2014. — 73 с.
5. Калюжный, А. С. Анализ результатов оценки устойчивости борта карьера при плоском и объемном вариантах расчета / А. С. Калюжный // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10. — С. 123–133.
6. О геодинамической безопасности горных работ в удароопасных условиях на примере Хибинских апатитовых месторождений / А. А. Козырев, В. И. Панин, И. Э. Семенова [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 5. — С. 33–44.
7. Обоснование рационального применения беспилотных летательных аппаратов при маркшейдерском обслуживании открытых горных работ на руднике «Дукат» / В. В. Курбатова, А. М. Волин, Н. Е. Ломакина [и др.] // Горный журнал. — 2023. — № 4. — С. 16–20.
8. Валидация БПЛА в решении маркшейдерских задач на руднике «Дукат» / В. В. Курбатова, А. М. Волин, Н. Е. Ломакина [и др.] // Горная промышленность. — 2023. — № 1. — С. 47–52.
9. Лукичев, С. В. Цифровое моделирование при решении задач открытой и подземной горной технологии / С. В. Лукичев, О. В. Наговицын // Горный журнал. — 2019. — № 6. — С. 51–55.
10. 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.
11. Рыбин, В. В. Совершенствование геомеханического обоснования рациональных конструкций бортов карьеров в скальных, тектонически напряженных породах // Горный журнал. — 2019. — № 5. — С. 25–29.
12. Семенова, И. Э. Развитие концепции геомеханического обоснования горных работ в удароопасных условиях / И. Э. Семенова, И. М. Аватесян // Горный журнал. — 2022. — № 1. — С. 28–33.
13. Строительство горно-обогатительного комбината на месторождении Нежданинское. — СПб., 2019. — 118 с.
14. Open-pit slope design using a DtN-FEM: Parameter space exploration / M. Duran, E. Godoy, E.R. Catafau [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. — 2022. — Vol. 149. — P. 104950.
15. A new method for constructing finite difference model of soil-rock mixture slope and its stability analysis / Z. Lianheng, H. Dongliang, Z. Shuaihao [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. — 2021. — Vol. 138. — P. 104605.
16. Flores, G. A transition from a large open pit into a novel “macroblock varia” block caving geometry at Chuquicamatamine, Codelco Chile / G. Flores, A. Catalan // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. — 2019. — Vol. 11, № 3. — P. 549–561.
17. Geophysical evaluation of effectiveness of blasting for roofcaving during longwall mining of coal seam / L. Wojtecki, P. Konicek, M. J. Mendecki [et al.] // Pure and Applied Geophysics. — 2020. — Vol. 177, № 2. — P. 905–917.

18. Conceptualization and preliminary research on deep in situ rock mechanics. Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao = Chinese / H. Xie, C. Li, M. Gao. // Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2021. – Vol. 40, № 2. – P. 217–232.

REFERENCES

1. Abukhanov AZ. Soil mechanics: A textbook. Rostov-on-Don, 2006 (In Russ.).
2. Arno VV, Garifulina Iyu, Lomakina NE, et al. Management of the state of the rock mass of the Burgali deposit. Bulletin of the Northeastern State University. 2023;40:10-5 (In Russ.).
3. Bakhaeva SP. Calculation of slope stability in open geotechnology: textbook. Kemerovo, 2011 (In Russ.).
4. Gavrikova NA. Financial management, resource efficiency and resource conservation: an educational and methodological guide. Tomsk, 2014 (In Russ.).
5. Kalyuzhny AS. Analysis of the results of assessing the stability of the quarry side with flat and volumetric calculation options. Mining information and analytical bulletin. 2021;(10):123-33 (In Russ.).
6. Kozyrev AA, Panin VI, Semenova IE, et al. On geodynamic safety of mining operations in high-impact conditions on the example of Khibiny apatite deposits. Physical and technical problems of mining. 2018;(5):33-44 (In Russ.).
7. Kurbatova VV, Volin AM, Lomakina NE Justification of the rational use of unmanned aerial vehicles in the surveying of open-pit mining operations at the Dukat mine. Mining Journal. 2023;4:16-20 (In Russ.).
8. Kurbatova VV, Volin AM, Lomakina NE, et al. UAV navigation in solving surveying tasks at the Dukat mine. Mining industry. 2023;1:47-52 (In Russ.).
9. Lukichev SV, Nagovitsyn OV. Digital modeling in solving problems of open and underground mining technology. Mining magazine. 2019;(6):51-5 (In Russ.).
10. Justification of the safe parameters of the sides and ledges of the quarry (sections 1 and 2) at the Nezhdaninskoye field: research report / St. Petersburg Mining University; hand. A. A. Pavlovich. St. Petersburg, 2019 (In Russ.).
11. Rybin VV. Improving the geomechanical substantiation of rational structures of quarry sides in rocky, tectonically stressed rocks. Mountain Journal. 2019;(5):25-9 (In Russ.).
12. Semenova IE, Avetisyan IM. Development of the concept of geomechanical justification of mining operations in impact-hazardous conditions. Mining Journal. 2022;(1):28-33 (In Russ.).
13. Construction of a mining and processing plant at the Nezhdaninskoye field. 1st stage: project documentation. St. Petersburg, 2019 (In Russ.).
14. Duran M, Godoy E, Catafau ER, et al. Open-pit slope design using a DtN-FEM: Parameter space exploration. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2022;149:104950.
15. Lianheng Z, Dongliang H, Shuaihao Z, et al. A new method for constructing finite difference model of soil-rock mixture slope and its stability analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021;138:104605.
16. Flores G, Catalan A. A transition from a large open pit into a novel “macroblock varia” block caving geometry at Chuquicamatamine, Codelco Chile. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019;11(3):549-61.
17. Wojtecki L, Koniecz P, Mendecki M, et al. Geophysical evaluation of effectiveness of blasting for roofcaving during longwall mining of coal seam. Pure and Applied Geophysics. 2020;177(2):905-17.
18. Xie H, Li C, Gao M, et al. Conceptualization and preliminary research on deep in situ rock mechanics. Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao = Chinese. Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2021;40(2):217-32.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Арно Вероника Владимировна –

доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: vvnika@mail.ru

Колесниченко Ева Павловна –

студентка направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит», ВШГА МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия, e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Гарифулина Ирина Юрьевна –

кандидат технических наук, и. о. заведующего кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Ломакина Наталья Евгеньевна –

старший преподаватель кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: lom_a_n@mail.ru

Тимченко Елизавета Юрьевна –

инженер кафедры геологии и горного дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет (Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail: elisa.21.gk@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Veronika V. Arno –

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: vvnika@mail.ru

Eva P. Kolesnichenko –

student of the field of training «State and Municipal Audit», Higher School of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, e-mail: kolesnicheva@gmail.com

Irina Yu. Garifulina –

Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: irina-kajtukova@yandex.ru

Natalia E. Lomakina –

Senior Lecturer at the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: lom_a_n@mail.ru

Elizaveta Yu. Timchenko –

Engineer of the Department of Geology and Mining, North-Eastern State University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation, e-mail: elisa.21.gk@gmail.com

Миккельсен Екатерина Александровна –
студентка направления подготовки «Горное дело», ФГБОУ
ВО «Северо-Восточный государственный университет
(Политехнический институт)», г. Магадан, Россия, e-mail:
katena.glotova.0173@gmail.com

Ekaterina A. Mikkelsen -
student of the direction of training «Mining», North-Eastern State
University (Polytechnic Institute), Magadan, Russian Federation,
e-mail: katena.glotova.0173@gmail.com

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

В. В. Арно, Е. П. Колесниченко – идея исследований, формулировка конфликта текущей парадигмы и новых фактов, написание научной работы; Е. Ю. Тимченко, Н. Е. Ломакина, И. Ю. Гарифулина – оценка результатов и коррекция написанной работы; Е. А. Миккельсен – выборка и сбор материала для исследований / Arno V. V., Kolesnichenko E. P. – the idea of research, formulation of the conflict of the current paradigm and new facts, writing a scientific paper; Timchenko E. Yu., Lomakina N. E., Garifulina I. Yu. – evaluation of the results and correction of the written work; Mikkelsen E. A. - selection and collection of material for research.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.