

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНИКА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЖАМАН-АЙБАТ

Д.А. Поспелов, В.Н. Токсаров, Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев  
*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** С целью совершенствования параметров системы разработки на руднике Жомарт проведены лабораторные испытания механических свойств песчаника, а также натурные измерения модуля деформации пород в барьерных и междукамерных целиках с использованием скважинного гидродомкрата. Установлено, что средний модуль деформации песчаника в барьерных целиках составляет порядка 5,9 ГПа, в междукамерных целиках – 6,2 ГПа. Средний модуль деформации, полученный в лабораторных условиях, примерно в 3 раза превышает соответствующий показатель, определенный в натуральных условиях.

**Ключевые слова:** модуль деформации, скважинный гидродомкрат, деформационные свойства, барьерный целик, междукамерный целик.

### 1. Введение

Месторождение Жаман-Айбат находится в пределах обширной равнины с мелкохолмистым рельефом в 130 км к юго-востоку от города Жезказган. Месторождение относится к медно-полиметаллическому типу медистых песчаников. Глубина залегания рудных тел колеблется в пределах 380÷910 м, а их мощность изменяется от 0,50 до 18,30 м. Принятая система разработки – панельно-столбовая система с последующим погашением пустот и выемкой целиков.

С целью уточнения параметров применяемой системы разработки на руднике Жомарт выполнен комплекс лабораторных и натуральных испытаний механических свойств медистого песчаника.

В натуральных условиях проводились испытания модуля деформации с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана [1-3]. Деформационные свойства пород определялись согласно стандарту [4] в горизонтально пробуренных скважинах с шагом 0,3 м. Перечень экспериментального оборудования и методика проведения натуральных испытаний приведены в работе [5]. Проведение измерений заключалось в направленном нагружении стенок скважины гидродомкратом. При проведении замеров фиксировались величины деформаций скважины и давление в гидросистеме. По результатам испытаний строились диаграммы деформирования. Также программой испытаний было предусмотрено проведение лабораторных испытаний по определению механических свойств песчаника.

### 2. Результаты испытаний механических свойств серого песчаника в лабораторных условиях при одноосном нагружении

Места отбора керна показаны на рис. 1а. Всего было испытано 23 образца серого песчаника, отобранных из нетронутого массива. Лабораторные испытания проводились согласно действующим стандартам и методикам [6, 7]. Вид испытываемого образца цилиндрической формы и соответствующая ему диаграмма деформирования приведена на рис. 1б. Результаты экспериментов приведены в табл. 1 (пределы прочности при сжатии приведены с учетом коэффициента формы).

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний механических свойств серого песчаника

№ образца	Размер, мм	$\sigma_{сж.}$ , МПа	$\epsilon_{пр.}$ , %	$D_y$ , ГПа	$E$ , ГПа
1	92 × 46	135,3	0,47	27,6	28,6
3	46 × 46	124,4	0,98	18,2	14,8
<b>Среднее значение</b>		<b>129,9</b>	<b>0,73</b>	<b>22,9</b>	<b>21,7</b>
1	35 × 35,5	84,6	1,72	9,9	7,4
2	35 × 35,5	95,0	1,55	13,4	7,9
3	70 × 35,5	55,9	0,28	16,9	25,3
4	70 × 35,5	98,7	0,34	24,5	24,9
5	70 × 35,5	164,5	0,55	25,7	26,3
6	91 × 46	85,1	0,39	19,9	–
7	94 × 46	51,9	0,36	16,5	–
8	92 × 46	132,4	0,45	26,2	28,9
9	91 × 46	56,3	0,27	16,9	–
<b>Среднее значение</b>		<b>91,6</b>	<b>0,66</b>	<b>18,9</b>	<b>20,1</b>
1	46 × 46	65,0	0,82	10,5	–
2	46 × 46	132,7	1,19	18,3	17,0
3	92 × 46	33,3	0,21	–	20,6
4	92 × 46	165,3	0,72	25,3	21,66
5	92 × 46	90,7	0,52	17,4	–
7	92 × 46	169,5	0,72	24,5	20,9
<b>Среднее значение</b>		<b>109,4</b>	<b>0,70</b>	<b>19,2</b>	<b>20,0</b>
1	46 × 46	89,2	0,87	12,0	13,0
2	46 × 46	108,3	0,87	17,9	19,8
3	47 × 46	74,3	0,80	13,5	13,1
4	92 × 46	74,7	0,28	21,8	–
5	92 × 46	28,8	0,06	15,2	–
<b>Среднее значение</b>		<b>75,1</b>	<b>0,58</b>	<b>16,1</b>	<b>15,3</b>

Экспериментами установлено, что предел прочности ( $\sigma_{сж.}$ ) образцов песчаника при сжатии варьируется в диапазоне от 28,8 от 169,5 МПа и составляет в среднем 101,5 МПа. Модули упругости ( $E$ ) и модули деформации ( $D_y$ ) образцов песчаника примерно равны между собой (среднее значение – 19,3 ГПа). Среднее значение разрушающей деформации ( $\epsilon_{пр.}$ ) составляет 0,66%.

### 3. Результаты натуральных испытаний деформационных свойств пород в целиках

Измерения модуля деформации проводились на трех экспериментальных участках, расположенных в пределах панелей 53, 47 и 18. Экспериментальные измерения проводились в 9 горизонтальных скважинах длиной 4÷6 м, пробуренных в барьерных (БРЦ) и междукамерных (МКЦ) целиках. Общий вид боков (стенок) барьерных и междукамерных целиков на экспериментальных участках представлены, соответственно, на рис. 2 и 3. На рис. 4 показано местоположение экспериментального участка № 1.

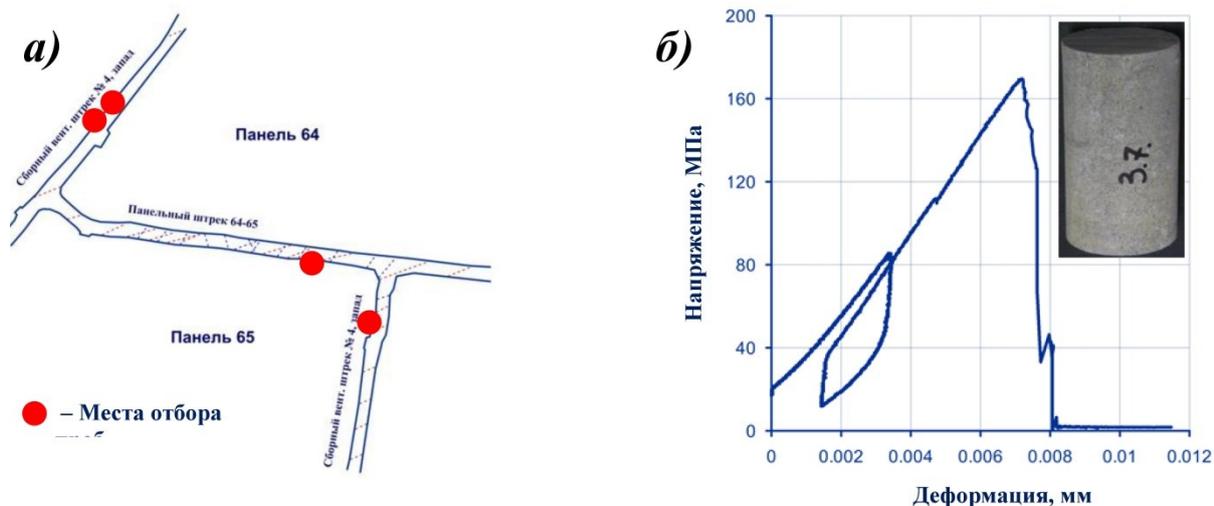


Рис. 1. Испытания механических свойств серого песчаника в лабораторных условиях: (а) место отбора проб; (б) испытуемый образец и соответствующая ему диаграмма деформирования



Рис. 2. Общий вид стенок барьерных целиков: (а) панель 53; (б) панель 47; (в) панель 18



Рис. 3. Общий вид стенок междукамерных целиков: (а) панель 53; (б) панель 47; (в) панель 18

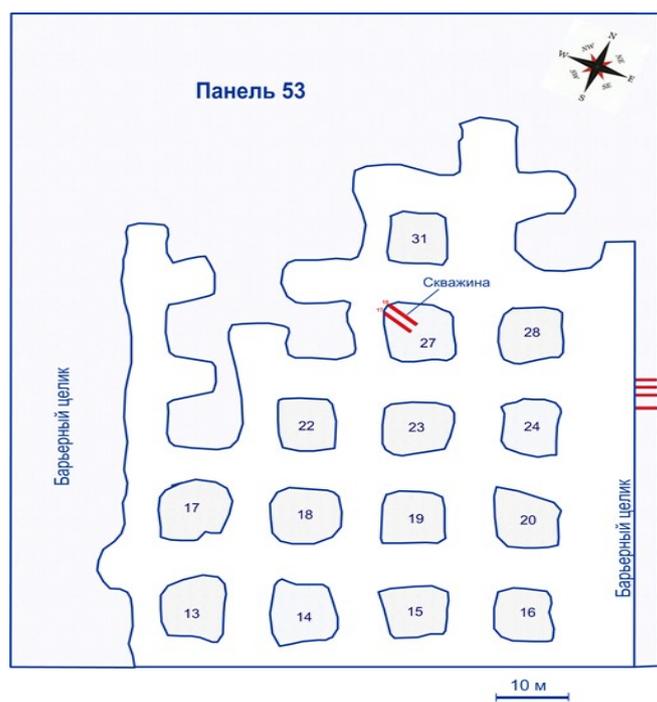


Рис. 4. Места расположения измерительных скважин на экспериментальном участке № 1 (53 панель)

#### Экспериментальный участок № 1

Измерения проводились в пределах панели 53. Испытательные скважины № 17 и 18 были пробурены в междукамерном целике 27.

Мощность рудного тела в пределах панели 53 колеблется от 1,40 до 2,90 м. Глубина залегания составляет 625÷630 м. Вкрапленное медное оруденение локализовано преимущественно в сероцветных песчаниках с прослоями межформационных конгломератов. В кровле рудного тела в основном залегают сероцветные и тонко- и мелкозернистые песчаники, конгломераты, реже зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты. В почве рудного тела в основном залегают красноцветные алевролиты и аргиллиты, конгломераты, реже серо-цветные песчаники, зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты.

При проектировании отработки запасов панели приняты следующие параметры системы разработки:

- расстояние между осями барьерных целиков – 125 м.
- ширина БРЦ – 40 м.
- сетка расположения междукамерных целиков – 19×19 м.
- размер МКЦ – 10×10 м при мощности отработки до 12 м.

Модуль деформации пород песчаника определялся в вертикальном направлении. Характерные зависимости изменения величины модуля деформации от глубины скважины представлены на рис. 5.

По результатам испытаний установлено, что по сечению целика наблюдается неравномерное изменение модуля деформации песчаника в пределах от 3,43 до 7,66 ГПа. Средняя величина модуля деформации составляет 5,73 ГПа.

#### Экспериментальный участок № 2

Натурные испытания деформационных свойств пород проводились в скважинах № 1 и 2, пробуренных в барьерном целике и в скважинах № 4-6, пробуренных в междукамерном целике 120 панели 47.

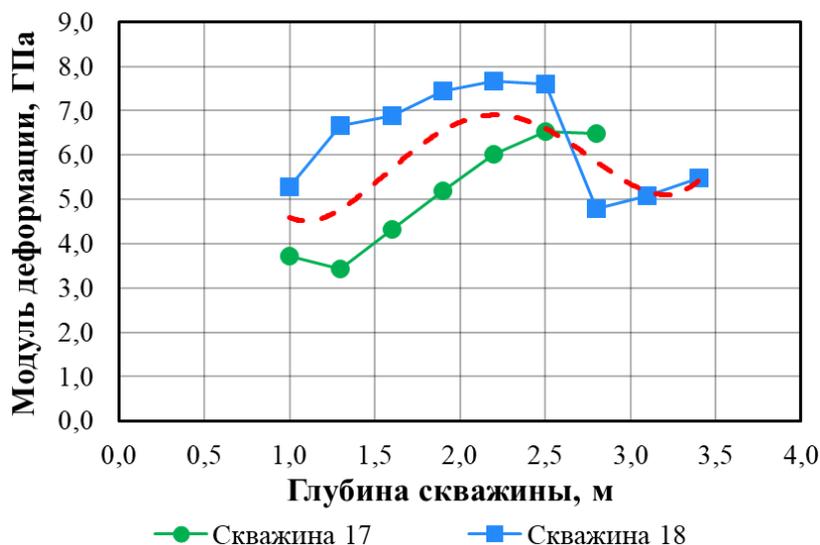


Рис. 5. Изменение величины модуля деформации по сечению междукамерного целика 27 (панель 53)

При проектировании отработки запасов панели 47 приняты следующие параметры системы разработки:

- расстояние между осями барьерных целиков – 128 м.
- ширина барьерных целиков – 40 м, через каждые 38 м пройдены прорезки.
- сетка расположения междукамерных целиков 19×19 м.
- размеры междукамерных целиков – 10×10 м.

Глубина разработки составляет 605÷610 м, мощность рудного тела колеблется от 0,7 до 13,2 м. В кровле рудной залежи залегают сероцветные тонко- и мелкозернистые песчаники, конгломераты. В почве залегают зеленовато-серые песчаники, аргиллиты, красноцветные и сероцветные песчаники, конгломераты.

Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины скважины показаны на рис. 6 а и б.

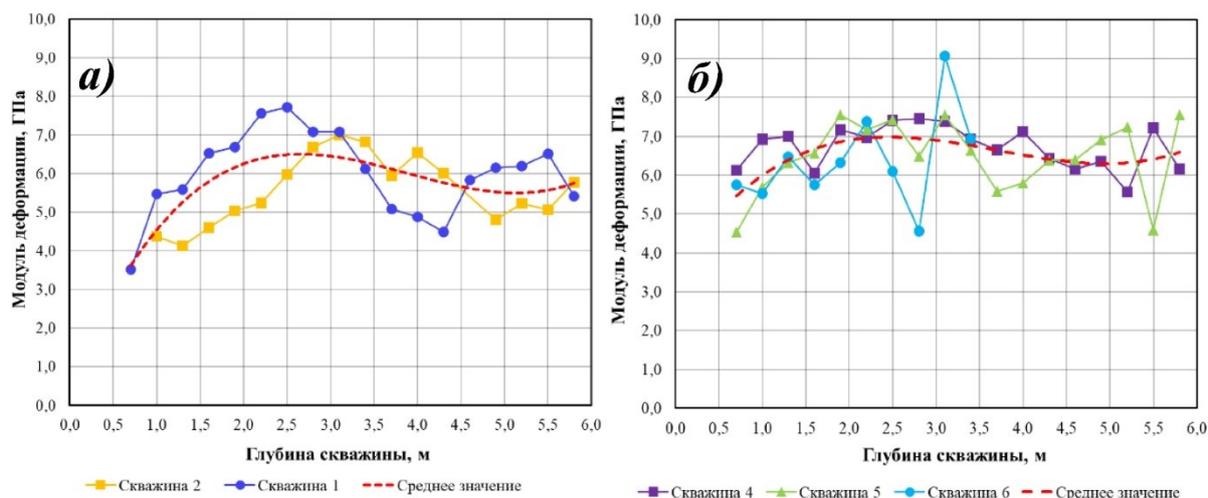


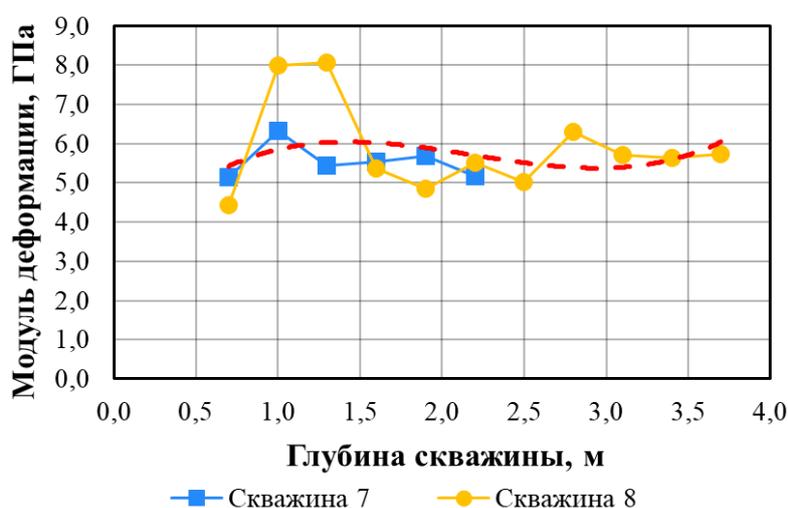
Рис. 6. Изменение величины модуля деформации (панель 47): (а) по сечению барьерного целика; (б) по сечению междукамерного целика 120

Установлено, что в барьерном целике (рис. 6а) наблюдаются пониженные значения модуля деформации – 3,5 ГПа на участке глубин до 1 м [8-11]. С увеличением глубины

отмечается относительно равномерное распределение модуля деформации в диапазоне 5,5÷6,5 ГПа. В междукамерном целике местами отмечается скачкообразный характер изменения модуля деформации с глубиной, что объясняется, по-видимому, блочным строением породного массива [12].

### Экспериментальный участок № 3

В пределах панели 18 скважины № 7 и 8 были пробурены в барьерном целике. Глубина разработки -510÷-520 м, мощность рудного тела варьируется в диапазоне от 1,0 до 4,1 м. Параметры системы разработки аналогичны экспериментальному участку № 1. В кровле рудного тела залегают зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, сероцветные тонко- и мелкозернистые песчаники, иногда с забалансовым оруденением. В почве рудного тела залегают серо-цветные тонко- и мелкозернистые песчаники, зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, красноцветные алевролиты. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины скважины представлены на рис. 7.



**Рис. 7.** Изменение величины модуля деформации по сечению барьерного целика (панель 18)

По результатам экспериментов наблюдается относительно равномерный характер распределения модуля деформации по сечению барьерного целика в диапазоне 5,5÷6,0 ГПа.

Средние значения модуля деформации пород, слагающих барьерные и междукамерные целики, приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Средние значения модуля деформации пород на экспериментальных участках

Местоположение участка	Глубина разработки, м	Средняя величина модуля деформации, ГПа	
		Барьерный целик	Междукамерный целик
Панель 53	625 ÷ 630	—	5,7
Панель 47	605 ÷ 610	5,9	6,6
Панель 18	510 ÷ 520	5,8	—

Выявлено, что средние значения модуля деформации в барьерных (5,9 ГПа) и междукамерных целиках (6,2 ГПа) приблизительно в 3 раза меньше среднего модуля деформации образцов, отобранных из нетронутого породного массива (19,3 ГПа). Как

уже ранее сказано в работах [5, 13], данное различие объясняется как наличием масштабного эффекта, так и методическими особенностями экспериментальных исследований.

#### 4. Выводы

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- установлено, что средний модуль деформации песчаника в барьерных целиках составляет порядка 5,9 ГПа, в междукамерных целиках – 6,2 ГПа;
- модуль деформации песчаника, определенный в лабораторных экспериментах примерно в 3 раза больше величины модуля деформации пород, полученного в натуральных условиях;
- результаты лабораторных и натуральных исследований могут быть использованы при математическом моделировании напряженно-деформированного состояния системы барьерных и междукамерных целиков, проводимого с целью совершенствования параметров системы разработки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500031-4)*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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 (научно-технический журнал). – 2023. – № 5. – С. 32-42. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_5\_0\_32.
2. 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, № 4, Dec. – P. 205-210.
3. Meyer T.O., McVey J.R. NX borehole jack modulus determinations in homogeneous, isotropic, elastic materials // US Bur Mines Rep Invest. – 1974. – № 7855. – 50 p.
4. ASTM D4971-08 Standard Test Method for Determining In Situ Modulus of Deformation of Rock Using Diametrically Loaded 76-mm (3-in.) Borehole Jack. – 2008. – 7 p.
5. 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.
6. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – Введ. 1986-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
7. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. – Введ. 24.04.91. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 19 с.
8. 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. – V. 21. № 3. – P. 165-181. – DOI: 10.1080/12269328.2018.1461139.
9. Palmström A., Singh R. The deformation modulus of rock masses – Comparisons between in situ tests and indirect estimates // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2001. – V. 16, № 2. – P. 115-131.
10. 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. – London, 2010. – P. 805-808.
11. Dixit M., Dev H., Singh R., Dhawan A.K. Insitu deformability characteristics of rock mass by Goodman Jack // 10th ISRM Congress. 2003–Technology roadmap for rock mechanics / South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2003. – P. 249-254.
12. 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: [сб. статей]. — Фрунзе, 1983. – С. 3-31.
13. Heuze F.E., Amadei B. The NX-borehole jack: A Lesson in trials and errors // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. – 1985. – V. 22, № 2. – С. 105-112.