

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ПОРОД САРБАЙСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖИННОГО ГИДРОДОМКРАТА

В.Н. Токсаров<sup>1</sup>, Д.А. Поспелов<sup>1</sup>, Н.Л. Бельтюков<sup>1</sup>, А.А. Ударцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия, e-mail: dimapospelov7@gmail.com

**Аннотация:** Приведены результаты натурного определения модуля деформации прибортовых пород Сарбайского железорудного карьера с использованием скважинного гидродомкрата. Экспериментальные исследования проводились в рамках разработки проекта углубки карьера до отметки 700 м. Определены средние значения модуля деформации для основных типов пород в нетронutom массиве. По результатам экспериментальных исследований установлена взаимосвязь между нарушенностью массива и модулем деформации пород: низкие значения модуля деформации характерны для нарушенного массива, а высокие значения данного показателя — для нетронutomого массива. На всех замерных станциях наблюдаются пониженные значения модуля деформации (0,5÷3,5 ГПа) в приконтурной зоне массива на глубинах до 3 м. По результатам экспериментов установлено, что в краевой части массива, как правило, выделяются три зоны: нарушенности, пластических деформаций и нетронutomого массива. Зона нарушенности представляет собой зону, в которой отмечается наличие разрывных нарушений и пониженных значений модуля деформации пород. Зона пластических деформаций является переходной зоной, характеризующейся неупругими пластическими деформациями и наличием микротрещиноватости. Зона нетронutomого массива характеризуется наличием упругих деформаций без разрыва сплошности массива и повышенными значениями модуля деформации пород.

**Ключевые слова:** модуль деформации, скважинный гидродомкрат, деформационные свойства, зона нарушенности, пластическая деформация, нетронutomый массив, разрывные нарушения, приконтурный массив.

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (регистрационный номер 122012000403-1), а также гранта РФФИ № 20-45-596011.

**Для цитирования:** Токсаров В. Н., Поспелов Д. А., Бельтюков Н. Л., Ударцев А. А. Определение модуля деформации пород Сарбайского железорудного карьера с использованием скважинного гидродомкрата // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 32–42. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_0\_32.

### Determining modulus of deformation in surrounding rock mass of Sarbai iron ore deposit using borehole hydraulic jack

V.N. Toksarov<sup>1</sup>, D.A. Pospelov<sup>1</sup>, N.L. Beltyukov<sup>1</sup>, A.A. Udartsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,  
e-mail: dimapospelov7@gmail.com

---

**Abstract:** The article reports the full-scale test data on modulus of deformation in Sarbai iron-ore pitwall rock mass using a borehole hydraulic jack. The experimentation was included in the deeper open pit mining project on increasing the pit depth to 700 m. The average moduli of deformation are evaluated for the main rock types in intact rock mass. The experimental results help correlating the rock mass quality and modulus of deformation: the low values of the modulus are typical of the poorer quality rocks mass, while the high value modulus is a feature of the intact rock mass. All measuring points show the lower moduli of deformation (0.5–3.5 GPa) in adjacent rock mass of the pit wall to a depth of 3 m. It is experimentally found that adjacent rock mass contains three zones, as a rule: dislocation, plastic deformation and intact rock mass. The dislocation zone holds fractures and features lower values of the modulus of deformation. The plastic deformation zone is a transitional zone of inelastic deformation and microfracturing. The intact rock mass zone is a zone of elastic deformation without discontinuities and with the higher values of the moduli of deformation.

**Key words:** modulus of deformation, borehole hydraulic jack, deformation properties, dislocation zone, plastic deformation, intact rock mass, fracturing, adjacent rock mass.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Agreement State Registration Number 122012000403-1, and by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 20-45-596011.

**For citation:** Toksarov V. N., Pospelov D. A., Beltyukov N. L., Udartsev A. A. Determining modulus of deformation in surrounding rock mass of Sarbai iron ore deposit using borehole hydraulic jack. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5):32-42. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_0\_32.

---

## Введение

Оценка механических свойств горных пород в натуральных условиях при освоении месторождений полезных ископаемых наряду с изучением напряженного состояния является основой для решения широкого круга геомеханических задач: расчета параметров системы разработки, исследования устойчивости выработок, выбора типа крепления и т.д. Важнейшим параметром при изучении механических свойств породного массива является модуль деформации [1–3].

В настоящее время широкое распространение получили методы оценки деформационных свойств массивов горных пород с использованием эмпирических уравнений [4–9], основанных на корреляционных зависимостях между модулем деформации и структурой пород (параметр RQD, степень выветривания)

[10–13], либо категориями качества массива (RMR, критерий Бартонa Q, индекс геологической прочности GSI) [14–18]. Основным недостатком косвенных методов является низкая точность определения величины модуля деформации пород. В этих условиях весьма актуальным является использование инструментальных методов оценки деформационных свойств породного массива [19–21]. Определение деформационных свойств горных пород в натуральных условиях позволяют учесть влияние масштабного эффекта [22–25].

В статье приведены результаты натурального определения модуля деформации прибортовых пород Сарбайского железорудного карьера с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана [26]. Определение деформационных свойств

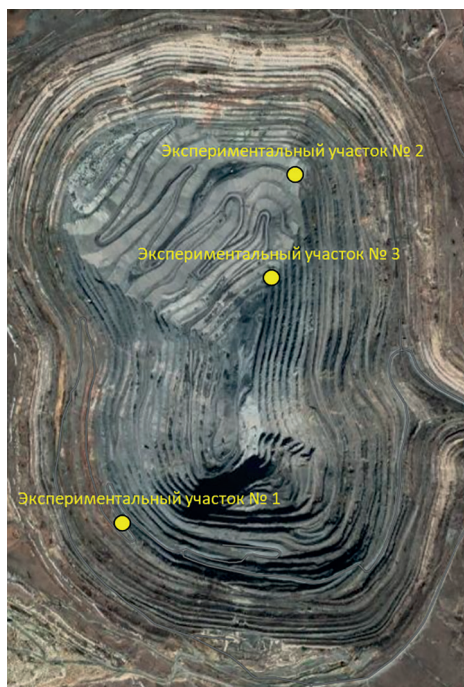


Рис. 1. Расположение экспериментальных участков  
Fig. 1. Location of the experimental sites

пород выполнялось согласно стандарту ASTM D4971-08. Подробно методика проведения экспериментов приведена в работе [27]. Экспериментальные исследования проводились в рамках разработ-

ки проекта углубки карьера до отметки 700 м.

Инструментальное определение деформационных свойств породного массива Сарбайского карьера проводилось на трех участках (рис. 1). На каждом экспериментальном участке было оборудовано от двух до трех замерных станций. Всего на восьми замерных станциях исследовано 16 горизонтальных скважин глубиной  $6 \div 7$  м. Эксперименты в горизонтальных скважинах диаметром 93 мм проводились с шагом 0,3 м.

### Результаты определения модуля деформации в прибортовом массиве Сарбайского карьера

#### Экспериментальный участок 1

Первый экспериментальный участок расположен в юго-западной части карьера (гор.  $-240$  м) (см. рис. 1) и состоит из трех замерных станций. Породный массив на замерной станции № 1 (скв. 1, 2) представлен в основном метаморфизированными туфами темно-зеленого цвета с вкраплениями магнетита, хлорита и пирита (рис. 2, а). Породный массив замерных станций № 2 (скв. 4–6) и



Рис. 2. Геологическое строение массива на экспериментальном участке № 1: метаморфизированные туфы (замерная станция № 1) (а); известняк (замерная станция № 2 и 3) (б)

Fig. 2. Geological structure of the massif at the experimental site No. 1: metamorphosed tuffs (measuring station No. 1) (a); limestone (measuring station No. 2 and 3) (b)

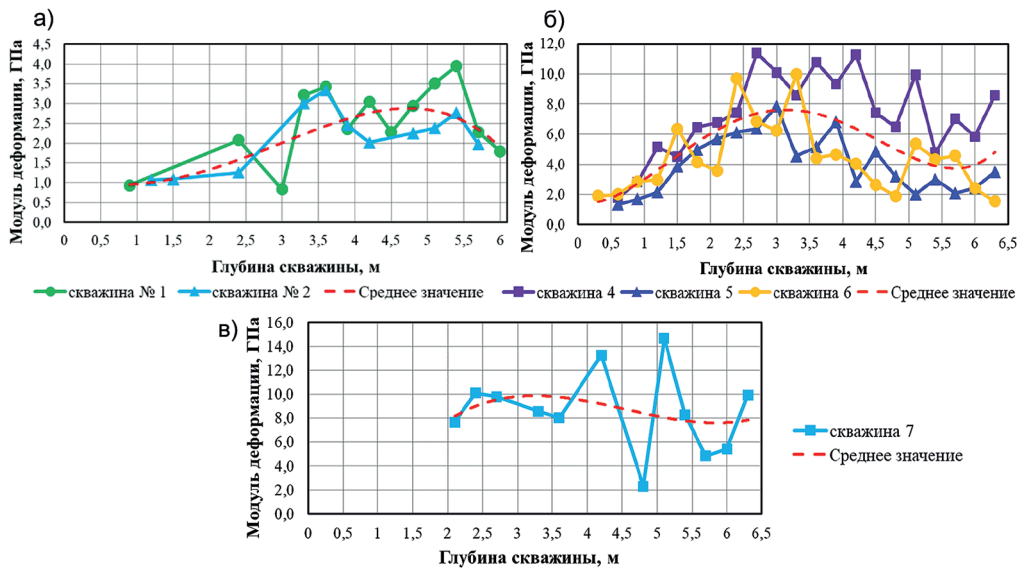


Рис. 3. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины: замерная станция № 1 (а); замерная станция № 2 (б); замерная станция № 3 (в)  
 Fig. 3. Graphs of changes in the value of the deformation modulus of rocks from depth: measuring station No. 1 (a); measuring station No. 2 (b); measuring station No. 3 (v)

№ 3 (скв. 7) представлен более крепким мраморизированным известняком темно-серого цвета (рис. 2, б).

На рис. 3 приведены графики распределения величины модуля деформации пород в зависимости от глубины на экспериментальном участке № 1.

Наиболее полные данные о величине модуля деформации получены в скв. 4, 5, 6, пробуренных в массиве известняка. Установлено скачкообразное изменение определяемого параметра с глубиной, что характерно для скальных массивов блочного строения [28]. До глубины 1,5÷2 м отмечаются пониженные значения модуля деформации (менее 4 ГПа), что, по-видимому, объясняется наличием зоны нарушенности приконтурных пород, сформированной под воздействием выветривания и буровзрывных работ. За зоной нарушенности средний модуль деформации известняка равен 5,9 ГПа.

Экспериментами установлено, что средний модуль деформации измененных туфов в нетронутым массиве примерно

в 2,5 раза ниже аналогичного показателя для мраморизированных известняков.

#### Экспериментальный участок 2

Второй экспериментальный участок (гор. -280 м), состоящий из замерных станций № 4 (скв. 10) и № 5 (скв. 12, 13), представлен в основном туфами темно-серого цвета с прослоями туффитов андезитового состава. Структура пород мелкозернистая, пористая текстура – массивная. По всему интервалу скважин отмечен магнетит в виде вкраплений.

Результаты экспериментальных исследований деформационных свойств пород приведены на рис. 4. В приконтурной зоне (глубиной 0÷1,7 м) скв. 12, 13 также отмечаются пониженные значения модуля деформации (в среднем 3÷3,5 ГПа). В нетронутым массиве средний модуль деформации туфа с прослоями туффитов андезитового состава составляет порядка 9,1 ГПа.

В скв. 10 в диапазоне глубин 0,5÷1,5 м отмечается рост значений модуля



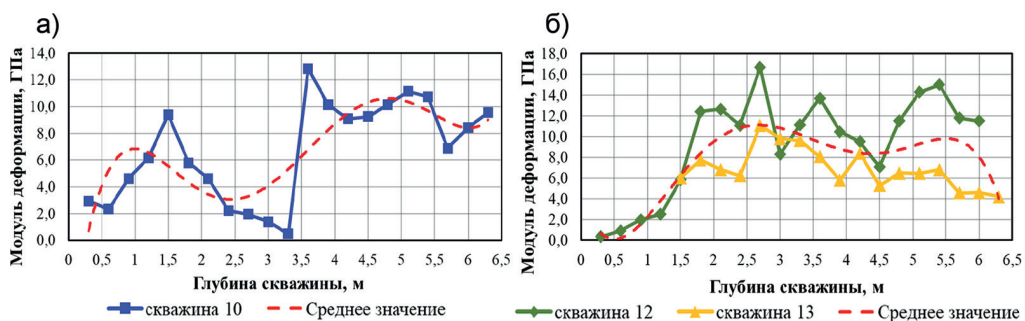


Рис. 4. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины: замерная станция № 4 (а); замерная станция № 5 (б)

Fig. 4. Graphs of changes in the value of the deformation modulus of rocks from depth: measuring station No. 4 (a); measuring station No. 5 (b)

деформации от 2 до 9,5 ГПа, а в интервале глубин 1,5÷3,3 м – снижение соответствующего показателя от 9,5 до 0,5 ГПа. При дальнейшем увеличении глубины отмечается резкое увеличение модуля деформации пород до примерно 10 ГПа.

### Экспериментальный участок 3

Третий экспериментальный участок (–340 м) состоит из замерных станций № 7 (скв. 19, 20), № 8 (скв. 23–25) и

№ 9 (скв. 26, 27). Породы на участке представлены в основном сплошной магнетитовой рудой, а также метаморфизированными туфами темно-зеленого цвета. Результаты изменения значений модуля деформации от глубины приведены на рис. 5.

Установлено, что в приконтурной зоне на всех трех замерных станциях отмечаются пониженные значения модуля деформации. Кроме того, на замерной станции № 8 присутствует зона нарушен-

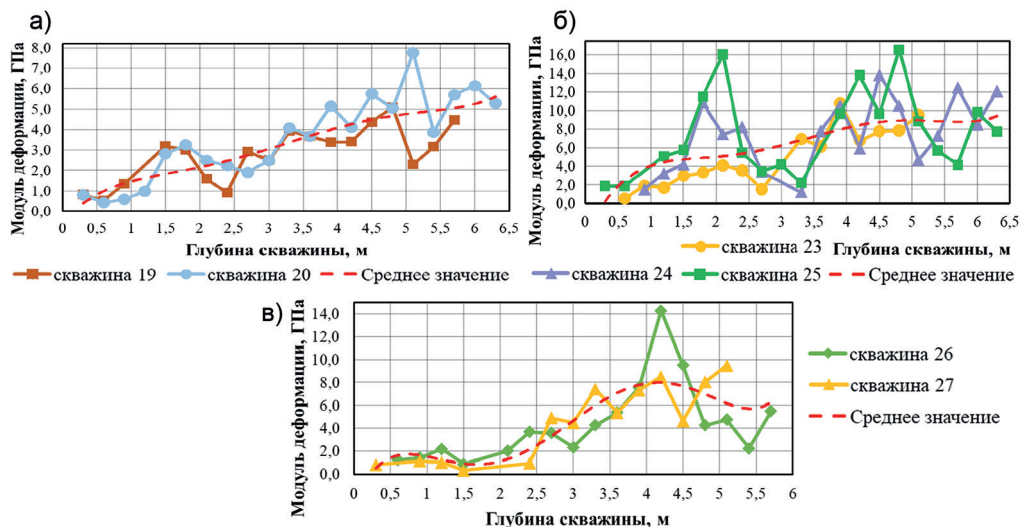


Рис. 5. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины: замерная станция № 7 (а); замерная станция № 8 (б); замерная станция № 9 (в)

Fig. 5. Graphs of changes in the value of the deformation modulus of rocks from depth: measuring station No. 7 (a); measuring station No. 8 (b); measuring station No. 9 (v)

**Средние значения модуля деформации пород прибортового массива Сарбайского железорудного карьера**  
**Average values of the deformation modulus of rocks in the edge massif of Sarbai iron ore quarry**

Зам. станция	№ скважины	Глубина, м	Порода	Средний модуль деформации, ГПа
<b>Экспериментальный участок № 1</b>				
1	1–2	2,4÷6,0	метаморфизированные туфы с вкраплениями магнетита, хлорита и пирита	2,4
2	4–6	2,1÷6,3	мраморизированные известняки	5,9
3	7	2,1÷6,3		8,6
			Среднее (без учета туфа)	7,2
<b>Экспериментальный участок № 2</b>				
4	10	2,1÷6,3	туфы с прослоями туффитов андезитового состава	7,7
5	12–13	2,1÷6,3		9,1
			Среднее	8,4
<b>Экспериментальный участок № 3</b>				
7	19–20	2,1÷6,3	сплошная магнетитовая руда и метаморфически измененные туфы	4,0
8	23–25	2,1÷6,3		7,7
9	26–27	2,1÷5,7		5,7
			Среднее	5,8

ных пород в диапазоне глубин от 2,5 до 3,5 м, характеризующихся пониженными значениями модуля деформации (~3 ГПа).

Средние значения модуля деформации пород прибортового массива Сарбайского железорудного карьера по всем замерным станциям приведены в таблице.

**Взаимосвязь модуля деформации пород со степенью нарушенности массива**

Анализ литературы показал, что модуль деформации массива зависит от таких факторов, как предел прочности пород на сжатие, степень напряженного состояния массива (давление), степень нарушенности массива, геологическое строение массива и т.д. Геомеханическое поведение массива является, как прави-

ло, неупругим из-за наличия в нем разрывов, трещин и других неоднородностей. В этих условиях оценка деформируемости (модуля деформации), при которой учитывается как упругое, так и неупругое поведение породного массива, является актуальной для калибровки применяемых геомеханических моделей.

В работе [29] по результатам исследований в натуральных условиях с использованием скважинного гидродомкрата установлено, что между шириной зоны нарушенности, сформированной в окрестности выработки главным образом взрывными работами, и величиной модуля деформации пород существует прямая связь. Так, в зоне нарушенности (интервал глубин 0÷1,5 м) средний модуль деформации равен 15,7 МПа (рис. 6). При этом в нетронутом массиве аналогичный показатель равен примерно 33 МПа.

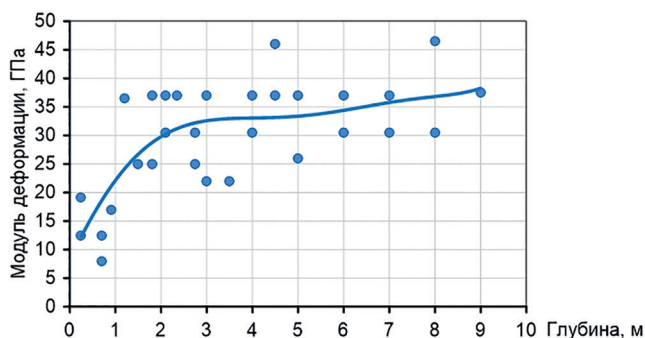


Рис. 6. Распределение модуля деформации с глубиной в горизонтальной скважине, пройденной в массиве гранита [29]

Fig. 6. Deformation modulus distribution with depth in a horizontal borehole drilled in a granite massif [29]

Наличие взаимосвязи между модулем деформации пород, измеренным в натуральных условиях, и степенью нарушенности массива установлено также в работах [29–31].

На рис. 7 приведены некоторые результаты телеинспекции по скв. 10. Видеонаблюдением установлено, что достаточно низкие значения модуля деформации в интервале глубин  $0 \div 1,5$  м приурочены к зоне нарушенности приконтурных пород, состоящей из открытых трещин с относительно небольшим раскрытием (рис. 7, а). Минимальное значение модуля деформации (0,5 ГПа) на глубине 3,3 м приурочено к геологическому нарушению (рис. 7, б). На глу-

бинах свыше 3,5 м (рис. 7, в) открытой трещиноватости не обнаружено, при этом модуль деформации пород составляет порядка 9–10 МПа. Таким образом, можно сделать вывод о том, что между модулем деформации и степенью нарушенности скальных трещиноватых пород существует связь: нарушенные породы характеризуются относительно низким значением модуля деформации, а монолитные породы — относительно высоким значением показателя.

По результатам исследований деформационных свойств пород на Сарбайском карьере установлено, что в прибортовом массиве присутствует определенная зональность. В краевой части

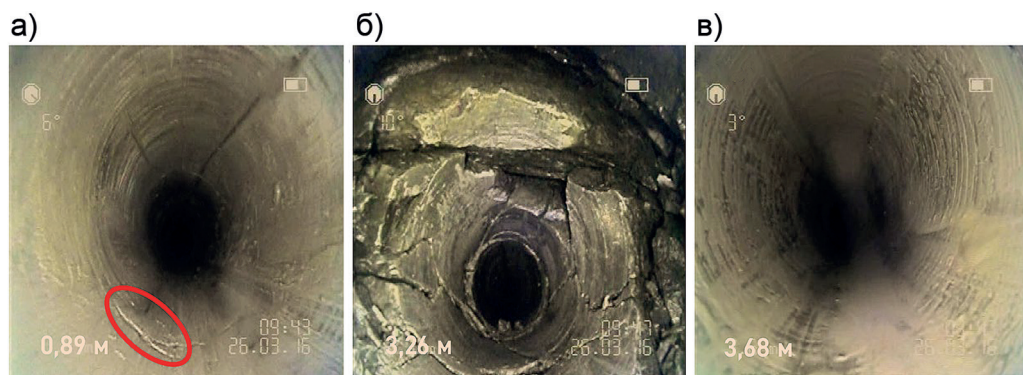


Рис. 7. Результаты телеинспекции по скважине № 10: на глубине 0–1,5 м (а); на глубине 3,3 м (б); на глубине свыше 3,5 м (в)

Fig. 7. Results of video inspection for borehole No. 10: at a depth of 0–1.5 m (a); at a depth of 3.3 m (b); at a depth of more than 3.5 m (v)

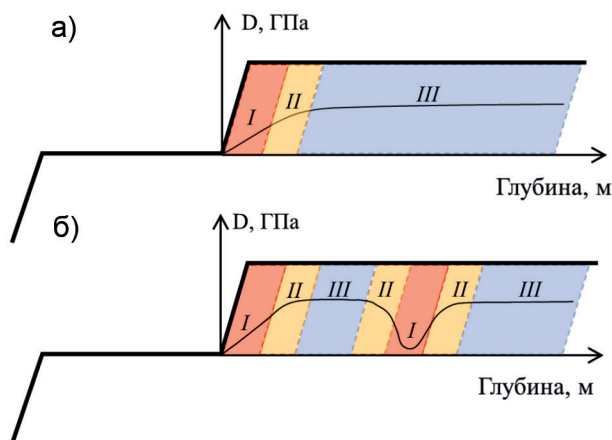


Рис. 8. Возникновение зон нарушенности: в краевой части массива (а); в глубине массива (б)  
 Fig. 8. Emergence of disturbed zones: in the marginal part of the massif (a); in the depth of the massif (b)

массива, как правило, выделяются три зоны: нарушенности (I), пластических деформаций (II) и нетронутого массива (III) (рис. 8). Зона нарушенности (I) представляет собой зону, в которой отмечается наличие разрывных нарушений и пониженных значений модуля деформации пород. Зона пластических деформаций (II) является переходной зоной, характеризуемой неупругими пластическими деформациями и наличием микротрещиноватости. Зона нетронутого массива (III) характеризуется наличием упругих деформаций без разрыва сплошности массива и повышенными значениями модуля деформации пород. При этом зона нарушенности может быть сформирована как в краевой части массива (рис. 8, а), вследствие воздействия главным образом взрывных работ, так и в глубине массива (рис. 8, б) — под влиянием перераспределения напряжений и общей трещиноватости массива.

### Выводы

1. Проведен комплекс исследований деформационных свойств породного массива Сарбайского железорудного карьера с использованием скважинного гидродомкрата на трех экспериментальных участках. Определены средние значения

модуля деформации для основных типов пород в нетронутом массиве. Так, средний модуль деформации метаморфизированного туфа составляет 2,4 ГПа; мраморизированного известняка — 7,2 ГПа; туфов с прослоями туффитов андезитового состава — 8,4 ГПа; сплошной магнетитовой руды — 5,8 ГПа.

2. По результатам экспериментальных исследований установлена взаимосвязь между нарушенностью массива и модулем деформации пород: низкие значения модуля деформации характерны для нарушенного массива, а высокие значения данного показателя — для нетронутого массива. На всех замерных станциях наблюдаются пониженные значения модуля деформации (0,5÷3,5 ГПа) в приконтурной зоне массива на глубинах до 3 м.

3. По результатам определения деформационных свойств пород на Сарбайском карьере установлено, что в прибортовом массиве присутствует определенная зональность. В краевой части массива, как правило, выделяются три зоны: нарушенности, пластических деформаций и нетронутого массива. Зона нарушенности представляет собой зону, в которой отмечается наличие разрывных нарушений и пониженных значений модуля деформации пород. Зона пластических дефор-



маций является переходной зоной, характеризующейся неупругими пластическими деформациями и наличием микротрещиноватости. Зона нетронутого массива

характеризуется наличием упругих деформаций без разрыва сплошности массива и повышенными значениями модуля деформации пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

9. Немчин Н. П., Терентьев П. Ю. Полуэмпирические формулы определения модуля деформации и модуля спада массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 11. — С. 305–313.

21. Асанов В. А., Токсаров В. Н., Бельтюков Н. Л. Контроль состояния пород приконтурного массива в зоне влияния геологической аномалии / Геомеханика в горном деле: Доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. — С. 187–194.

22. Ильницкая Е. И., Тедер Р. И., Ватолин Е. С., Кунтыш М. Ф. Свойства горных пород и методы их определения. — М.: Недра, 1969. — 392 с.

25. Паньков И. Л., Асанов В. А. Изучение механизма масштабного эффекта при сжатии квазипластичных соляных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — Т. 2. — С. 273–278.

27. Поспелов Д. А., Токсаров В. Н., Бельтюков Н. Л. Методика оценки модуля деформации пород в приконтурном массиве с использованием скважинного гидродомкрата // Горное эхо. — 2022. — № 1(86). — С. 51–57. DOI: 10.7242/echo.2022.1.7.

28. Айтматов И. Т. Концепция о естественном напряженно-деформированном состоянии породных массивов в мобильных горно-складчатых областях / Напряженное состояние и удароопасность массивов горных пород на рудных месторождениях Средней Азии. — Фрунзе: Илим, 1983. — С. 3–31. **ПЛАТ**

## REFERENCES

1. Gokceoglu C. Deformation modulus ( $E_m$ ) of rock masses: recent developments. *ISRM 3rd Nordic Rock Mechanics Symposium – NRMS*. Helsinki, Finland, 2017, pp. 30–38.

2. Torbica S., Lapčević V. A model for estimation of stress-dependent deformation modulus of rock mass. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2019, vol. 53, no. 1. DOI: 10.22059/ijmge.2018.255295.594729.

3. Hoek E., Diederichs M. S. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2006, vol. 43, no. 2, pp. 203–215. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2005.06.005.

4. Bieniawski Z. T. Engineering classification of rock masses. *Trans S Afr Inst Civ Eng*. 1973, no. 15, pp. 335–344.

5. Shahverdilloo M. R., Zare S. A new correlation to predict rock mass deformability modulus considering loading level of dilatometer tests. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2021, vol. 39, pp. 5517–5528. DOI: 10.1007/s10706-021-01842-8.

6. Ramamurthy T. A geo-engineering classification for rocks and rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2004, vol. 41, no. 1. pp. 89–101. DOI: 10.1016/S1365-1609(03)00078-9.

7. Sonmez H., Nefeslioglu H. A., Gokceoglu C., Kayabasi A. Estimation of rock modulus: For intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2006, vol. 43, no. 2, pp. 224–235. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2005.06.007.

8. Pappalardo G. Correlation between P-Wave velocity and physical – mechanical properties of intensely jointed dolostones, Peloritani Mounts, NE Sicily. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2014, vol. 48, no. 4, pp. 1711–1721. DOI: 10.1007/s00603-014-0607-8.

9. Nemchin N. P., Terentev P. Yu. Semi-empirical formulas for determining the modulus of deformation and modulus recession of rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 11, pp. 305 – 313. [In Russ].
10. Zhang L., Einstein H. H. Using RQD to estimate the deformation modulus of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2004, vol. 41, no. 2, pp. 337 – 341. DOI: 10.1016/S1365-1609(03)00100-X.
11. Ghamgosar M., Fahimifar A., Rasouli V. Estimation of rock mass deformation modulus from laboratory experiments in Karun dam. *Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering. Proceedings of Eurock-2010.* 2010, pp. 805 – 808.
12. Shen J., Karakus M., Xu C. A comparative study for empirical equations in estimating deformation modulus of rock masses. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2012, vol. 32, pp. 245 – 250. DOI: 10.1016/j.tust.2012.07.004.
13. Radovanović S., Ranković V., Anelković V., Divac D., Milivojević N. Development of new models for the estimation of deformation moduli in rock masses based on in situ measurements. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment.* 2017, vol. 77, pp. 1191 – 1202. DOI: 10.1007/s10064-017-1027-2.
14. Barton N. Application of Q system, index tests to estimate shear strength and deformability of rock masses. *Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction.* Lisbon, 1983, pp. 51 – 70.
15. Palmstrom A. Recent developments in rock support estimates by the RMI. *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology.* 2000, vol. 6, no. 1, pp. 1 – 19.
16. Alemdag S., Gurocak Z., Gokceoglu C. A simple regression-based approach to estimate deformation modulus of rock masses. *Journal of African Earth Sciences.* 2015, vol. 110, pp. 75 – 80. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2015.06.011.
17. Alemdag S., Gurocak Z., Cevik A., Cabalar A. F., Gokceoglu C. Modeling deformation modulus of a stratified sedimentary rock mass using neural network, fuzzy inference and genetic programming. *Engineering Geology.* 2016, vol. 203, pp. 70 – 82. DOI: 10.1016/j.enggeo.2015.12.002.
18. Mirković U., Babić P., Radovanović S. Establishing new correlations for rock mass deformability determination. *7th International conference «Contemporary Achievements in Civil Engineering»*, Subotica, Serbia, 2019. pp. 597 – 604. DOI: 10.14415/konferencijaGFS2019.055.
19. Kuvik M., Kopecký M., Frankovská J. Deformation modulus determination from pressuremeter and dilatometer tests for crystalline rock. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019, vol. 471, no. 4, article 042010. DOI: 10.1088/1757-899X/471/4/042010.
20. Agharazi A., Tannant D., Jafari A. Stress and tunnel geometry effects on deformation modulus derived from plate load tests. *61st Canadian Geotechnical Conference GeoEdmonton'08: A Heritage of Innovation.* Canada, Edmonton. 2008, vol. 34, pp. 601 – 608.
21. Asanov V. A., Toksarov V. N., Beltyukov N. L. Control of the state of rocks of the near-contour massif in the zone of influence of a geological anomaly. *Geomekhanika v gornom dele: Doklady Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Geomechanics in Mining: reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation]*, Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2014, pp. 187 – 194. [In Russ].
22. Il'nitskaya E. I., Teder R. I., Vatolin E. S., Kuntyshev M. F. *Svoystva gornykh porod i metody ikh opredeleniya [Properties of rocks and methods for their determination]*, Moscow, Nedra, 1969, 392 p.
23. Meyer T. O., McVey J. R. *NX borehole jack modulus determinations in homogeneous, isotropic, elastic materials.* Washington, U.S. Bureau of Mines, 1974, 50 p.
24. Heuze F. E. Scale effects in the determination of rock mass strength and deformability. *Rock Mechanics.* 1980, vol. 12, pp. 167 – 192.
25. Pankov I. L., Asanov V. A. Study of scale effect mechanism during compression of quasi-plastic salt rocks. *Mining sciences: fundamental and applied issues.* 2015, vol. 2, pp. 273 – 278. [In Russ].

26. Heuze F. E. Suggested method for estimating the in-situ modulus of deformation of rock using the NX-Borehole Jack. *Geotechnical Testing Journal*. 1984, vol. 7, no. 4, pp. 205 – 210.

27. Pospelov D. A., Toksarov V. N., Beltyukov N. L. Method for assessing the modulus of rock deformation in the near-contour massif using a borehole hydraulic jack. *Gornoye ekho*. 2022, no. 1(86), pp. 51 – 57. [In Russ]. DOI: 10.7242/echo.2022.1.7.

28. Aitmatov I. T. The concept of the natural stress-strain state of rock masses in mobile mountain folded areas. *Napryazhennoe sostoyanie i udaropasnost' massivov gornykh porod na rudnykh mestorozhdeniyakh Sredney Azii* [Stress state and shock hazard of rock masses at ore deposits of Central Asia], Frunze, Ilim, 1983, pp. 3 – 31.

29. Park S., Kim J-S., Kwon S. Investigation of the development of an excavation damaged zone and its influence on the mechanical behaviors of a blasted tunnel. *Geosystem Engineering*. 2018, vol. 21, no. 3, pp. 165 – 181. DOI: 10.1080/12269328.2018.1461139.

30. Palmström A., Singh R. The deformation modulus of rock masses – comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2001, vol. 16, no. 2, pp. 115 – 131. DOI: 10.1016/S0886-7798(01)00038-4.

31. Dixit M., Dev H., Singh R., Dhawan A. K. In situ deformability characteristics of rock mass by Goodman Jack. *ISRM 2003 – Technology roadmap for rock mechanics*. South African Institute of Mining and Metallurgy. 2003, pp. 249 – 254.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Токсаров Валерий Николаевич<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник,  
e-mail: toksarov67@mail.ru,

Поспелов Дмитрий Андреевич<sup>1</sup> – младший  
научный сотрудник,  
e-mail: dimapospelov7@gmail.com,

Бельтюков Николай Леонидович<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
научный сотрудник,  
e-mail: bnl@mi-perm.ru,

Ударцев Артем Александрович<sup>1</sup> – младший  
научный сотрудник,  
e-mail: Udartsev@mi-perm.ru,

<sup>1</sup> Горный институт Уральского отделения РАН.

**Для контактов:** Поспелов Д.А., e-mail: dimapospelov7@gmail.com.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.N. Toksarov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Senior Researcher,

e-mail: toksarov67@mail.ru,  
D.A. Pospelov<sup>1</sup>, Junior Researcher,  
e-mail: dimapospelov7@gmail.com,

N.L. Beltyukov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Researcher, e-mail: bnl@mi-perm.ru,

A.A. Udartsev<sup>1</sup>, Junior Researcher,  
e-mail: Udartsev@mi-perm.ru,

<sup>1</sup> Mining Institute of Ural Branch,  
Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.

**Corresponding author:** D.A. Pospelov, e-mail: dimapospelov7@gmail.com.

Получена редакцией 16.01.2023; получена после рецензии 16.03.2023; принята к печати 10.04.2023.

Received by the editors 16.01.2023; received after the review 16.03.2023; accepted for printing 10.04.2023.