



**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД  
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АК “АЛРОСА” (ПАО) В ТАЛОМ И МЕРЗЛОМ СОСТОЯНИЯХ**

**И. Б. Бокий, К. В. Кузнецова, Н. М. Шерстюк**

*Институт “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” (ПАО),  
ул. Ленина 39, г. Мирный 678171, Республика Саха (Якутия), Россия*

Выполнены лабораторные испытания физико-механических свойств вмещающих пород трубки “Ботуобинская” АК “АЛРОСА” по трем скважинам глубиной 600 м. Дана оценка прочностных характеристик горных пород в талом и мерзлом состояниях. Приведены результаты исследований различных литотипов горных пород и установлены зависимости их прочностных характеристик от влажности.

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

**COMPARATIVE ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS  
OF THAWED AND FROZEN ROCKS AT PJSC ALROSA DEPOSITS**

**I. B. Boki, K. V. Kuznetsova, and N. M. Sherstyuk**

*“Yakutniproalmaz” Institute, Public Joint Stock Company “ALROSA” (PJSC),  
ul. Lenina, 39, Mirny 678171, Republic of Sakha (Yakutia), Russia*

Laboratory tests of the physico-mechanical properties of enclosing rocks of the “Botuobinskaya” pipe are carried out at PJSC “ALROSA” in three wells 600 m in depth. The strength characteristics of rocks in thawed and frozen states are estimated. The research results of various lithotypes of rocks are presented and the dependences of their strength characteristics on moisture are found.

*Rocks, physico-mechanical properties, strength characteristics, frozen state*

В настоящее время существует мало работ, в которых исследуются прочностные характеристики многолетнемерзлых скальных и полускальных пород [1–6]. Однако следует заметить, что 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 было 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, в результате чего сделан вывод, что различие в прочностных свойствах талых и мерзлых образцов пород возникает при уровне их влажности не менее 5 % [3].

Более поздние исследования [1] показали, что даже незначительное изменение влажности скальных пород (в пределах 0.3–0.7 %) существенно влияет на их прочность. Отношение прочности на сжатие мерзлых и талых образцов диабазов при влажности 0.5–0.7 % составило для более прочных пород 1.31, для менее прочных — 1.31–4.72.

В работе [4] также отмечено большое влияние влажности на прочность пород в мерзлом состоянии — прочность пород в талом и мерзлом состояниях изменяется даже при незначительной влажности. Существенные изменения прочностных и деформационных характеристик

наблюдаются при переходе пород из талого в мерзлое состояние при температуре от  $0 \div -5$  °С. В [5] для плотных известняков предложена формула, связывающая прочность образцов на сжатие в мерзлом и талом состоянии для скальных и полускальных пород с влажностью до 5 %.

Из анализа результатов данных работ следуют неоднозначные выводы: прочность скальных пород (диабазов) практически при нулевой влажности в мерзлом состоянии намного выше чем в талом; значительное линейное возрастание прочностных характеристик в мерзлом состоянии наблюдается при изменении влажности в интервале от 1 до 5 %.

Наиболее полное представление о физико-механических свойствах вмещающих пород получено для трубки “Ботуобинская” в результате обработки лабораторных испытаний керновых проб геомеханических скважин 1ГМ, 2ГМ и 4ГМ глубиной 600 м в 2012–13 гг.

В качестве материала проб выбраны преимущественно карбонатные породы (доломиты, известняки) и алевриты. Исследования выполнены институтом “Якутнипроалмаз” АК “АЛРОСА” (ПАО) совместно с Институтом горного дела Севера СО РАН. Было изготовлено около 5000 образцов. Эксперименты проводили в термокамере при температуре  $-4$ °С. Результаты исследований прочностных характеристик вмещающих пород трубки “Ботуобинская” представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Средние значения прочностных характеристик вмещающих пород

Номер скважины	Талое состояние				Мерзлое состояние			
	$\sigma_c$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\varphi$ , град	$C$ , МПа	$\sigma_c$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\varphi$ , град	$C$ , МПа
1ГМ	50.5	3.8	39.5	15.6	60.42	4.15	39.5	18.8
2ГМ	50.9	4.6	37.5	14.7	75.62	4.88	39.7	23.4
4ГМ	48.8	3.8	38.7	14.6	74.73	5.03	39.4	22.8

Распределение прочностных характеристик в талом и мерзлом состояниях по скважинам 1ГМ, 2ГМ, 4ГМ показано на рис. 1, 2.

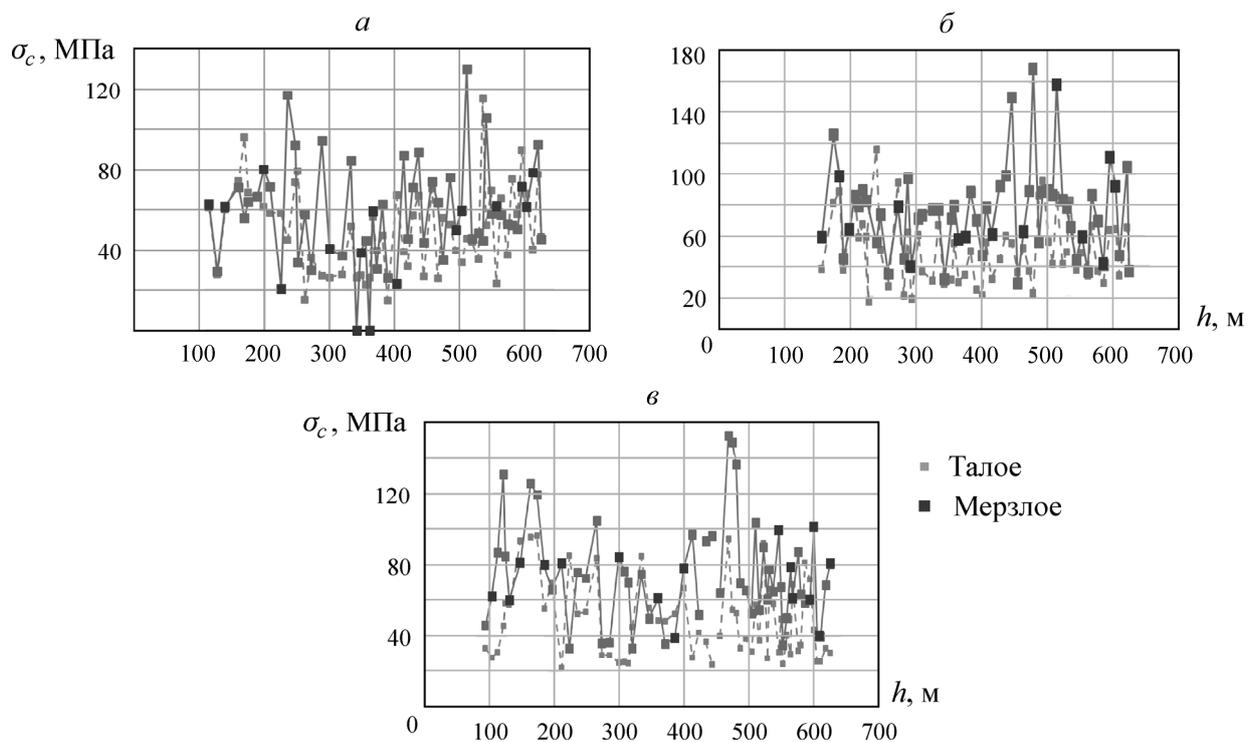


Рис. 1. Распределение пределов прочности на сжатие в талом и мерзлом состояниях по скважинам: а — 1ГМ; б — 2ГМ; в — 4ГМ

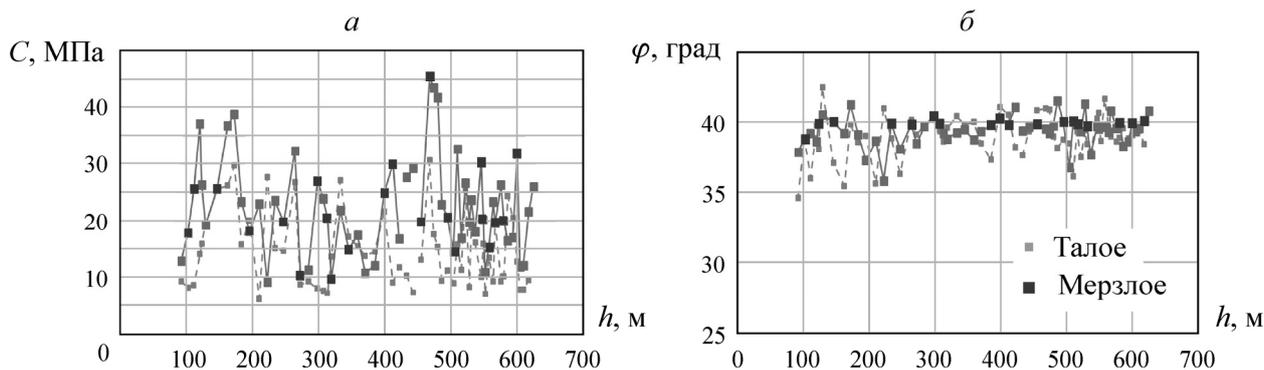


Рис. 2. Распределение прочностных характеристик в талом и мерзлом состояниях по скважине 4ГМ: а — условное сцепление; б — угол внутреннего трения

Среднее значение предела прочности при одноосном сжатии в талом состоянии для всех скважин практически одинаково — порядка 50 МПа при коэффициенте вариации 26 %. Среднее значение влажности горных пород — 3.9 % (диапазон изменений 0.22 – 5.99), объемный вес — 2.5 т/м<sup>3</sup> (диапазон изменений 2.32 – 2.74). Сравнение количества превышений предела прочности при одноосном сжатии к общему количеству испытаний при различных отношениях пределов прочности в мерзлом и талом состояниях приведено в табл. 2. Общее количество испытаний по каждой скважине равнялось 55.

ТАБЛИЦА 2. Отношение количества превышений предела прочности на одноосное сжатие в мерзлом состоянии  $\sigma_c^M$  в сравнении с талым  $\sigma_c^T$  к общему количеству испытаний

Номер скважины	Отношение пределов прочности $\sigma_c^M / \sigma_c^T$		
	более 1.2	более 1.3	более 1.5
1ГМ	0.81	0.75	0.47
2ГМ	0.79	0.72	0.49
4ГМ	0.91	0.74	0.53

Видно значительное превышение прочностных свойств в мерзлом состоянии по сравнению с талым, однако корреляционной зависимости этого превышения от влажности выявлено не было (рис. 3). Сравнение пределов прочности на одноосное сжатие литологических разностей горных пород представлено в табл. 3. Максимальное отношение прочностных характеристик наблюдается для алевролитов, глинистых и доломитистых известняков по скважинам 2ГМ и 4ГМ.

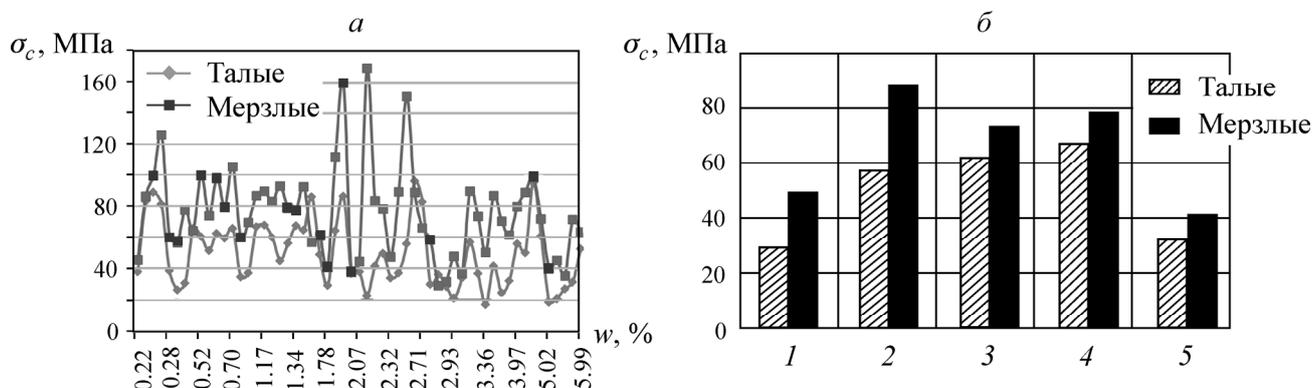


Рис. 3. Зависимости предела прочности на одноосное сжатие: а — от влажности; б — литологии горных пород по скважине 2ГМ (1 — алевролит красновато-коричневый; 2 — известняк доломитовый; 3 — доломит; 4 — известняк глинистый; 5 — мергель доломитовый)

ТАБЛИЦА 3. Сравнение прочностных литологических разностей горных пород по скважинам 1 ГМ, 2 ГМ, 4 ГМ

Номер скважины	Порода	Предел прочности на сжатие, МПа		$\sigma_c^M / \sigma_c^T$
		$\sigma_c^T$	$\sigma_c^M$	
1 ГМ	Известняк	67.00	78.00	1.16
	Доломит, известняк, алевролит	48.80	66.00	1.35
	Алевролит	34.17	38.41	1.12
	Известняк, алевролит	72.00	57.00	0.79
	Мергель, алевролит, доломит	55.28	57.20	1.03
2 ГМ	Алевролит	29.65	49.00	<b>1.65</b>
	Известняк доломитистый	56.72	87.06	<b>1.54</b>
	Доломит	61.36	72.00	1.17
	Известняк глинистый	66.21	77.00	1.16
	Мергель доломитистый	33.03	41.50	1.26
4 ГМ	Алевролит известковистый	40.02	65.06	<b>1.63</b>
	Алевролит	55.64	60.27	1.08
	Известняк глинистый, доломитистый	57.54	93.32	<b>1.62</b>
	Известняк	48.56	63.00	1.30
	Мергель и доломит	43.63	63.73	1.46
	Аргиллит известковистый	49.20	67.10	1.36

## ВЫВОДЫ

Результаты анализа показали значительное превышение прочностных свойств горных пород в мерзлом состоянии по сравнению с талым. При отношении  $\sigma_c^M / \sigma_c^T > 1.5$  количество подобных случаев составило около 50 % от общего числа испытаний. Максимальное отношение прочностных характеристик горных пород в мерзлом по и талом состоянии получено для алевролитов, а также глинистых и доломитистых известняков и изменяется в пределах 1.62 – 1.65. Установление корреляционных связей прочностных характеристик горных пород в мерзлом и талом состоянии требует проведения детальных исследований показателей, зависящих от пористости и структурно-минералогического строения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Glozman G. R.** Investigations of deformations of slopes of ledges composed of non-permafrost rocks and measures to prevent them, Synopsis of Cand. Tech. Sci. Thesis, Leningrad, LGI, 1968 [Глозман Г. Р. Исследования деформаций откосов уступов, сложенных многолетнемерзлыми породами и меры по их предотвращению: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛПИ, 1968.]
2. **Rozenbaum M. A.** Geomechanical fundamentals of rock pressure management in the development of coal deposits in the permafrost zone. Synopsis of Dr. Tech. Sci., St. Petersburg, VNIMI, 1996, 362 pp. [Розенбаум М. А. Геомеханические основы управления горным давлением при разработке угольных месторождений в зоне многолетней мерзлоты: дис. ... д-ра. техн. наук. — Л.: ВНИИМИ, 1972. — СПб.: ВНИИМИ, 1996. — 362 с.]

3. **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. Thesis, Leningrad, LGI, 1966 [**Ермаков И. И.** Исследование устойчивости бортов карьеров круглой и овальной формы в условиях многолетнемерзлых пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛГИ, 1966.]
4. **Kozeev A. A., Izakson V. U., and Zvonarev N. K.** Thermo-geomechanics of diamonds deposits, Novosibirsk, Nauka, 1995, 245 pp. [**Козеев А. А., Изаксон В. Ю., Звонарев Н. К.** Термо-геомеханика алмазных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1995. — 245 с.]
5. **Methodological manual** for determining the slope angles of the benches and the slope angles of the quarries composed of permafrost, Leningrad, VNIMI, 1972, 58 pp. [**Методическое пособие** по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 58 с.]
6. **Rules** for ensuring the stability of slopes on coal mines. Agreed with the Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation, Approved by the Gosgortekhnadzor RF, St. Petersburg, VNIMI, 1998, 208 pp. [**Правила** обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. Согласовано с Министерством топлива и энергетики РФ. Утверждено Госгортехнадзором РФ. — СПб: ВНИМИ, 1998. — 208 с.]