



СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-09-160>

УДК 622.023.23:556.16(470.21)

**Влияние водопритоков на прочностные характеристики пород Ловозерского редкометалльного месторождения**

А. И. Калашник

Горный институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Российская Федерация *a.kalashnik@ksc.ru***Аннотация**

Ловозерское редкометалльное месторождение представлено свитой пластообразных пологопадающих рудных залежей малой и средней мощности, выходящих на поверхность на северо-западных склонах Ловозерского массива. Целью работы является оценка влияния водопритоков на прочностные характеристики пород Ловозерского редкометалльного месторождения, разрабатываемого рудником «Карнасурт». Рассмотрены данные о поступлении воды в горные выработки рудника «Карнасурт», отработывающего две согласно залегающие рудные залежи Ловозерского редкометалльного месторождения. Выполнена статистическая обработка объемов воды, собираемой рудником за последние 4 года, с оценкой динамики их поступления в течение календарного года. Выявлены особенности, связанные с календарными климатическими изменениями. Основной целью работы являлась оценка влияния водопритоков на прочностные характеристики пород, слагающие опорные целики. Выполнены анализ и расчеты осадконакопления в пределах горного отвода рудника и формирующихся водопритоков в горные выработки, а также сравнение их с фактическими данными по рудничной воде. Отобраны образцы наиболее представительных пород месторождения и выполнены испытания их на прочность на сжатие и растяжение в сухом и водонасыщенном состояниях. Определены количественные показатели изменения прочностных характеристик пород вследствие водонасыщения. Установлено, что водонасыщение привело к снижению прочности пород до 10–20%, особенно для значений на сжатие. Полученные результаты дают основание для необходимости учета обводненности пород при расчете устойчивости как опорных целиков, так и обнажений пород в выработках рудника «Карнасурт».

Ключевые слова

рудник, добыча, водопритоки, горные породы, целики, свойства, прочность, водонасыщенность, удароопасность, Ловозерское редкометалльное месторождение, рудник «Карнасурт»

Благодарности

Статья написана на основе исходных данных, подготовленных доктором технических наук Ловчиковым Александром Васильевичем. А. В. Ловчиков более 60 лет занимался вопросами геомеханической безопасности отработки Ловозерского месторождения, и фактически последней задачей его жизни было исследование влияния обводненности пород на устойчивость и удароопасность целиков рудника Карнасурт.

Для цитирования

Kalashnik A. I. Effect of water inflows on the strength characteristics of the Lovozero rare-metal deposit rocks. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(4):387–394. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-09-160>

MINING ROCK PROPERTIES. ROCK MECHANICS AND GEOPHYSICS

Research paper

Effect of water inflows on the strength characteristics of the Lovozero rare-metal deposit rocks

A. I. Kalashnik

Mining Institute of the Kola Scientific Center of the RAS, Apatity, Russian Federation *a.kalashnik@ksc.ru***Abstract**

The Lovozero rare-metal deposit is represented by a series of sheet-like ore bodies of small and medium thickness exposing on the northwestern slopes of the Lovozero massif. The purpose of the work is to assess the impact of water inflows on the strength characteristics of the rocks of the Lovozero rare-metal deposit developed by the Karnasurt mine. The data on water inflow into Karnasurt mine workings, which exploits two ore bodies of the Lovozero rare-metal deposit, are considered. Statistical processing of the data on



water volumes collected by the mine over the latest 4 years was performed, with assessment of their changes during a calendar year. The peculiarities associated with calendar climatic changes were identified. The main purpose of the study was to assess the effect of water inflows on the strength characteristics of the rocks composing the support pillars. The analysis and calculations of precipitation accumulation within the mine allotment and water inflows into the mine workings were performed and compared with actual data on mine waters. The samples of the most representative rocks of the deposit were collected and tested for dry and water-saturated compressive and tensile strength. The quantitative indicators of the changes in the strength characteristics of rocks due to water saturation were determined. It was found that the water saturation led to a decrease in the rock strength by up to 10–20%, especially for compressive strength values.

Keywords

mine, extraction, water inflows, rocks, pillars, properties, strength, water saturation, rockburst hazard, Lovozero rare metal deposit, Karnasurt mine

Acknowledgments

The paper was written on the basis of initial data prepared by Alexander V. Lovchikov, Dr. Sci. (Eng.). For more than 60 years A. V. Lovchikov dealt with the issues of the geotechnical safety of the Lovozero deposit mining, and, in fact, the last task of his life was to study the effect of rock watering on the stability and rockburst hazard of the pillars of the Karnasurt mine.

For citation

Kalashnik A. I. Effect of water inflows on the strength characteristics of the Lovozero rare-metal deposit rocks. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(4):387–394. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-09-160>

Введение

Ловозерское редкометалльное месторождение представлено свитой пластообразных пологопадающих рудных залежей малой и средней мощности, выходящих на поверхность на северо-западных склонах Ловозерского массива [1]. В настоящее время две рудные залежи (I-4 (уртиты) и II-4 (малиньбиты)) мощностью 1,0–1,2 м каждая, залегающие согласно на расстоянии около 100 м по вертикали друг от друга отрабатываются рудником «Карнасурт». Применяется камерно-столбовая система разработки со сплошной выемкой руды и поддержанием подработанной толщ пород ленточными целиками. Оработка обеих залежей ведется панелями по их простиранию. Панели нарезаются через 20–40 м по вертикали штреками (штольнями на верхних горизонтах), у которых оставляются опорные ленточные околоштрековые целики. Панели разделяются на блоки длиной 60–120 м, между которыми оставляются опорные ленточные междублоковые целики [1]. Месторождение по условиям ведения горных работ отнесено к удароопасным и характеризуется повышенной сейсмичностью и проявлениями горнотектонических ударов [2, 3].

Опорные околоштрековые и междублоковые целики на современном этапе обработки рудных залежей имеют ширину от 3 до 10 м. Их суммарная площадь для каждой отрабатываемой залежи может достигать 25 % от выработанного пространства. Глубина горных работ по нижней рудной залежи II-4 составляет от 30 м до поверхности на верхних горизонтах до 700 м на самом глубоком горизонте +280 м.

Рудник «Карнасурт» имеет большие размеры горного отвода: длина по нижней залежи II-4 составляет около 8 км при максимальной ширине 2,6 км. Более того, прорабатывается вопрос о прирезке горного отвода еще на 1,5 км к западу [2]. Таким образом, длина шахтного поля по нижней залежи на конечном этапе разработки достигнет 10 км при ширине до 2,6 км, что по площади составит 26 км². По верхней залежи пло-

щадь получается чуть меньше, но имеет такой же порядок величин. Это позволяет уверенно отнести рудник «Карнасурт» к категории самых больших из рудников западной части российского сектора Арктики.

В настоящее время залежь II-4 в пределах горного отвода отрабатана только наполовину, от выходов на поверхность до гор. +280 м. Размеры отрабатанной площади оставляют 6,5 км по простиранию при максимальной ширине по падению 1,3 км. По залежи I-4, отрабатанной только на участке «Карнасурт», протяженность выработанного пространства составляет по простиранию залежи 3,1 км при максимальной ширине по падению 0,8 км и глубине от 50 до 350 м до поверхности.

Водопритоки в выработки рудника «Карнасурт» обусловлены главным образом поверхностными атмосферными осадками. Образующаяся на дневной поверхности вода вследствие дождей, весеннего таяния снега и стоков с близлежащих гор проникает через многочисленные трещины и структурные неоднородности в покрывающем массиве пород и попадает в горные выработки.

Вода из горных выработок всех отрабатываемых участков собирается на откаточных горизонтах штреков и по водоотводным канавкам штреков выводится на их поверхность – почву штреков. Таким образом, по почве всех штреков рудника текут водные потоки к более низким горизонтам. Частично они собираются на откаточных горизонтах и водонасосными станциями откачиваются из выработок на поверхность. Из оставшихся объемов происходит как дальнейшая фильтрация воды вглубь подстилающего массива пород, так и обильное повсеместное водонасыщение пород почвы выработок и стенок опорных целиков.

Вопросы формирования водопритоков при обработке угольных пластов подземным (шахтным) способом исследованы в работах [4, 5], в том числе с изменением поверхностных природных источников [6, 7] и механизмом формирования инфильтрации по-

верхностных вод в выработки [8]. Для рудных месторождений в скальных массивах рассмотрено влияние обводненности пород на энергонасыщенное состояние [9] и проявление сейсмичности [10]. Особенности обводненности скальных пород исследованы в работах [11, 12], а влияние фактора обводненности на устойчивое состояние и безопасность окружающей природной среды – в [13–15].

Вместе с тем, учитывая, что для рассматриваемых в данной работе условий водные потоки омывают непосредственно нижние части опорных околоштрековых целиков удароопасного месторождения, необходимо уделить особое внимание влиянию обводненности пород. Поэтому целью работы является оценка влияния водопритоков на прочностные характеристики пород Ловозерского редкометалльного месторождения, разрабатываемого рудником «Карнасурт».

Результаты

По данным гидрогеологической службы рудника «Карнасурт» объем воды, собираемой рудником, составляет порядка 8 млн м³ в год. При этом динамика объемов за последние 4 года наблюдений остается практически однообразной: с января по май объемы уменьшаются, в июне значительно увеличиваются, далее с чуть меньшими значениями в июле–сентябре, а с октября по декабрь объемы водопритоков вновь уменьшаются (рис. 1).

Из гистограмм рисунка видно, что ежемесячный водоприток в выработки рудника составляет от

40 до 110 тыс. м³. Наименьшее количество воды – от 40 до 50 тыс. м³ – наблюдается в мае каждого года. Это обусловлено тем, что с октября по апрель осадки выпадают в виде снега и вследствие отрицательных температур аккумулируются на поверхности без инфильтрации воды с поверхности в выработки рудника. Наибольшее количество воды, от 70 до 110 тыс. м³, наблюдается в июне–сентябре (летне-осенний период) каждого года. Очевидно, что увеличение количества воды, поступающей в летне-осенний период в рудник, обусловлено как интенсивным таянием снега (в мае–июне) на горных склонах поверхности шахтного поля рудника, так и осадками в виде дождя в этот период (рис. 2). Данные по объемам дождевых и снеговых осадков на территорию горного отвода рудника «Карнасурт» в течение календарного года получены на основе анализа и обработки информации из источников¹.

Для сопоставительного анализа рассмотрена динамика суммарных объемов осадков на поверхность горного отвода и фактических объемов собранной в горных выработках воды за 2017–2020 гг. (рис. 3). Анализ данных рис. 3 подтверждает вышесказанное о преобладающем влиянии двух периодов: снегонакопления (примерно по 2400–3000 тыс. м³/мес с октября по апрель) и снеготаяния (май–июнь), а также дождей (примерно по 1200–1800 тыс. м³/мес с мая по сентябрь).

¹ Атлас Мурманской области 1971 г.; Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022 году. 2023. 151 с. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/98660/Обычная-погода-в-Ревда-Россия-весь-год>

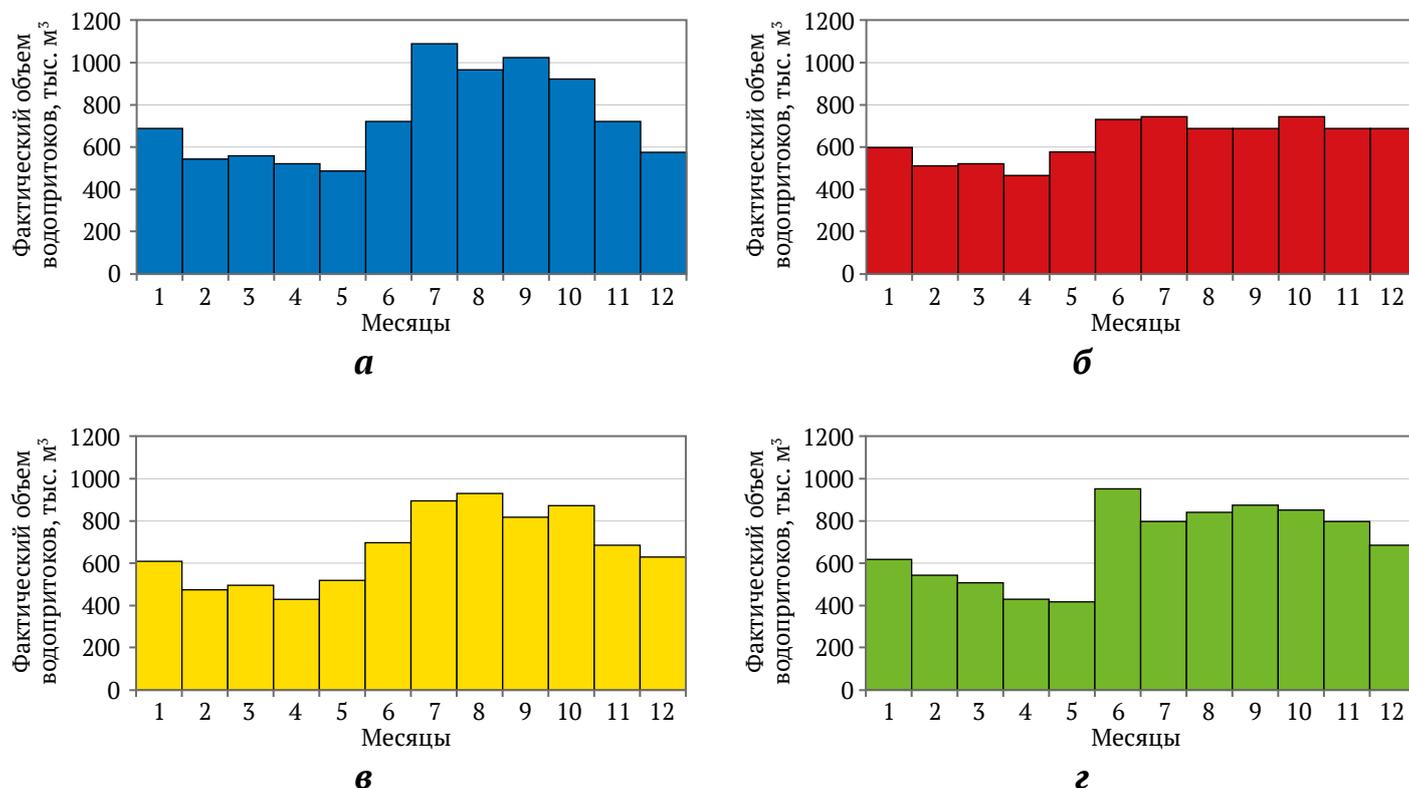


Рис. 1. Данные фактических объемов воды, собранной и откачанной рудником «Карнасурт»: а – 2017 г.; б – 2018 г.; в – 2019 г.; г – 2020 г.

Расчетами определено, что за период с октября по апрель снегонакопление на территории горного отвода рудника превысит 21 700 тыс. м³. В то же время объемы фактических водопритоков в выработки рудника уменьшатся с 800 до почти 400 тыс. м³ в силу снижения и практически отсутствия фильтрации воды с поверхности. Обильное снеготаяние и дожди в мае-июне приводят к резкому, более чем в 2 раза (с 400 до 850 тыс. м³/мес), увеличению водопритоков в выработки, достигающему 70–80% от поверхностных осадков. Такие объемы водопритоков фиксируются ежемесячно с мая вплоть до октября, когда дождевые осадки сменяются снеговыми и устанавливается отрицательная температура на почве с последующим снижением до апреля следующего года включительно.

Таким образом, водопритоки в горные выработки рудника формируются за счет дождевых осадков, снеготаяния в периоды с положительными значениями температуры воздуха и почвы, а также от природных поверхностных водоемов и подземных водоносных горизонтов, подпитываемых осадками. Характер их накопления носит более плавный, чем для осадков, характер в силу вышеперечисленных причин. Визуально граничное изменение объемов водопритоков четко коррелирует с выделенными климатическими периодами (см. рис. 3).

Для определения влияния водонасыщенности на прочностные свойства пород рудника были проведены специальные эксперименты на образцах пород.

На залежи I-4 были отобраны штUFFы пород уррита как наиболее распространенной породной разновидности на штреке гор. +400 м (пикет ПК4), из которых в дальнейшем изготавливались образцы пород для испытаний. Для каждого вида испытаний было изготовлено 8–9 образцов кубической формы (всего 34) с длиной грани куба 4 см. Образцы для испытаний в водонасыщенном состоянии помещались на месяц в сосуд с водой, а затем испытывались на растяжение и сжатие. Испытания образцов проводились на сжатие и растяжение в сухом и водонасыщенном их состояниях в соответствии с ГОСТами².

Результаты испытаний образцов на сжатие и растяжение в сухом состоянии приведены в табл. 1 и 2. Как видно из этих таблиц, установленные значение предела прочности на сжатие, составляющее $\sigma_c = 181$ МПа, и значение предела прочности на растяжение $\sigma_p = 14,3$ МПа коррелируют с аналогичными данными предыдущих исследований [1, 2].

Образцы на сжатие и растяжение в водонасыщенном состоянии имели такие же размеры, как и сухие, но за счет водонасыщения их вес незначительно (3–5%) увеличился. Результаты их испытаний представлены в табл. 3 и 4.

² ГОСТ 21153.2–84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии (Дата актуализации описания: 01.07.2023); ГОСТ 21153.3–85 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении (Дата актуализации описания: 01.07.2023).

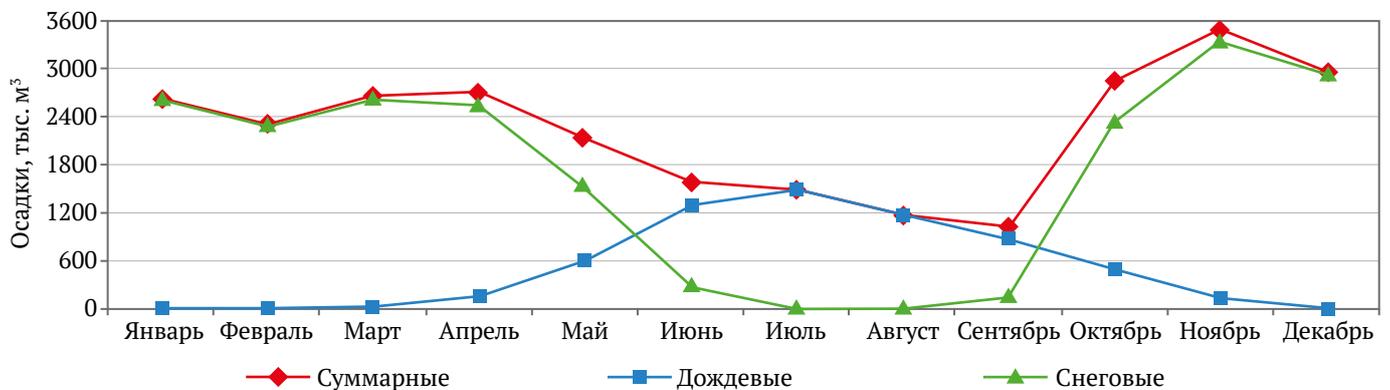


Рис. 2. Распределение объемов осадков на поверхность горного отвода рудника «Карнасурт» в течение календарного года

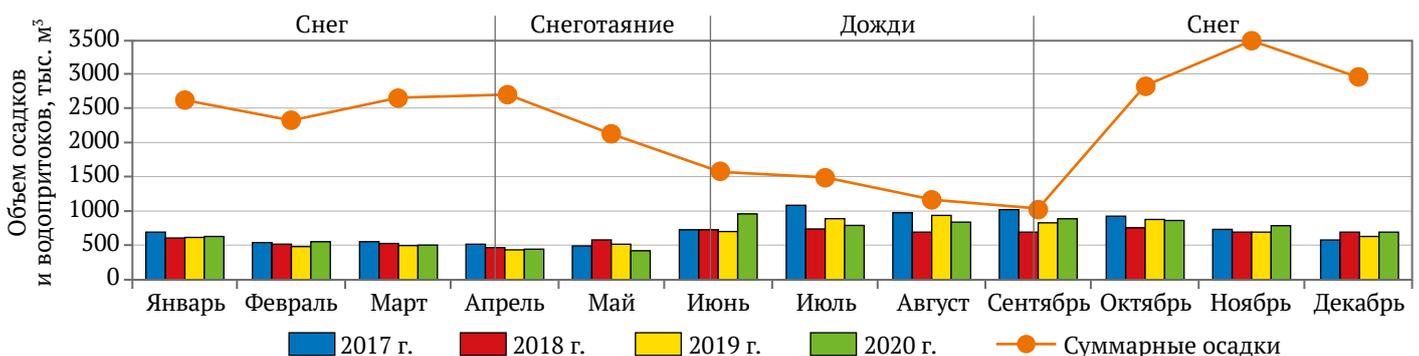


Рис. 3. Динамика суммарных объемов осадков на поверхность горного отвода и фактических объемов собранной в горных выработках воды за 2017–2020 гг.



Таблица 1

Результаты испытаний образцов пород на сжатие в сухом состоянии

Индекс	X, см	Y, см	Z, см	Объем, см ³	Вес, г	Объемный вес, г/см ³	Площадь нагружения, см ²	Нагрузка разрушения, кН	Предел прочности, МПа
2	4,53	4,57	4,60	95,1	247,54	2,60	20,67	374,9	145
3	4,52	4,49	4,57	92,8	242,05	2,61	20,29	408,2	161
4	4,52	4,53	4,59	93,7	243,65	2,60	20,44	579,7	227
5	4,56	4,70	4,58	98,1	248,73	2,53	21,43	520,0	194
6	4,52	4,51	4,64	94,5	246,40	2,61	20,39	494,4	194
11	4,56	4,52	4,61	94,9	229,60	2,42	20,60	493,6	192
14	4,50	4,50	4,60	93,3	243,26	2,61	20,28	358,6	141
16	4,51	4,53	4,54	92,8	242,42	2,61	20,44	497,4	195
17	4,65	4,65	4,54	98,2	259,51	2,64	21,61	489,5	181
Мин	4,50	4,49	4,54	92,8	229,60	2,42	20,28	358,6	141
Макс	4,65	4,70	4,64	98,2	259,51	2,64	21,61	579,7	195
Среднее	4,54	4,56	4,59	94,82	244,80	2,58	20,68	468,48	181,11

Таблица 2

Результаты испытаний образцов пород на растяжение в сухом состоянии

Индекс	X, см	Y, см	Z, см	Объем, см ³	Вес, г	Объемный вес, г/см ³	Площадь нагружения, см ²	Нагрузка разрушения, кН	Предел прочности, МПа
1	4,56	4,67	4,56	97,1	254,92	2,26	21,30	39,4	19
7	4,66	4,56	4,62	98,2	245,20	2,50	21,27	31,9	15
8	4,55	4,50	4,59	94,1	247,63	2,63	20,50	26,9	13
9	4,63	4,56	4,62	97,4	244,90	2,52	21,08	30,1	14
10	4,55	4,56	4,61	95,5	248,27	2,60	20,72	42,5	21
12	4,56	4,56	4,60	95,7	250,62	2,62	20,82	31,5	15
13	4,62	4,55	4,59	96,4	242,00	2,51	20,98	19,3	9
15	4,57	4,53	4,59	95,1	231,85	2,44	20,72	17,7	9
18	4,54	4,54	4,63	95,4	250,47	2,62	20,59	29,3	14
Мин	4,54	4,50	4,56	94,1	231,85	2,26	20,50	17,7	9
Макс	4,66	4,67	4,63	98,2	254,92	2,63	21,30	42,5	21
Среднее	4,58	4,56	4,60	96,10	246,21	2,52	20,89	29,84	14,33

Таблица 3

Результаты испытаний образцов пород на сжатие в водонасыщенном состоянии

Индекс	Площадь нагружения, см ²	Нагрузка разрушения, кН	Предел прочности на сжатие, МПа
4	20,68	417,3	161
5	21,15	376,0	142
7	20,82	360,5	138
8	21,22	441,2	166
9	21,14	381,8	145
10	20,19	279,0	111
11	20,80	458,8	176
14	21,44	297,6	111
Мин	20,19	297,6	111
Макс	21,44	458,8	176
Среднее	20,93	376,525	143,75

Таблица 4

Результаты испытаний образцов пород на растяжение в водонасыщенном состоянии

Индекс	Площадь нагружения, см ²	Нагрузка разрушения, кН	Предел прочности на растяжение, МПа
1	21,24	23,9	11
2	20,80	28,6	14
3	20,13	32,6	16
6	20,87	30,6	15
12	21,30	31,9	15
13	20,53	27,0	13
15	20,99	27,6	13
16	21,28	30,8	14
Мин	20,13	23,9	11
Макс	21,30	32,6	16
Среднее	20,89	29,13	13,88

Обсуждение результатов

Для детального анализа были построены диаграммы прочностных свойств всех испытанных образцов, ранжированные по полученным значениям (рис. 4). Сплошной линией отмечено среднее значение, пунктирной – уменьшение от среднего на 20 %.

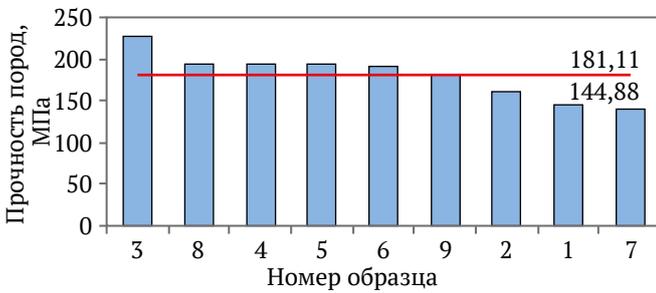
Из рис. 4 следует, что водонасыщение пород снизило их прочность на сжатие в целом на 20%, а для двух образцов – до 40%. В то же время нижний предел прочности на сжатие остался достаточно высоким – более 110 МПа.

Прочность водонасыщенных образцов на растяжение также в целом снизилась, но в меньшей степени, и нижний предел не снизился ниже 10 МПа. Для наглядного сопоставления данные статистической обработки приведены на рис. 5.

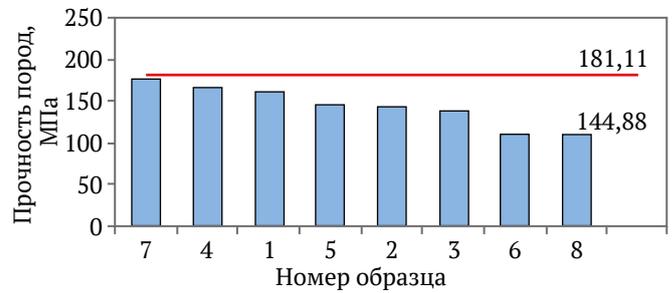
Таким образом, в результате испытаний установлено, что водонасыщение снижает прочность пород на сжатие и растяжение от 10 до 20% и более. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчете устойчивости как опорных целиков, так и обнажений пород в выработках рудника «Карнасурт», подвергающихся обильному водонасыщению.

Заключение

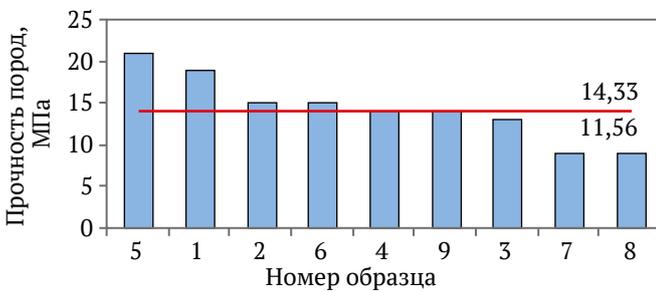
Обработаны и проанализированы данные фактических объемов воды, собранной в выработках рудника Карнасурт за последние 4 года. Определено, что годовой объем собранной воды достигает 8 млн м³ с распределением по месяцам в соответствии с сезонно-климатическими осадками. Выполнены анализ и расчеты осадконакопления в пре-



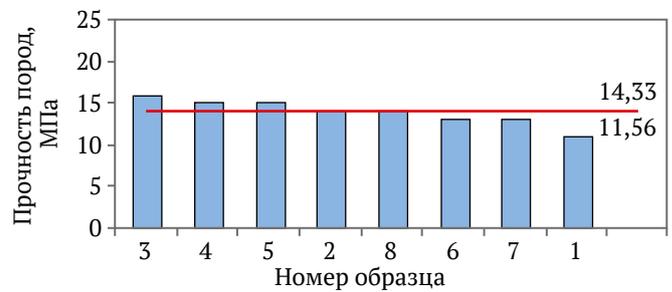
а



б

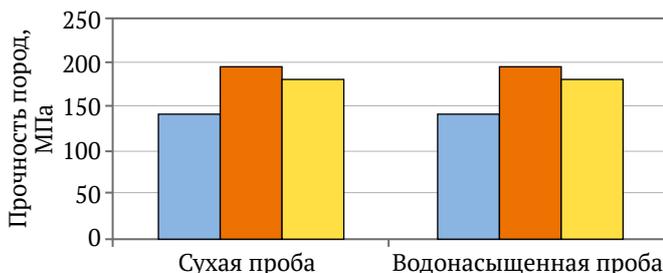


в

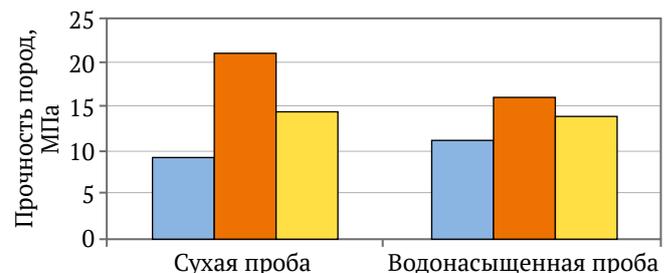


г

Рис. 4. Распределение значений прочности образцов при испытании на сжатие (верхний ряд) и растяжение: а, в – сухая порода; б, г – водонасыщенная порода



а



б

Рис. 5. Статистическое распределение прочностных характеристик испытанных образцов: а – при сжатии; б – при растяжении



делах горного отвода рудника и формирующихся водопритоков в горные выработки. Произведено их сравнение с фактическими данными по рудничной воде. Отобраны образцы наиболее представительных пород месторождения, из которых изготовлены 34 кубика размерами $4 \times 4 \times 4$ см, половина из которых были на месяц помещены в воду. Проведены испытания образцов (по 8–9 для каждого состояния и испы-

тания) на прочность на сжатие и растяжение в сухом и водонасыщенном состояниях. Установлено, что водонасыщение привело к снижению прочности пород до 10–20%, особенно для значений на сжатие. Полученные результаты дают основание для необходимости учета обводненности пород при расчете устойчивости как опорных целиков, так и обнажений пород в выработках рудника «Карнасурт».

Список литературы / References

1. Бессонов И.И., Боборыкин В.Н., Калашник А.И. и др. *Совершенствование технологии подземной разработки маломощных рудных месторождений Кольского полуострова*. Монография. Апатиты: КНЦ АН СССР; 1989. 156 с.
Bessonov I.I., Boborykin V.N., Kalashnik A.I. et al. *Improving the technology of underground mining of thin ore deposits of the Kola Peninsula*. Monograph. Apatity: Kola Science Centre AS SSSR Publ.; 1989. 156 p. (In Russ.)
2. Ловчиков А.В. *Сильнейший горно-тектонический удар на подземных рудниках и в шахтах России: рудник «Умбозеро», 17 августа 1999 года (магнитуда $m = 5$, энергетический класс $k = 11,8$)*. Монография. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2022. 127 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.456.3>
Lovchikov A.V. *The strongest mining-tectonic impact in underground mines and mines in Russia: Umbozero mine, August 17, 1999 (magnitude $m = 5$, energy class $k = 11.8$)*. Monograph. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2022. 127 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.456.3>
3. Адушкин В.В., Ловчиков А.В., Гоев А.Г. О возникновении катастрофического горно-тектонического удара на руднике «Умбозеро» в Ловозерском массиве в Центральной части Кольского полуострова. *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2022;504(1):85–90. <https://doi.org/10.31857/S2686739722050036>
Adushkin V.V., Lovchikov A.V., Goev A.G. The occurrence of a catastrophic rockburst at the Umbozero Mine in the Lovozero Massif, Central Part of the Kola Peninsula. *Doklady Earth Sciences*. 2022;504(1):85–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2686739722050036>
4. Пургина Д.В., Кузеванов К.И. Водопритоки в подземные горные выработки под влиянием внешних граничных условий при разработке угольных месторождений (на примере шахты Алексиевская). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;329(4):79–96.
Purgina D.V., Kuzevanov K.I. Water inflow into mine under the influence of external boundary conditions at coal deposit exploitation (Kuzbass). *Izvestiya Tomskogo Politekhnikheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov*. 2018;329(4):79–96. (In Russ.)
5. Gui H., Lin M., Song X. Identification and application of roof bed separation (water) in coal mines. *Mine Water and the Environment*. 2018;37(2):376–384. <https://doi.org/10.1007/s10230-018-0518-0>
6. Davis A., Zhan G., Sims N. et al. Is treatment of mine dewatering water necessary prior to rapid infiltration basin recharge? A case study. *Mine Water and the Environment*. 2022;41:58–73. <https://doi.org/10.1007/s10230-021-00839-2>
7. Enany P., Shevchenko O., Drebenstedt C. Experimental evaluation of airlift performance for vertical pumping of water in underground mines. *Mine Water and the Environment*. 2021;40:970–979. <https://doi.org/10.1007/s10230-021-00807-w>
8. Fan K., Li W., Wang Q. et al. Formation mechanism and prediction method of water inrush from separated layers within coal seam mining: A case study in the Shilawusu mining area, China. *Engineering Failure Analysis*. 2019;103:158–172. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.04.057>
9. Кузнецов Н.Н. Исследование влияния обводненности на энергонасыщенное состояние иерархично-блочной геологической среды. *Проблемы недропользования*. 2017;(1):64–71. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.064>
Kuznetsov N.N. Study of watercut influence on the energy saturated state of hierarchically block geological medium. *Problemy Nedropol'zovaniya*. 2017;(1):64–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.01.064>
10. Козырев А.А., Батугин А.С., Жукова С.А. О влиянии обводненности массива на его сейсмическую активность при разработке апатитовых месторождений Хибин. *Горный журнал*. 2021;(1):31–36. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.01.06>
Kozyrev A.A., Batugin A.S., Zhukova S.A. Influence of water content on seismic activity of rocks mass in apatite mining in Khibiny. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(1):31–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.01.06>
11. Калашник А.И., Дьяков А.Ю. Оценка нарушенности скальных пород георадарным зондированием с использованием водонасыщения для контрастности. *Вестник МГТУ*. 2019;22(1):129–137. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-1-129-137>
Kalashnik A.I., Dyakov A.Yu. Evaluation of rock disturbance by GPR sensing using water saturation for contrast. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2019;22(1):129–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-1-129-137>



12. Аузина Л.И. Особенности обводненности золоторудных месторождений Витимо-Патомского нагорья. *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2017;40(1):127–136.
Auzina L.I. Water encroachment features of Vitim-Patom highland gold deposits. *Izvestiya Sibirskogo Otdeleniya Sekcii Nauk o Zemle Rossijskoj Akademii Estestvennyh Nauk. Geologiya, Razvedka i Razrabotka Mestorozhdenij Poleznyh Iskopaemyh*. 2017;40(1):127–136. (In Russ.)
13. Kalashnik A., Zaporozhets D. Information Technologies in Monitoring of Urbanized Territories in the Western Russian Arctic Sector. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023;509:837–844. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_84
14. Wu L., Bai H., Ma D. Prediction and Prevention of Water Inrush Hazards from Bed Separation Space. *Mine Water and the Environment*. 2021;40:657–670. <https://doi.org/10.1007/s10230-020-00748-w>
15. Мелихов М.В., Калашник А.И. Космомониторинг геологических рисков в горной промышленности Баренцева Евро-Арктического региона России. *Горная промышленность*. 2023;(S1):128–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-128-134>
Melikhov M.V., Kalashnik A.I. Space monitoring of geological risks in the mining industry of the Barents Euro-Arctic region of Russia. *Russian Mining Industry*. 2023;(S1):128–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-128-134>

Информация об авторе

Анатолий Ильич Калашник – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории геофлюидомеханики, Горный институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-6567-2877](https://orcid.org/0000-0001-6567-2877), Scopus ID [7004943696](https://scopus.com/authorid/7004943696), Researcher ID [E-3197-2017](https://orcid.org/E-3197-2017); e-mail a.kalashnik@ksc.ru

Information about the author

Anatoly I. Kalashnik – Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, Mining Institute of the Kola Scientific Center of the RAS, Apatity, Murmansk region, Russian Federation; ORCID [0000-0001-6567-2877](https://orcid.org/0000-0001-6567-2877), Scopus ID [7004943696](https://scopus.com/authorid/7004943696), Researcher ID [E-3197-2017](https://orcid.org/E-3197-2017); e-mail a.kalashnik@ksc.ru

Поступила в редакцию	29.09.2023	Received	29.09.2023
Поступила после рецензирования	20.03.2024	Revised	20.03.2024
Принята к публикации	01.04.2024	Accepted	01.04.2024