

УДК 622.83:001.891.53

**Корнилков Сергей Викторович**  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Институт горного дела УрО РАН,  
г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [kornilkov@igduran.ru](mailto:kornilkov@igduran.ru)

**Харисов Тимур Фаритович**  
кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией геомеханики  
подземных сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [timur-ne@mail.ru](mailto:timur-ne@mail.ru)

**Масальский Николай Александрович**  
лаборант,  
лаборатория геомеханики подземных  
сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [nmasalskiy01@mail.ru](mailto:nmasalskiy01@mail.ru)

**Коптяков Дмитрий Александрович**  
научный сотрудник,  
лаборатория геомеханики подземных  
сооружений,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [koptyakov\\_d@mail.ru](mailto:koptyakov_d@mail.ru)

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПОРОД ПРИБОРТОВОГО МАССИВА  
КАРЬЕРА ПАО «УРАЛАСБЕСТ»\***

*Аннотация:*

*Данное исследование посвящено анализу прочностных и деформационных характеристик горных пород Баженовского месторождения хризотил-асбеста, имеющих ключевое значение для эффективной и безопасной разработки. Работа основана на лабораторных испытаниях образцов пяти основных литологических типов пород (габбро, перидотиты, диориты, тальк-карбонатны и серпентиниты), отобранных в 2023 – 2024 гг. Целью исследования было уточнение прочностных характеристик, необходимых для расчета параметров взрывной подготовки массива, а также сопоставление полученных результатов с данными предыдущих исследований.*

*В работе подробно описана методика подготовки образцов, включающая отбор штучного материала, изготовление цилиндрических образцов и их испытания на одноосное сжатие и растяжение. Представлены результаты анализа, демонстрирующие изменчивость прочностных свойств пород, причем наибольшая изменчивость наблюдается у серпентинитов и тальк-карбонатных пород, что связано с их структурной неоднородностью и степенью серпентинизации. Проведен сравнительный анализ полученных данных с результатами исследований 2005*

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.01.016

**Kornilkov Sergey V.**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Chief Researcher,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075, Yekaterinburg, Mamina-Sibiriyakst., 58  
e-mail: [kornilkov@igduran.ru](mailto:kornilkov@igduran.ru)

**Kharisov Timur F.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of geomechanics  
of underground structures,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [timur-ne@mail.ru](mailto:timur-ne@mail.ru)

**Masalskiy Nikolay A.**  
Laboratory Assistant,  
Laboratory of geomechanics  
of underground structures,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [nmasalskiy01@mail.ru](mailto:nmasalskiy01@mail.ru)

**Koptyakov Dmitry A.**  
Researcher,  
Laboratory of geomechanics  
of underground structures,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [koptyakov\\_d@mail.ru](mailto:koptyakov_d@mail.ru)

**RESEARCH OF THE PHYSICO-MECHANICAL  
PROPERTIES OF ROCKS  
OF THE NEARBOARD ARRAY  
OF THE QUARRY OF PJSC «URALASBEST»**

*Abstract:*

*This study is devoted to the analysis of the strength and deformation characteristics of rocks from the Bazhenovskoe chrysotile asbestos deposit, which are of key importance for an efficient and safe mining. The work is based on laboratory tests of samples of five main lithological rock types (gabbro, peridotite, diorite, talc carbonate and serpentinite), selected in 2023 – 2024. The purpose of the study was to clarify the strength characteristics necessary for calculating the parameters of explosive preparation of the array, as well as to compare the results obtained with data from previous studies.*

*The paper describes in detail the method of sample preparation, including the selection of rough material, the manufacture of cylindrical samples and their testing for uniaxial compression and tension. The results of the analysis are presented, demonstrating the variability of the strength properties of rocks, with the greatest variability observed in serpentinites and talc carbonate rocks, which is associated with their structural heterogeneity and the degree of serpentinitization. A comparative analysis of the data obtained with the results of studies conducted in 2005 and 1984 is carried out. It was revealed that the samples taken in 2023 – 2024 have slightly reduced strength characteristics, which is explained by the presence of microcracks caused by*

\*Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания № 075-00410-25 00 Г.р. № 1022040300093-0-1.5.1. Тема 3 (2025-2027).

и 1984 г. Выявлено, что образцы, отобранные в 2023 – 2024 гг., имеют несколько сниженные прочностные характеристики, что объясняется наличием микротрещин, вызванных взрывными работами. С учетом этих факторов, а также влияния параметров образцов наблюдается хорошая сходимости результатов с данными прошлых исследований. Также отмечено, что пределы прочности на сжатие и растяжение у пород с Южного карьера в некоторых случаях выше, чем у пород с Центрального карьера. В заключении делается вывод о необходимости мониторинга прочностных свойств горных пород с использованием экспресс-методов в связи с их изменчивостью при ведении горных работ.

*Ключевые слова:* Баженовское месторождение, массив горных пород, физико-механические свойства, лабораторные испытания, продольные и поперечные деформации, модуль упругости.

*blasting operations. Taking into account these factors, as well as the influence of the sample parameters, there is a good convergence of the results with the data from previous studies. It is also noted that the compressive and tensile strength limits of rocks from the Southern Quarry are in some cases higher than those of rocks from the Central Quarry. It is concluded that it is necessary to monitor the strength properties of rocks using express methods due to their variability during mining operations.*

*Key words:* Bazhenovskoye deposit, rock massif, physical and mechanical properties, laboratory tests, longitudinal and transverse deformations, elastic modulus.

### Введение

На всех этапах освоения месторождений необходимы знания о прочностных и деформационных свойствах горных пород, слагающих массив. Именно эти показатели определяют применяемые в процессе разработки технологические решения для успешного извлечения полезных ископаемых.

Основной характеристикой качества считается доля переизмельченной породы и выход негабаритных фракций во взорванной горной массе и пр. Поэтому уточнение прочностных характеристик горных пород, а также уточнение характеристики дробимости пород, изменяющих свои свойства с увеличением глубины разработки, необходимы для расчета параметров процесса взрывной подготовки массива [1–4].

В ходе выполнения работы (2023 – 2024 гг.) был проведен анализ горно-геологических условий массива Баженовского месторождения хризотил-асбеста. Отобран штучный материал основных литологических типов пород исследуемого массива (серпентинитов, перидотитов, габбро, тальк-карбонатных, диоритов). Проведение испытаний физико-механических свойств пород, слагающих прибортовой массив Баженовского карьера, проводилось в лабораторных условиях путем непосредственных определений предела прочности пород при сжатии и растяжении.

### Материалы и методы

Для исследования и актуализации показателей физико-механических свойств пород прибортового массива карьера ПАО «Ураласбест» выполнен отбор штучного материала на уступах центрального и южного карьеров в 2023 – 2024 гг. (рис. 1, 2).

На основании анализа геологического строения массива горных пород Баженовского месторождения и совместно с геологической службой карьера составлен перечень пород, подлежащих лабораторным испытаниям:

- габбро, 5 штучов;
- перидотит, 5 штучов;
- диорит, 5 штучов;
- тальк-карбонатные породы, 8 штучов;
- серпентиниты, 7 штучов.

Количество отобранных штучов определялось возможностью получения необходимого количества ядерного материала и изготовления образцов для проведения лабораторных исследований физико-механических свойств пород.

Каждый штuff был осмотрен для исключения видимых трещин, неоднородностей и включений, которые могли бы привести к неверной интерпретации результатов. Дальнейшая подготовка образцов, пригодных для определения упругих свойств, заключалась в изготовлении цилиндров правильной геометрической формы с установленными допусками при отношении длины к диаметру не менее 2. Выбуривание кернов из отобранных штuffов производилось установкой Husqvarna DMS160A с подачей воды при оборотах до 1000 в минуту. Для образования торцевых поверхностей и обеспечения их параллельности использовались камнерезная и шлифовальная установки СВК-1000 и СОТОК-1А, соответственно, при оборотах до 1000 в минуту. Все образцы были высушены в нормальных условиях для проведения испытаний в воздушно-сухом состоянии.

Согласно ГОСТ 21153.0-75 «Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний» для продолжительного хранения и транспортирования каждый штuff упаковывался в водонепроницаемую пленку с последующей его маркировкой [5].

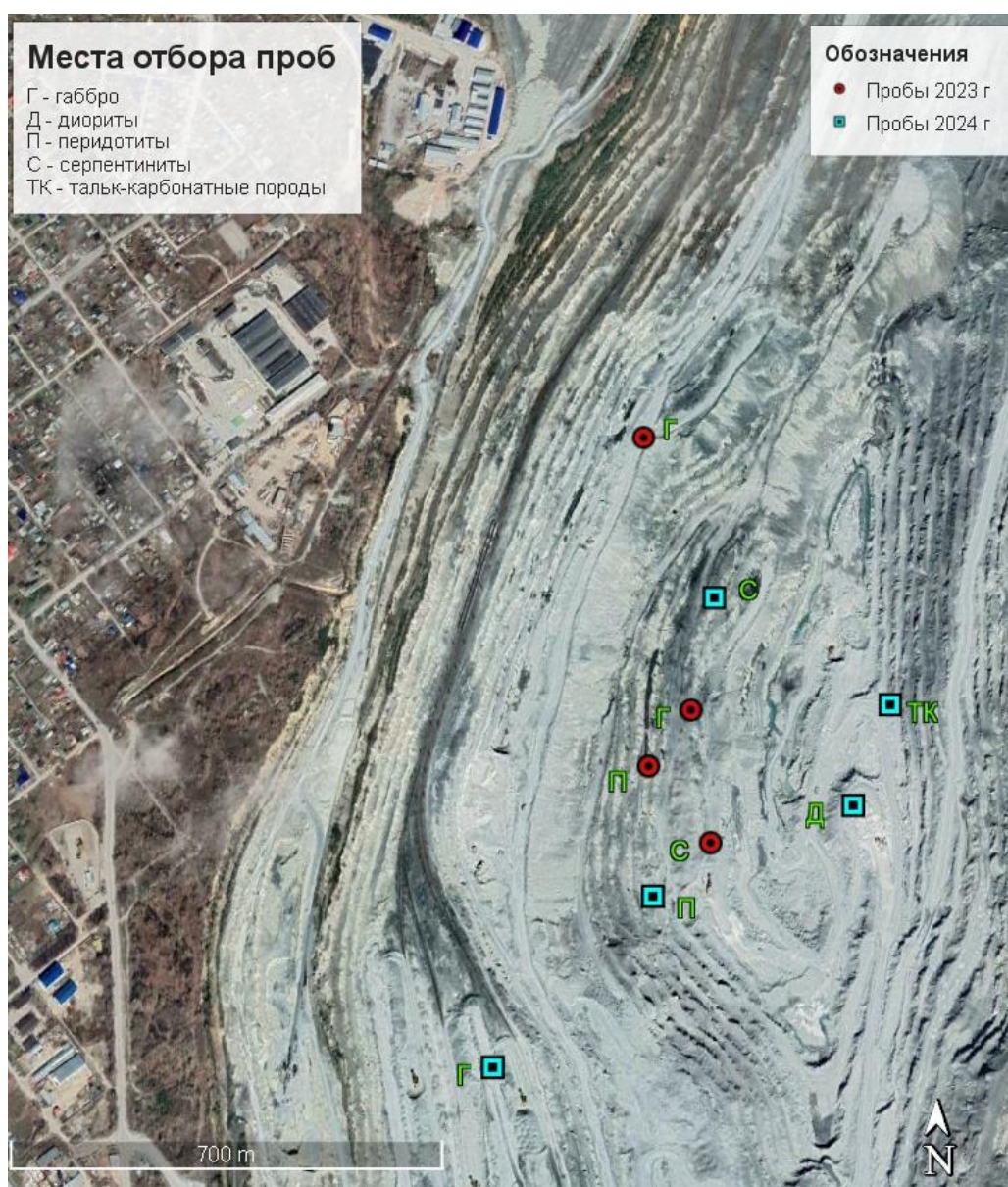


Рис. 1. Места отбора проб габбро, диоритов, перидотитов, серпентинитов, тальк-карбонатов в виде штuffового материала (Центральный карьер): синим отмечены пробы, отобранные в 2024 г., красным – в 2023 г., соответственно

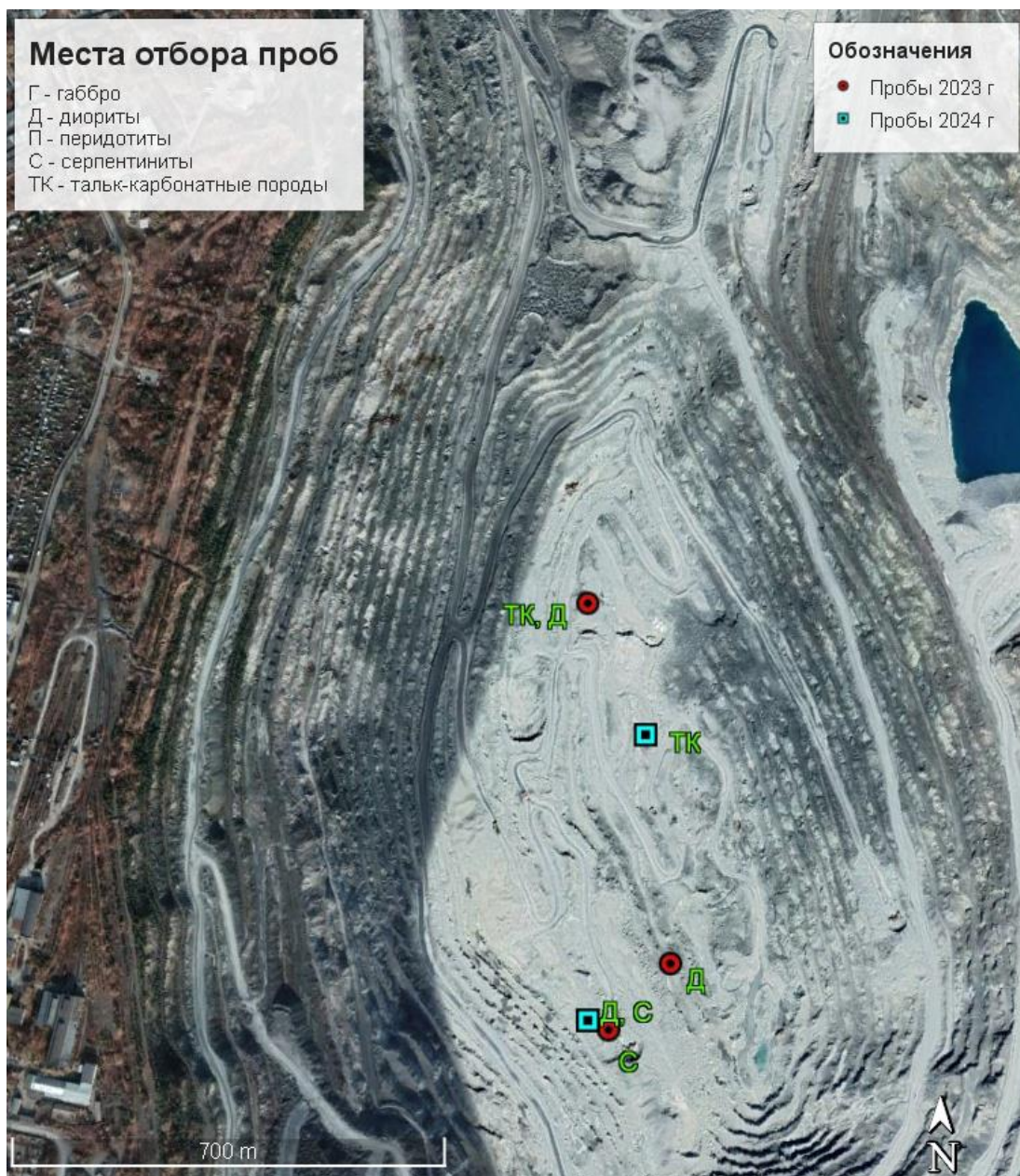


Рис. 2. Места отбора проб габбро, диоритов, перидотитов, серпентинитов, тальк-карбонатов в виде штуфового материала (Южный карьер): синим отмечены пробы, отобранные в 2024 г., красным – в 2023 г., соответственно

Испытания образцов горных пород производились с помощью комплексного оборудования, позволяющего выполнять лабораторные определения прочностных и деформационных характеристик [6].

Используемое оборудование и программный комплекс АСИС позволяют задавать необходимые параметры приложения нагрузки и фиксировать деформационные процессы, протекающие в образце. Процесс испытания отображается в виде графика зависимости вертикального напряжения по мере роста нагрузки на образец.

Контроль геометрических параметров изготавливаемых образцов производился штангенциркулем с погрешностью  $\pm 0,02$  мм.

В результате подготовки были получены и отобраны образцы правильной геометрической формы без видимых нарушений.

Образцы горной породы, имеющие механические повреждения или включения, нетипичные для рассматриваемого типа пород, отбраковывались.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» и ГОСТ 21153.3-85 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении (с Изменением N 1)» на образцах правильной геометрической формы в виде цилиндров. Методы заключаются в измерении максимальной разрушающей силы, приложенной к торцам образца через стальные плоские плиты, оснащенные сферическим шарниром, при постоянном нагружении со скоростью 1 МПа/сек и в измерении максимальной разрушающей силы, приложенной через стальные встречно направленные плиты к образующим образца при постоянном нагружении со скоростью 1 МПа/сек, соответственно.

#### Результаты исследования

Анализ полученных результатов при испытаниях на предел прочности на сжатие показал, что степень изменчивости значений по пробам не превышает 30 % по всем литологическим типам. Наименьший коэффициент вариации 13,91 % у перидотитов, максимальный – у диоритов 29,75 %.

Был произведен анализ средних значений предела прочности на сжатие и растяжение для каждой пробы. В абсолютном и относительном выражении наблюдается изменчивость прочностных свойств. При сопоставлении средних значений по пробам, отобранным на карьерах, выявлено, что предел прочности на одноосное сжатие у проб, отобранных на Южном карьере, выше у диоритов на 15,57 %, серпентинитов на 27,1 %, тальк-карбонатов на 19,39 %, чем на Центральном.

Значения предела прочности на растяжение у проб серпентинитов, отобранных на Южном карьере, выше на 32,72 %, чем на Центральном.

Результаты статистической обработки проведенных испытаний проб объединены по наименованию горных пород и представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Значения предела прочности горных пород при одноосном сжатии (2024 г.)

Наименование пород	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа				Стандартное отклонение, МПа	Стандартная ошибка, МПа	Коэффициент вариации, %	Количество образцов проб/образцов, шт.
	Минимальные	Максимальные	Среднее	Медиана				
Габбро	142,67	270,58	196,41	191,97	53,54	23,94	27,26	5/25
Диориты	177,11	331,31	218,69	188,35	65,05	29,09	29,75	5/23
Перидотиты	115,16	165,97	150,08	160,11	20,87	9,33	13,91	5/32
Серпентиниты	46,43	101,31	70,34	66,55	17,82	6,74	25,33	7/39
Тальк-карбонаты	20,57	36,90	25,62	22,67	5,87	2,22	22,91	7/40

Таблица 2

**Значения предела прочности при растяжении (2024 г.)**

Наименование пород	Предел прочности при растяжении, МПа				Стандартное отклонение, МПа	Стандартная ошибка, МПа	Коэффициент вариации, %	Количество образцов проб/ образцов, шт.
	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана				
Габбро	23,05	28,88	25,30	24,66	2,28	1,02	9,01	5/24
Диориты	17,45	22,72	20,45	20,67	2,01	0,90	9,83	5/28
Перидотиты	11,83	20,47	15,74	14,99	3,21	1,43	20,39	5/30
Серпентиниты	4,56	9,01	8,64	8,26	2,69	1,01	31,13	7/50
Тальк-карбонаты	2,86	6,73	4,64	4,42	1,32	0,50	28,45	7/42

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 1, 2, показывает, что значения пределов прочности на растяжение проб габбро и диоритов превышают значения остальных литологических типов при наименьшем коэффициенте вариации 9 – 10 %. Максимальный коэффициент вариации у проб серпентинитов и тальк-карбонатных пород 28 – 31 %. Это обусловлено, на наш взгляд, структурной неоднородностью и степенью серпентинизации.

Сравнительный анализ полученных результатов лабораторных испытаний в 2023 – 2024 гг. и ранее выполненных в 2005 и 1984 г. исследований прочностных характеристик горных пород Баженовского месторождения представлен на рис. 3, 4.

Образцы в 2023 – 2024 гг. были подготовлены из штуфового материала, отобранного из взорванной горной массы на карьере. Ведение взрывных работ обуславливает наличие микротрещин в породах. Это приводит к снижению прочностных характеристик примерно на 15 – 20 %. В 1984 г. испытываемые образцы имели иные параметры и форму согласно действующей нормативной документации, что также оказывает влияние на значения пределов прочности.

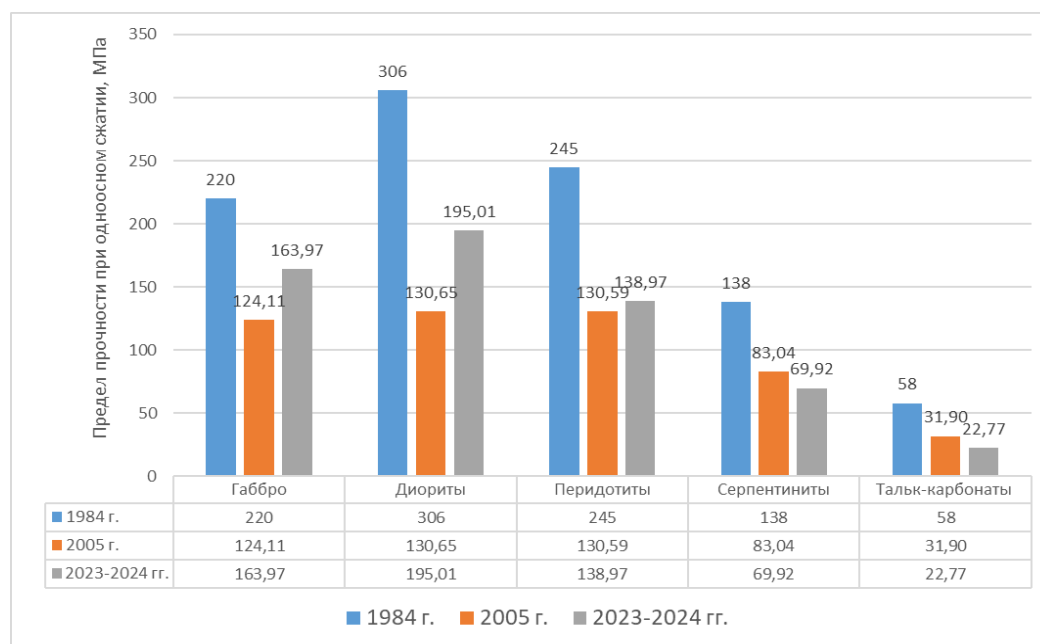


Рис. 3. Значения предела прочности на сжатие пород Баженовского месторождения, полученные в 2023 – 2024 гг., 2005 и в 1984 г. (без учета влияния параметров образцов и микротрещиноватости)

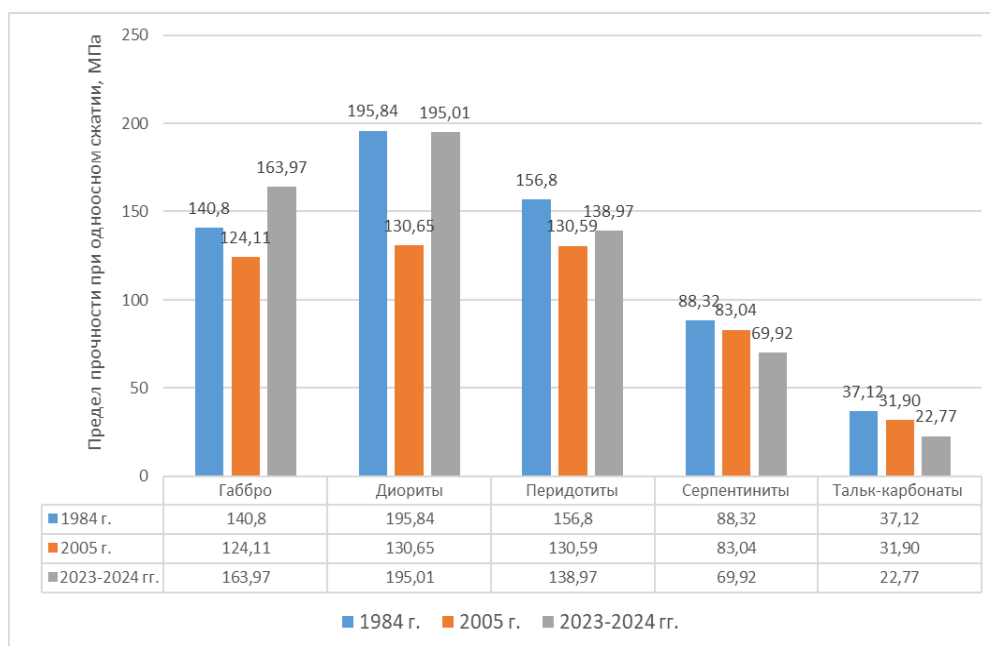


Рис. 4. Значения предела прочности на сжатие пород Баженовского месторождения, полученные в 2023 – 2024 гг., 2005 и в 1984 г. (с учетом влияния параметров образцов и микротрещиноватости)

*Сравнительный анализ результатов*

Сравнительный анализ предела прочности пород на одноосное сжатие с результатами исследований, полученными в 2005 и 1984 г. по всем литологическим типам, представлен на рис. 4. Прослеживается общая тенденция повышенных значений предела прочности (1984 г.) по всем литологическим типам.

При учете в сравнительном анализе влияния формы и параметров образцов, а также БВР (см. табл. 1) значения пределов прочности на сжатие приведенных литологий, полученные в 2023 – 2024 гг., в целом показывают высокую сходимость.

В 1984 г. значения предела прочности на растяжение для пород Баженовского месторождения не определялись. Сравнительный анализ результатов, полученных в 2023 – 2024 гг., выполнялся с результатами, полученными в 2005 г. (рис. 5).

Можно отметить высокую сходимость значений для всех литологических типов.

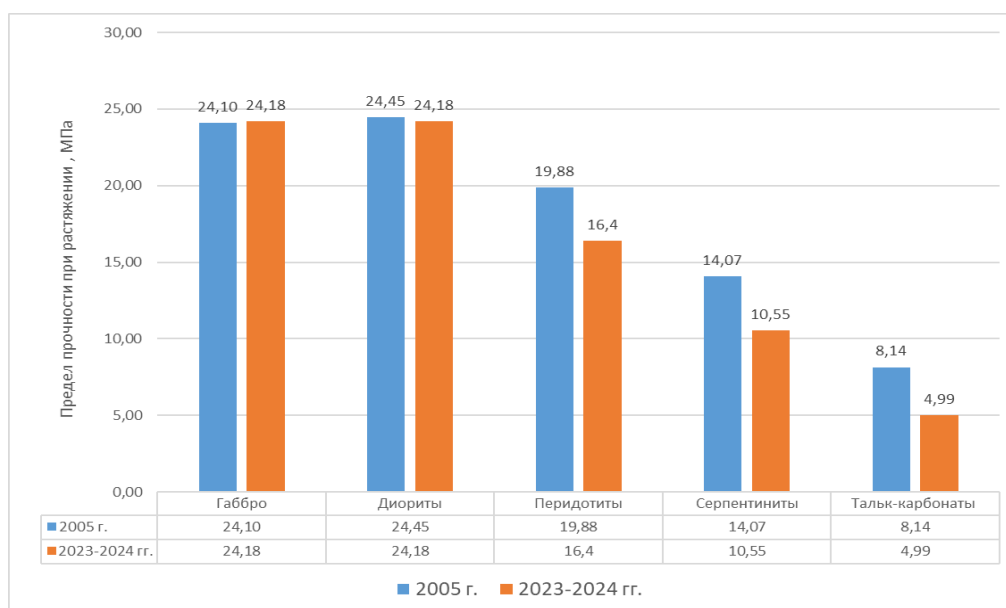


Рис. 5. Значения предела прочности на растяжение пород Баженовского месторождения, полученные в 2023 – 2024 гг. и 2005 г.

### Заключение

Произведен сравнительный анализ полученных результатов лабораторных испытаний в 2023 – 2024 гг. с ранее выполненными в 2005 и 1984 г. исследованиями прочностных характеристик горных пород Баженовского месторождения, который показал высокую сходимость значений для всех литологических типов.

Рост прочностных характеристик исследуемых пород по мере увеличения глубины разработки месторождения не наблюдается.

При сопоставлении средних значений по пробам, отобраным на карьерах, выявлено, что предел прочности на одноосное сжатие у проб, отобранных на Южном карьере, выше у диоритов на 15,57 %, серпентинитов на 27,1 %, тальк-карбонатов на 19,39 %, чем на Центральном. Значения предела прочности на растяжение у проб серпентинитов, отобранных на Южном карьере, выше на 32,72 %, чем на Центральном.

Прочностные характеристики пород являются одним из основных показателей, от которых зависят параметры БВР и качество подготовки горной массы. Выявленный разброс данных показателей на Южном и Центральном карьерах обуславливает необходимость применения косвенных методик экспресс-оценки предела прочности пород с целью мониторинга их изменчивости по мере ведения горных работ [8].

### Список литературы

1. Русских А.П., 2024 *Обоснование параметров взрывного разрушения, обеспечивающих снижение переизмельчения горной массы (на примере Баженовского месторождения)*: дис. ... кандидата технических наук. Екатеринбург, 187 с.
2. Русских А.П., 2021. Исследование дробимости и взрываемости горных пород, разрабатываемых на карьере "Ураласбест". *Взрывное дело*, № 130-87, С. 63-79.
3. Котяшев А.А., Корнилков М.В., Русских А.П., 2017. Изучение и оценка структурных изменений при взрывном разрушении скальных массивов в динамике развития асбестовых карьеров. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6, С. 17-24.
4. Алексеев А.Ф., Грязнов О.Н., 2013. Физико-механические свойства метасоматитов серпентинитовой формации Баженовского месторождения хризотил-асбеста. *Инженерная геология*, № 4, С. 54-59.
5. ГОСТ 21153.0-75. *Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний* = Rocks. Sampling and general requirements for the methods of physical testing: утв. Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 25 сентября 1975 г. № 2491 срок действия установлен с 01.07.1976 г.: дата введения 1976-07-01. Москва: Гос. комитет по стандартам, 1975, 3 с.
6. Ломтадзе В.Д., 1990. *Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований*. Ленинград: Недра, 328 с.
7. Алексеев А.Ф., 2005. *Инженерная петрология гипербазитов Баженовского и Джетыгаринского месторождений хризотил-асбеста*: специальность 25.00.08 "Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение": дис. ... кандидата геолого-минералогических наук. Екатеринбург, 192 с.
8. Харисов Т.Ф., 2020. Оценка предела прочности пород в образце с использованием молотка Шмидта. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 304-314.

### References

1. Russkikh A.P., 2024 *Obosnovanie parametrov vzryvnogo razrusheniya, obespechivayushchikh snizhenie pereizmel'cheniya gornoj massy (na primere Bazhenovskogo mestorozhdeniya)* [Substantiation of the parameters of explosive destruction, ensuring a reduction in



the over-crushing of rock mass (using the example of the Bazhenovskoe deposit): dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk. Ekaterinburg, 187 p.

2. Russkikh A.P., 2021. Issledovanie drobimosti i vzryvaemosti gornyx porod, razrabatyvaemykh na kar'ere "Uralasbest" [Investigation of the fractionability and explosivity of rocks developed at the Uralasbest quarry]. Vzryvnoe delo, № 130-87, P. 63-79.

3. Kotyashv A.A., Kornilkov M.V., Russkikh A.P., 2017. Izuchenie i otsenka strukturnykh izmenenii pri vzryvnom razrushenii skal'nykh massivov v dinamike razvitiya asbestovykh kar'erov [Study and assessment of structural changes during the explosive destruction of rock massifs in the dynamics of the development of asbestos quarries]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 6, P. 17-24.

4. Alekseev A.F., Gryaznov O.N., 2013. Fiziko-mekhanicheskie svoistva metasomatitov serpentinitovoi formatsii Bazhenovskogo mestorozhdeniya khrizotil-asbesta. Inzhenernaya geologiya [Physico-mechanical properties of metasomatites of the serpentinite formation of the Bazhenovskoe chrysotile-asbestos deposit], № 4, P. 54-59.

5. GOST 21153.0-75. Porody gornye. Otbor prob i obshchie trebovaniya k metodam fizicheskikh ispytaniy = Rocks. Sampling and general requirements for the methods of physical testing [GOST 21153.0-75. Mountain rocks. Sampling and general requirements for physical testing methods] = Rocks. Sampling and general requirements for the methods of physical testing]: utv. Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR ot 25 sentyabrya 1975 g. № 2491 srok deistviya ustanovlen s 01.07.1976 g.: data vvedeniya 1976-07-01. Moscow: Gos. komitet po standartam, 1975, 3 p.

6. Lomtadze V.D., 1990. Fiziko-mekhanicheskie svoistva gornyx porod. Metody laboratornykh issledovaniy [Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory research]. Leningrad: Nedra, 328 p.

7. Alekseev A.F., 2005. Inzhenernaya petrologiya giperbazitov Bazhenovskogo i Dzhetygarinskogo mestorozhdenii khrizotil-asbesta [Engineering petrology of Bazhenovskoe and Dzhetygarinskoe chrysotile asbestos deposits]: spetsial'nost' 25.00.08 "Inzhenernaya geologiya, merzlotovedenie i gruntovedenie" : dis. ... kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. Ekaterinburg, 192 p.

8. Kharisov T.F., 2020. Otsenka predela prochnosti porod v obraztse s ispol'zovaniem molotka Shmidta [Assessment of the ultimate strength of rocks in a sample using a Schmidt hammer]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 4, P. 304-314.