



**ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ТРУБКИ “МИР” НА ПРИМЕРЕ КОНТРОЛЬНО-СТВОЛОВЫХ СКВАЖИН**

И. Б. Бокий, Л. Н. Полякова, Н. М. Шерстюк

Институт “Якутнiproalmaz” АК “АЛРОСА” (ПАО)

E-mail: bokij.i@yandex.ru, PolyakovaLN@alrosa.ru, SerstyukNM@alrosa.ru,
ул. Ленина 39, г. Мирный 678175, Россия

Проведен сравнительный анализ прочностных характеристик горных пород в талом и мерзлом состояниях для новых контрольно-стволовых скважин 309, 310 месторождения трубки “Мир”. Представлены исследуемые значения физико-механических характеристик.

Горные породы, физико-механические свойства, прочностные характеристики, мерзлое состояние

**STRENGTH CHARACTERISTICS OF ROCKS OF KIMBERLITE PIPE MIR
BY THE EXAMPLE OF PILOT HOLES**

I. B. Bokiya, L. N. Polyakova, and N. M. Sherstyuk

Yakutniproalmaz Institute, ALROSA OJSC,

E-mail: bokij.i@yandex.ru, PolyakovaLN@alrosa.ru, SerstyukNM@alrosa.ru
ul. Lenin 39, Mirny 678175, Russia

A comparative analysis of strength characteristics of rocks in the thawed and frozen states for new pilot holes 309, 310 of kimberlite pipe Mir was carried out. The values of physical and mechanical characteristics under study are presented.

Rocks, physical and mechanical properties, strength characteristics, frozen state

Проблема обеспечения эффективности горного производства при отработке алмазородных месторождений Западной Якутии неразрывно связана с наличием криолитозоны. Для решения проблемы добычи полезных ископаемых необходимо достаточно глубоко понимать процессы, которые происходят в верхних слоях земной коры, знать физико-механические свойства горных пород, характер их изменения, влияние температуры на свойства массивов горных пород [1]. В данной работе исследовалось влияние низких температур на прочностные характеристики вмещающих пород месторождения трубки “Мир”.

Изучение свойств многолетнемерзлых пород на объектах АК “АЛРОСА” началось с 1961 г. с исследований прочностных свойств горных пород карьера трубки “Мир”. При испытании мерзлых и талых мергелей и алевролитов установлено, что для алевролитов угол внутреннего трения не меняется в зависимости от мерзлого или талого состояния. Величина сцепления у талых образцов мергелей и алевролитов составляет 0.5–0.7 от сцеплений мерзлых пород. По результатам исследований авторами сделан вывод, что различие в прочностных свойствах талых и мерзлых образцов пород возникает при уровне их влажности не менее 5 % [2]. Проведены также испытания доломитистых известняков, доломитов и доломитизированных песчаников, отобранных из борта карьера “Мир” на отметках +140 ÷ –200 м в интервале температур 25 ÷ –35°C при влажности до 5 % и получены зависимости предела прочности на одноосное сжатие от влажности и температуры [3].

Прочностные характеристики горных пород в мерзлом состоянии на основе материалов исследований кимберлитовых месторождений трубок “Мир” и “Айхал” приведены в работе [4]. Горные породы месторождения трубки “Юбилейная” исследовались на растяжение и сжатие в талом и мерзлом состояниях в лабораторных условиях, а на сжатие — в полевых. Сравнение прочности перекрывающих и вмещающих пород в мерзлом и талом состояниях показало, что у мерзлых пород она выше чем у талых: у песчаников и алевролитов наблюдалось наибольшее различие — в три и более раза, у мергелей и известняков — в 1.2–1.7 раза, у доломита при малой влажности — незначительное.

Лабораторные испытания прочностных свойств в мерзлом и талом состояниях вмещающих пород трубки “Ботубинская” проводилось на керновом материале геомеханических скважин №№ 1ГМ, 2ГМ и 4ГМ на глубине 600 м. Материалы проб — преимущественно доломиты, известняки, мергели и алевролиты. Установлено, что увеличение прочностных характеристик в мерзлом состоянии по сравнению с талым находится в диапазоне 1.03–1.65, максимальное получено для алевролитов, мергелей, глинистых известняков и равно 1.46–1.65 [5].

Геологическое описание месторождения. В 2020–2021 гг. в лабораторных условиях изучались образцы керна скважин 309 и 310 в талом и мерзлом состояниях, пробуренных на северном борту карьера “Мир”. Исследуемый район находится в области залегания многолетнемерзлых пород. Положение нижней границы мерзлой зоны в районе трубки “Мир” проходит на глубине 300–335 м (абс. отм. +2.5 м), нулевая изотерма — на глубине 755–780 м (абс. отм. –420/–480 м). Основной гидрогеологический объект — подмерзлотный метегеро-ичерский водоносный комплекс, кровля которого считается подошвой многолетнемерзлых пород. Кимберлитовая трубка месторождения является водупором и внутри коллекторов не имеет. Воды комплекса напорные, величины напора в естественных статических условиях составляли до 220 м. По химическому составу воды комплекса хлоридно-натриевые с минерализацией от 90 до 150 г/л.

Трубка “Мир” представляет собой субвертикальное рудное тело овальной формы в плане и характерными размерами осей примерно 370 и 120 м с глубиной разведанных запасов 1650 м, сложена однообразными по составу кимберлитовыми брекчиями. Отложения нижнего кембрия представлены сульфатно-галогенно-карбонатными породами, расчлененными на пять свит (снизу вверх): нелбинскую, юрегинскую, эльгянскую, толбачанскую, олекминскую и чарскую. Кроме того, в состав этой толщи входит нижняя часть ичерской свиты нижнего-среднего кембрия. Мощные прослои каменной соли отмечаются в разрезах нелбинской, юрегинской, толбачанской и чарской свит. Отложения среднего кембрия имеют известковисто-доломитовый состав. По литологии они разделены на ичерскую и метегерскую свиты. Верхнекембрийские отложения в районе месторождения заканчивают разрез и выходят на дневную поверхность. Среди них выделяют холомолохскую и мирнинскую свиты. Для первой характерен алевроито-глинистый состав, для второй — карбонатно-глинистый. В отобранных для лабораторных испытаний образцах керна горных пород отмечается неоднородность, слоистость, трещиноватость по наслонениям, некоторые образцы керна имеют кавернозность.

Из геологического описания керна скважин следует: текстура массивная и слоистая, слоистость обусловлена наличием прослоев глинистых разновидностей, слоистость субгоризонтальная, неравномерная; трещиноватость сильная до 8–10 трещин на 1 п. м. Трещины имеют горизонтальную и субвертикальную 90–70° ориентацию, трещины закрытые шероховатые. Минерализованные трещины заполнены гипсом и солью; кусковатость выхода керна с глубиной не уменьшается и достигает до 15 кусков на 1 п. м.

Сравнение прочностных характеристик контрольно-стволовых скважин. Контрольно-стволовые скв. 303–305, 309–310 расположены в северной части месторождения трубки “Мир” в непосредственной близости друг от друга. Распределение прочностных характеристик по контрольно-стволовым скв. 303–305 и 309 по интервалам, соответствующим геологическим свитам, показаны на рис. 1. Различия данных распределений находятся в пределах статистической погрешности, что определяется горизонтальным залеганием слоев горных пород. Средние значения пределов прочности горных пород на сжатие и растяжение по скв. 309, 310 практически одинаковы и равны 42,3, 40,4 и 4,1, 3,7 МПа соответственно.

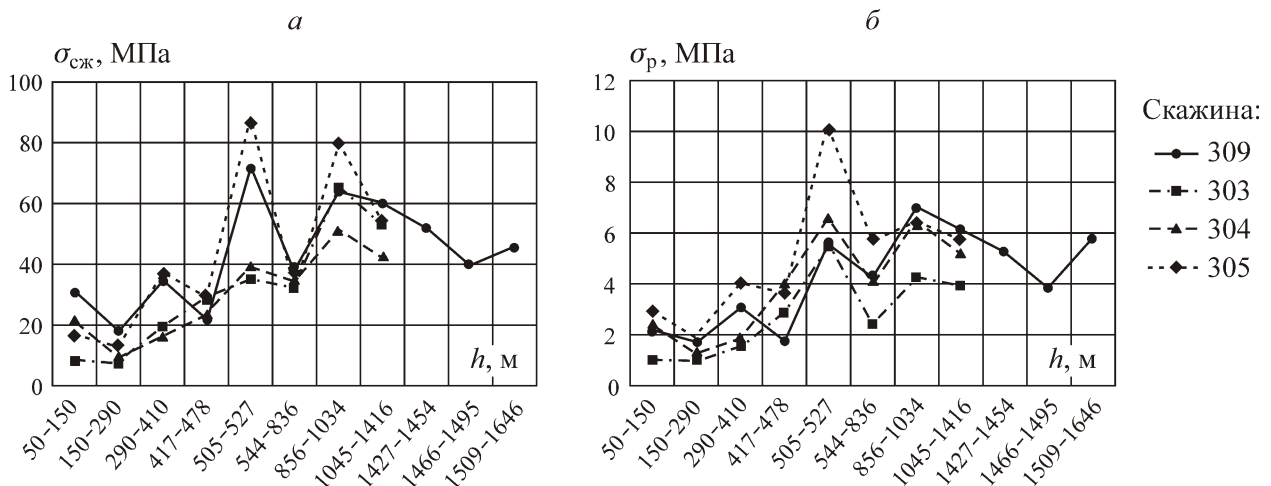


Рис. 1. Распределение прочностных характеристик по контрольно-стволовым скважинам месторождения трубки “Мир”: *a* — при одноосном сжатии; *б* — при одноосном растяжении

Так как большие прослои каменной соли отмечаются в толбачанской и чарской свитах, то их влияние на средние прочностные характеристики значительно. Сравнение среднего значения прочности вмещающих пород по интервалам с учетом и без учета солей и процентное содержание соли приведено на рис. 2.

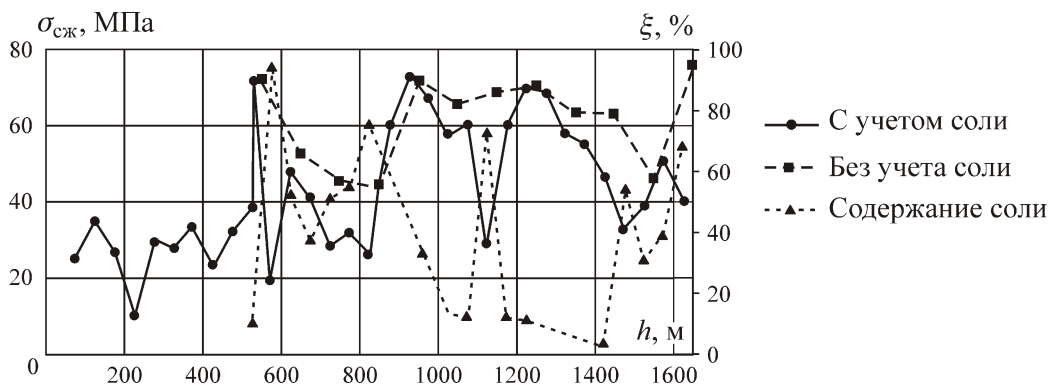


Рис. 2. Зависимость распределения среднего значения предела прочности при сжатии по интервалам от содержания солевых прослоев

Сравнительный анализ прочностных характеристик горных пород в талом и мерзлом состояниях осуществлен на примере скв. 310. Рассмотрены зависимости пределов прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и растяжение σ_r от влажности и литологии с учетом области многолетнемерзлых пород. Исследования для солевых пород не проводились. В таблице приведены пределы прочности в талом и мерзлом состояниях по литологическим разностям и статистические данные характеристик.

Зависимости предела прочности в талом и мерзлом состояниях от влажности и литологии горных пород

Литология	Интервал, м	Характеристика	Влажность, %	Предел прочности, МПа			
				на сжатие		на растяжение	
				талое	мерзлое	талое	мерзлое
Мергель, алевролит	50 – 400	Среднее	7.35	12.6	14.3	1.01	1.59
		Максимум	10.44	13.6	16.9	1.53	0.62
		Минимум	4.86	8.4	11.36	2.61	1.04
		Коэффициент вариации, %	31	25	19	43	46
Доломит	400 – 1500	Среднее	1.2	64.1	64.5	5.28	5.41
		Максимум	4.22	90.0	94.6	8.01	7.99
		Минимум	0.26	35.3	39.9	3.10	3.25
		Коэффициент вариации, %	87	24	21	24	29
Известняк	100 – 600	Среднее	2.99	37.1	41.9	3.02	3.57
		Максимум	7.02	63.7	70.1	4.38	6.43
		Минимум	1.63	29.3	32.3	1.94	2.36
		Коэффициент вариации, %	68	33	32	33	43
Песчаник	50 – 200	Среднее	8.68	20.2	29.5	1.36	3.73
		Максимум	10.10	28.3	38.1	2.13	4.58
		Минимум	5.60	15.4	22.8	0.62	1.84
		Коэффициент вариации, %	29	26	30	43	33
Долерит	Силл	Среднее	0.34	71.9	74.2	5.63	5.81
		Максимум	0.50	86.0	93.1	8.12	7.99
		Минимум	0.29	55.3	58.3	3.03	3.29
		Коэффициент вариации, %	22	24	25	25	27

Для сравнения на рис. 3 изображены распределения прочностных характеристик в талом и мерзлом состояниях по глубине карьера в среднем по интервалам без учета прочностных характеристик солей и зависимости их отношения σ_M/σ_T от влажности.

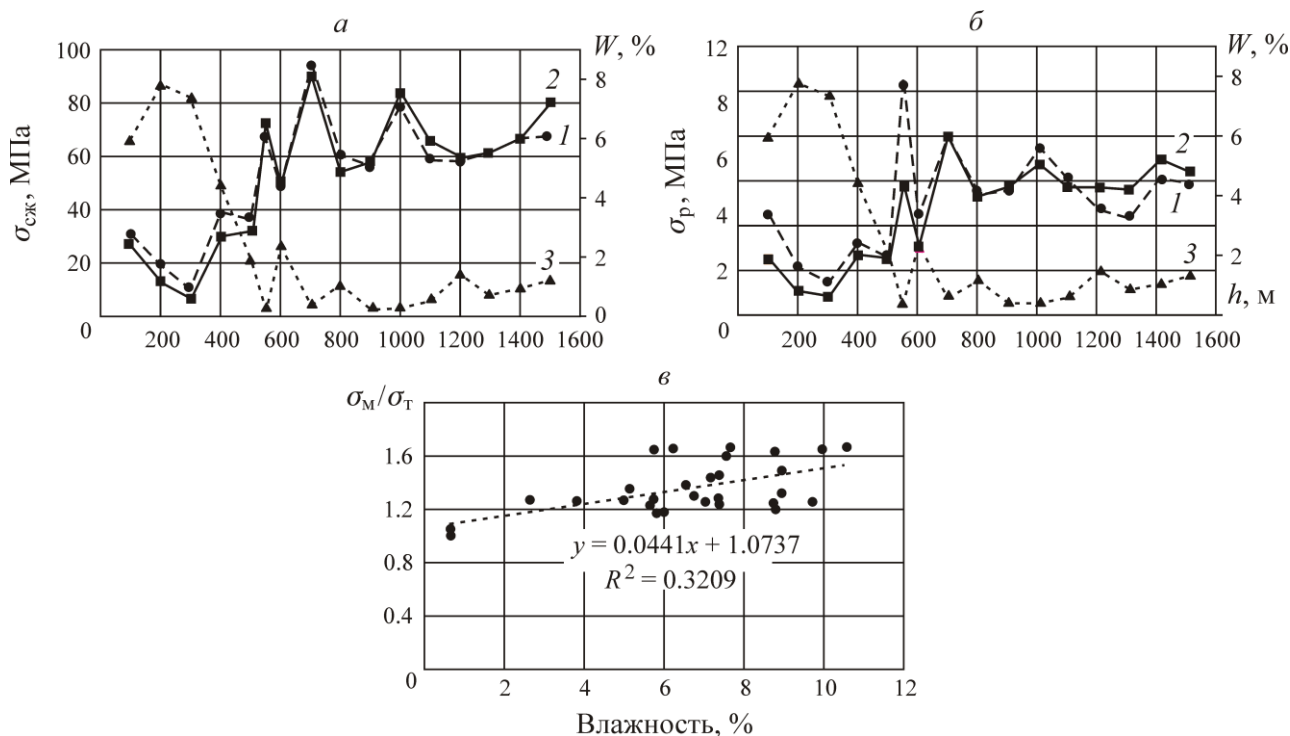


Рис. 3. Зависимость распределения прочности в талом и мерзлом состояниях и влажности от глубины карьера по скв. 310: *а* — при сжатии; *б* — при растяжении; отношение предела прочности при сжатии в мерзлом и талом состояниях от влажности (*в*) (*1* — мерзлое состояние, *2* — талое состояние, *3* — влажность)

Отмечено, что наибольших значений зависимость прочностных характеристик в талом и мерзлом состояниях достигает в области залегания многолетнемерзлых пород, нижняя граница которой проходит на глубине 335 м. Значения прочностных характеристик горных пород в мерзлом состоянии превышают значения в талом состоянии в зоне отрицательных температур, а на глубине ниже 780 м — не превышают значений в талом состоянии.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования прочностных свойств горных пород месторождения трубки “Мир” в талом и мерзлом состояниях показали, что распределения прочностных характеристик по контрольно-стволовым скважинам 303, 304, 305 и 309, 310 по интервалам, соответствующим геологическим свитам, находятся в пределах статистической погрешности. Прослой каменной соли достигают мощности в толбачанской и чарской свитах до 50 м при средних значениях 48 и 61 %. Среднее значение предела прочности при одноосном сжатии составило 18.7 МПа, при одноосном растяжении в талом состоянии — 1.1 МПа. Среднее значение предела прочности горных пород по скважинам 309, 310 при одноосном сжатии в талом состоянии — 49.1 МПа, в мерзлом — 53.8 МПа; при одноосном растяжении в талом состоянии — 4.5 МПа, в мерзлом — 5.1 МПа. Наибольшее различие в прочностных характеристиках горных пород в мерзлом и талом состояниях наблюдается в зоне многолетнемерзлых пород при их отношении $\sigma_M / \sigma_T = 1.65$. Получена корреляционная зависимость этого отношения от влажности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Glozman G. R.** Investigations of deformations of slopes of ledges, composed of non-permafrost rocks and measures to prevent them, Abstract of Cand. Tech. Sci., Leningrad, Leningrad Mining Institute, 1968, 17 pp. [Глозман Г. Р. Исследования деформаций откосов уступов, сложенных многолетнемерзлыми породами и меры по их предотвращению: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛГИ, 1968. — 17 с.]
2. **Ermakov I. I.** Investigation of the stability of the boards of quarries of round and oval shape in permafrost conditions, Synopsis of Cand. Tech. Sci., Leningrad, Leningrad Mining Institute, 1966. [Ермаков И. И. Исследование устойчивости бортов карьеров круглой и овальной формы в условиях многолетнемерзлых пород: автореф. ... дис. канд. техн. наук — Л.: ЛГИ, 1966.]
3. **Kozeev A. A., Izakson V. U., and Zvonarev N. K.** Thermo-geomechanics of diamonds deposits, Novosibirsk, 1995, 245 pp. [Козеев А. А., Изаксон В. Ю., Звонарев Н. К. Термо- и геомеханика алмазных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1995. — 245 с.]
4. **Methodological manual** for determining the slope angles of the benches and the slope angles of the quarries, composed of permafrost, Leningrad, Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying (VNIMI), 1972, 58 pp. [Методическое пособие по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 58 с.]
5. **Bokiy I. B., Kuznetsova K. V., and Sherstyuk N. M.** Comparative analysis of the strength characteristics of mountain breeds at the deposits of “ALROSA” OJSC in thorough and permafrost states, Fundamental and Applied Mining Science, 2019, no, 2, С. 17–21. [Бокий И. Б., Кузнецова К. В., Шерстюк Н. М. Сравнительный анализ прочностных характеристик горных пород на месторождениях АК “АЛРОСА” (ПАО) в талом и мерзлом состояниях // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — № 2. — С. 17–21.]