

## О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород

Харисов Т. Ф.<sup>1\*</sup>, Панжин А. А.<sup>1</sup>, Харисова О. Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: timur-ne@mail.ru

### Реферат

**Введение.** Неоднородность массива горных пород обуславливает необходимость постоянного и оперативного контроля его изменяющегося состояния и характеристик в процессе ведения горных работ. Одним из основных параметров массива, исследование которого выполнено в данной работе, является предел прочности на сжатие. Основным способом определения прочностных свойств горных пород в настоящее время являются лабораторные испытания подготовленных образцов с помощью прессов. Одним из альтернативных способов оперативного измерения предела прочности геоматериалов является метод упругого отскока с применением склерометра (молоток Шмидта).

**Методика проведения исследований.** Объектом исследования являются породы прибортового массива Джетыгаринского карьера, где был отобран штучный материал для испытаний. Определение предела прочности производилось основным и альтернативным методами.

**Результаты исследований.** Результаты лабораторных испытаний, выполненных на прессах, показали некоторое расхождение полученных значений с показаниями молотка Шмидта. Однако стоит отметить, что результаты, полученные в лабораторных условиях, являются наиболее точными и достоверными. Расхождение разными методами полученных данных обусловлено наличием неоднородности структуры и текстуры исследуемых скальных пород. После сравнительного анализа и статистической обработки данных для различных типов пород Джетыгаринского массива установлены градуировочные зависимости и выделены коэффициенты перехода прочности на сжатие от результатов показаний склерометра к лабораторным значениям.

**Ключевые слова:** предел прочности пород на сжатие; молоток Шмидта; склерометр; массив; образцы; штуч; лабораторные испытания.

**Введение.** Неоднородность горно-геологических, геомеханических, гидрогеологических и других условий массива обуславливает необходимость постоянного оперативного контроля его изменяющегося состояния и характеристик в процессе ведения горных работ [1–5].

Одним из основных параметров массива горных пород, характеризующих его состояние и устойчивость, в том числе в рамках рейтинговых систем оценки (GSI, RMR, MRMR и др.), является предел прочности при одноосном сжатии [6–8].

**Методика проведения исследований.** Основным способом определения прочностных свойств горных пород в настоящее время являются лабораторные методы. Однако они характеризуются трудоемкостью, невозможностью быстрого получения результатов, особенно в постоянно меняющихся горно-геологических условиях, необходимостью наличия большого количества сложного и дорогостоящего оборудования.

Одним из альтернативных способов оперативного измерения предела прочности геоматериалов является метод упругого отскока с применением склерометра (молоток Шмидта). Данный метод широко используется для контроля прочности бетона в промышленном и гражданском строительстве. В последнее время он нашел применение в горном деле для контроля прочности скальных и полускальных пород [9–10].

Применение данного экспресс-метода позволяет существенно снизить общие затраты, облегчить и ускорить контроль прочности пород, слагающих массив. Этот метод позволяет производить оперативные измерения в процессе ведения горных работ и тем самым подтверждать или корректировать результаты инженерно-геологических изысканий и проектно-технических решений. Однако проблема точности и достоверности полученных результатов является актуальной и требует дополнительных исследований.

Сравнительный анализ результатов лабораторного и натурального экспресс-метода (молоток Шмидта) был произведен в рамках научно-исследовательской работы по определению и актуализации физико-механических свойств пород участка прибортового массива Джетыгаринского карьера АО «Костанайские минералы».

Отбор штuffового материала производился на бермах восточного и западного бортов (рис. 1). На основании анализа геологического строения массива месторождения был определен список пород, подлежащих лабораторным испытаниям, состоящий из 11 различных разновидностей перидотитов и серпентинитов, а также сланца и родингита.

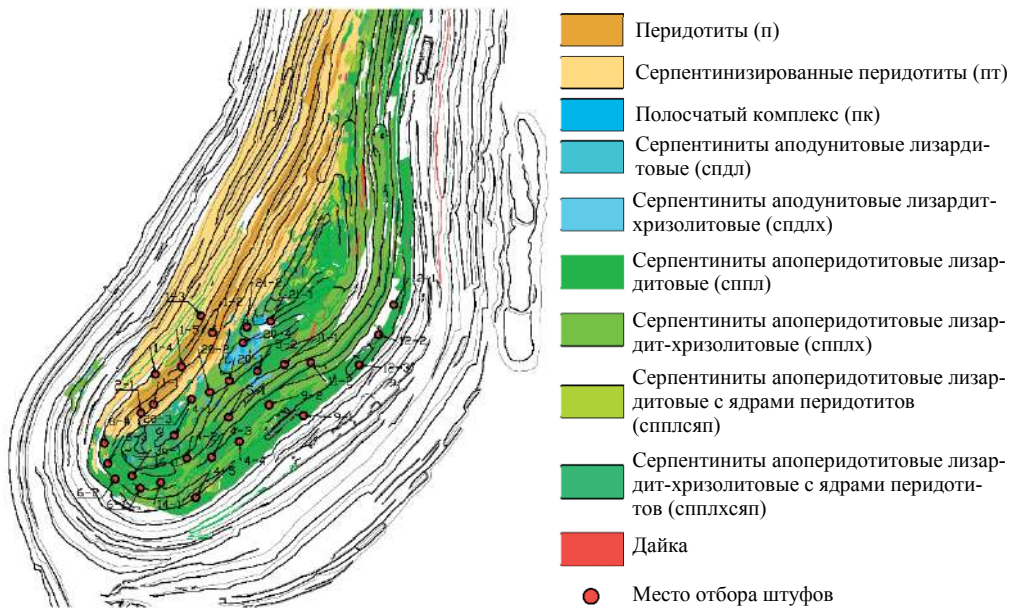


Рис. 1. Места отбора проб на Джетыгаринском карьере хризотил-асбеста  
Fig. 1. Sampling sites at Dzhetysgarinsky serpentine asbestos open pit

В процессе отбора штuffового материала также производились измерения предела прочности пород на сжатие с помощью склерометра (молоток Шмидта) Proceq RockShmidt Тип N.

Замеры выполнялись по международной методике ASTM (American Society for Testing and Materials) на локальных участках обнаженного массива согласно петрографическим особенностям отобранного штuffового материала. Сущность методики заключается в выполнении серии замеров (не менее 10) на выбранном локальном участке массива площадью 2–3 м<sup>2</sup>, при этом точечные замеры должны производиться на расстоянии хотя бы в ширину плунжера относительно друг друга.

Для получения наиболее достоверных значений места измерений выбирались исходя из отсутствия на них каких-либо трещин, отшелушиваний, нарушений и

заполнителя, чтобы склерометр упирался именно в монолитный скальный участок массива.

Из отобранного штучного материала подготавливались образцы цилиндрической формы для их дальнейшего испытания на одноосное сжатие в лабораторных условиях с помощью сервогидравлической испытательной системы Wille Geotechnik в соответствии с ГОСТ 21153.2-84. Испытанию подвергались образцы в водонасыщенном состоянии и при естественной влажности [11–13].

**Результаты определения физико-механических свойств горных пород Джетыгаринского месторождения**

**Rock physical and mechanical properties determinations at Dzhetygarinsky deposit**

Порода	Коэффициент перехода $K_n$	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа		
		Измерение склерометром	Естественная влажность	Водонасыщенное состояние
Перидотит	1,65	60,50–79,00 67,90	68,20–157,40 112,00	58,10–117,80 95,46
Полосчатый комплекс	1,03	55,50–68,50 61,55	45,90–76,20 63,58	32,40–52,20 45,14
Родингит	2,01	59,00–69,00 61,53	74,70–150,20 123,70	55,10–181,40 118,27
Серпентинит апподунитовый хризотил-лизардитовый	0,43	55,50–68,00 62,00	20,20–30,70 26,50	7,60–40,40 21,89
Серпентинизированный перидотит	1,75	62,00–70,00 65,65	46,30–128,90 114,85	37,90–114,30 102,43
Серпентинит апподунитовый лизардитовый асбестоносность	0,38	39,00–62,50 50,45	5,90–24,00 19,08	11,40–16,10 13,69
Серпентинит апоперидотит лизардитовый	0,72	64,00–72,00 67,75	25,70–74,50 48,66	22,80–71,10 38,93
Серпентинит апоперидотит хризотил-лизардитовый	1,57	65,50–81,50 76,70	68,20–166,20 120,41	50,10–110,20 79,80
Серпентинит лизардитовый оталькованный	0,50	59,00–75,50 65,10	24,40–39,10 32,41	13,90–35,30 20,35
Серпентинит лизардитовый асбестоносность	0,40	50,00–62,50 57,35	14,70–29,90 23,18	15,60–64,40 21,63
Серпентинит лизардитовый	0,76	63,00–73,50 66,25	35,80–62,30 50,37	25,70–63,10 48,53
Серпентинит апоперидотитовый	0,58	59,00–71,50 66,45	27,80–53,00 38,58	21,50–40,40 32,64
Сланец	3,66	27,50–45,50 37,75	64,80–160,50 138,24	118,80–136,40 127,23

**Результаты исследований.** Результаты измерений различными методами предела прочности горных пород Джетыгаринского месторождения в различном состоянии представлены в таблице.

При статистической обработке результатов измерений определен коэффициент вариации предела прочности на одноосное сжатие при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии образцов, который варьируется от 20,66 до 24,27 %.

Полученные значения коэффициента вариации свидетельствуют о сравнительно небольшом расхождении результатов определения физико-механических свойств пород. Статистическая обработка значений склерометра не выполнялась, так как разброс значений минимальный. Значительные отклонения (в меньшую сторону) возникали лишь при скалывании кусков породы от штафа при ударе или при падании в структурные нарушения. Такие результаты не учитывались.

Из результатов исследований можно сделать вывод, что наиболее прочными породами являются перидотиты, серпентинизированные перидотиты, родингиты и серпентиниты апшоперидотитовые хризотил-лизардитовые. Их предел прочности на одноосное сжатие достигает 157–166 МПа. Особенно низкие показатели отмечены у серпентинитов с заполнителем в виде асбеста, талька и серпофита. Также стоит отметить негативное влияние воды на прочностные характеристики исследуемых пород. Предел прочности снижается в среднем на 17–18 %.

Сравнительный анализ результатов натурных измерений, выполненных с помощью склерометра Proceq RockShmidt Тип N, с результатами лабораторных испытаний, выполненных на прессах, показал некоторое расхождение полученных значений. Однако стоит отметить, что результаты, полученные в лабораторных условиях, являются наиболее точными и достоверными.

Расхождение данных, полученных разными методами (лабораторные испытания и с помощью молотка Шмидта), обусловлено неоднородностью структуры и текстуры исследуемых скальных пород. На основании сравнительного анализа и статистической обработки данных для различных типов пород установлены градуировочные зависимости и выделены коэффициенты перехода для прочности на сжатие  $K_n$  от результатов показаний склерометра к лабораторным значениям для условий исследуемого массива (таблица).

**Выводы.** Таким образом, использование склерометра в горном деле возможно лишь для получения предварительных данных о прочностных характеристиках пород массива, так как его неоднородность влечет за собой большую погрешность результатов измерений по сравнению с однородными материалами. Важно также отметить, что предварительное выполнение тарировки используемого склерометра необходимо производить для конкретных условий каждого отдельного месторождения путем дополнительных лабораторных испытаний образцов пород.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жабко А. В. Расчет устойчивости неоднородных и анизотропных откосов // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 3. С. 22–29.
2. Ефремов Е. Ю., Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Исследование геомеханических условий Кiemбаевского карьера и выявление потенциально опасных участков // Вестник Национальной академии горных наук. 2018. № 2(3). С. 42–53.
3. Харисов Т. Ф., Харисова О. Д., Ефремов Е. Ю., Коновалова Ю. П. Исследование устойчивости бортов и уступов карьера Кiemбаевского месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 5. С. 30–39.
4. Сашурин А. Д. Геомеханические процессы и явления, определяющие безопасность и эффективность недропользования, закономерности их развития // Проблемы недропользования. 2018. № 3(18). С. 21–31.
5. Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Численное моделирование устойчивости массива в процессе разработки месторождения в сложных горно-геологических условиях // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: труды VI Междунар. конф. Екатеринбург, 2019. С. 135–143.
6. Bieniawski Z. T. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons, New York, 1989. P. 240–250.
7. Laubscher D. H. and Jakubec J. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses. In Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies (eds. W. A. Hustrulid & R. L. Bullock). Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME. 2001. P. 475–481.
8. Hoek E., Kaiser P. K. and Bawden W. F. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema, Rotterdam, 1995. P. 91–105.

9. Прокопов А. Ю., Гергарт Ю. А. Апробация и оценка точности неразрушающего экспресс-метода определения прочностных свойств породного массива в условиях реконструкции Рокского тоннеля // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 4. С. 101–107.

10. Карташов С. А., Прокопов А. Ю. Применение экспресс-метода контроля прочности скальных пород при проходке тоннелей // Механизмы управления процессами внедрения технических новшеств: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2017. С. 55–57.

11. Wu B., Xia K. Dynamic brazilian test on laurentian granite under pre-stress conditions // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2016. № 2(27). С. 3–9.

12. Усольцева О. М., Семенов В. Н., Сердюков С. В., Рыбалкин Л. А. Лабораторные исследования угольных образцов. Проблемы отбора керна // ГИАБ. 2018. № S48. С. 234–242.

13. Калачев В. А., Зайцев Д. В., Кочанов А. Н., Костандов Ю. А., Панфилов П. Е. О влиянии воды на характер растрескивания горных пород при диаметральном сжатии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2017. Т. 4. № 2. С. 53–57.

Поступила в редакцию 27 мая 2019 года

#### Сведения об авторах:

**Харисов Тимур Фаритович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений Института горного дела УрО РАН. E-mail: timur-ne@mail.ru

**Панжин Андрей Алексеевич** – кандидат технических наук, ученый секретарь Института горного дела УрО РАН. E-mail: panzhin@igduran.ru

**Харисова Ольга Дмитриевна** – младший научный сотрудник лаборатории сдвижения горных пород Института горного дела УрО РАН. E-mail: olgaheltysheva@gmail.com

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-86-91

### Some problems of the express method of rock strength determination

Timur F. Kharisov<sup>1</sup>, Andrei A. Panzhin<sup>1</sup>, Olga D. Kharisova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

#### Abstract

**Introduction.** Within the course of mining, rock massif heterogeneity calls for constant operational control of its changing state and characteristics. One key parameter of the massif under investigation is the compressive strength. Main way of rock strength properties determination currently is laboratory testing of the prepared samples by means of presses. One alternative way of geomaterials' compressive strength on-line measurement is the method of elastic rebound with a sclerometer (Schmidt's hammer).

**Research methodology.** Research object are rocks of Dzhetygarinsky pit surface massif where hand specimen were selected for testing. Compressive strength was determined by the main method and the alternative method.

**Research results.** Laboratory research results at presses have shown some discrepancy between the obtained values and Schmidt's hammer readout. However, it should be noted that the results obtained in the laboratory conditions are the most exact and reliable. Data discrepancy is caused by the presence of structural and textural inhomogeneity of the hard rock under investigation. Comparative analysis and statistical data processing for various types of rock at Dzhetygarinsky massif determined calibration curves and distinguished the transition coefficients of compressive strength from sclerometer readout to laboratory values.

**Key words:** compressive strength; Schmidt's hammer; sclerometer; massif; samples; hand specimen; laboratory research.

#### REFERENCES

1. Zhabko A. V. Stability analysis for inhomogeneous and nonisotropic slopes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2014; 3: 22–29. (In Russ.)

2. Efremov E. Iu., Panzhin A. A., Kharisov T. F., Kharisova O. D. Study of geomechanical conditions at Kiembaevsky open pit and potentially hazardous areas detection. *Vestnik Natsionalnoi akademii gornykh nauk = Bulletin of the National Academy of Mining*. 2018; 2(3): 42–53. (In Russ.)

3. Kharisov T. F., Kharisova O. D., Efremov E. Iu., Konovalova Iu. P. Research of stability of edges and benches of the Kiyembayevsky field open-pit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 5: 30–39. (In Russ.)

4. Sashurin A. D. Geomechanical processes and phenomena determining the safety and efficacy of subsoil use, regularities of their development. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2018; 3(18): 21–31. (In Russ.)

5. Kharisov T. F., Kharisova O. D. Numerical modelling of the rock mass stability in the course of mining in difficult mining-and-geological conditions. In: *Design, construction and maintenance*

*of underground facilities complexes: proceedings of the 6th International conference.* Ekaterinburg, 2019. p. 135–143. (In Russ.)

6. Bieniawski Z. T. *Engineering Rock Mass Classifications.* John Wiley & Sons, New York, 1989. P. 240–250.

7. Laubscher D. H. and Jakubec J. The MRMR rock mass classification for jointed rock masses. In: *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies* (eds. W. A. Hustrulid & R. L. Bullock). Society of Mining Metallurgy and Exploration, SME. 2001. P. 475–481.

8. Hoek E., Kaiser P. K. and Bawden W. F. *Support of Underground Excavations in Hard Rock.* Balkema, Rotterdam, 1995. P. 91–105.

9. Prokopov A. Iu., Gergart Iu. A. Testing and accuracy evaluation of the nondestructive express method of rock mass strength properties determination in the conditions of Rokksky tunnel reconstruction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2015; 4: 101–107. (In Russ.)

10. Kartashov S. A., Prokopov A. Iu. The use of the express method of hard rock strength control when driving tunnels. In: *Innovation process monitoring mechanisms of: proceedings of the International research-to-practice conference.* Ufa, 2017. P. 55–57. (In Russ.)

11. Wu B., Xia K. Dynamic brazilian test on laurentian granite under pre-stress conditions. *Vestnik Inzhenерной shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta = The FEFU: School of Engineering Bulletin.* 2016; 2(27): 3–9.

12. Usoltseva O. M., Semenov V. N., Serdiukov S. V., Rybalkin L. A. Laboratory studies of coal samples. Problems of core recovery. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal).* 2018; S48: 234–242. (In Russ.)

13. Kalachev V. A., Zaitsev D. V., Kochanov A. N., Kostandov Iu. A., Panfilov P. E. Effect of water on fracture of rocks under diametral compression. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk = Journal of Fundamental and Applied Mining Sciences.* 2017; 4 (2): 53–57. (In Russ.)

Received 27 May 2019

#### Information about authors:

**Timur F. Kharisov** – PhD (Engineering), senior researcher, Laboratory of Underground Structures Geomechanics, Institute of Mining UB RAS. E-mail: timur-ne@mail.ru

**Andrei A. Panzhin** – PhD (Engineering), scientific secretary, Institute of Mining UB RAS. E-mail: panzhin@igduran.ru

**Olga D. Kharisova** – junior researcher, Laboratory of Rock Displacement, Institute of Mining UB RAS. E-mail: olgazeltysheva@gmail.com

**Для цитирования:** Харисов Т. Ф., Панжин А. А., Харисова О. Д. О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 86–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-86-91

**For citation:** Kharisov T. F., Panzhin A. A., Kharisova O. D. Some problems of the express method of rock strength determination. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2019; 7: 86–91 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-86-91