

РЕЗУЛЬТАТЫ СКВАЖИННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО КАЛИЙНОГО РУДНИКА

Д.А. Поспелов, В.Н. Токсаров
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье приведены результаты натурального определения модуля деформации пород в окрестности одиночных выработок на руднике Гремячинского ГОКа с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана. Экспериментами установлено, что средний модуль деформации в массиве ангидрит-доломитовых пород составляет порядка 7,5 МПа, в массиве сильвинитовых пород – 3,0 МПа, в массиве карналлитовых пород – 2,0 МПа. Установлена взаимосвязь между нарушенностью приконтурного массива и модулем деформации в ангидрит-доломитовых и карналлитовых породах: относительно низкие значения модуля деформации характерны для нарушенного массива, а относительно высокие значения данного показателя – для нетронутого массива.

Ключевые слова: приконтурный массив, нетронутый массив, модуль деформации, скважинный гидродомкрат, деформационные свойства, зона нарушенности, натурные исследования.

Введение

В условиях Гремячинского калийного месторождения проведен комплекс натуральных измерений модуля деформации пород в окрестности одиночных горных выработок (рис. 1) с использованием скважинного гидродомкрата конструкции Гудмана, способного развивать давление до 70 МПа [1, 2]. Определение деформационных свойств пород выполнялось согласно стандарту [3]. Суть экспериментальных исследований заключалась в нагружении стенок скважины гидродомкратом с одновременным измерением давления и деформации [4-6]. Испытания деформационных свойств пород в горизонтальных скважинах проводились с шагом 0,3 м. По результатам испытаний строились диаграммы «напряжение-деформация». Подробно методика проведения испытаний и состав экспериментальной аппаратуры приведены в работе [7].

Измерения проводились на двух экспериментальных участках с тремя замерными станциями. Замерная станция № 1 располагалась в массиве ангидрит-доломитовых пород (рис. 1а), вторая и третья замерные станции располагались, соответственно, в массиве карналлитовых и сильвинитовых пород (рис. 1б).

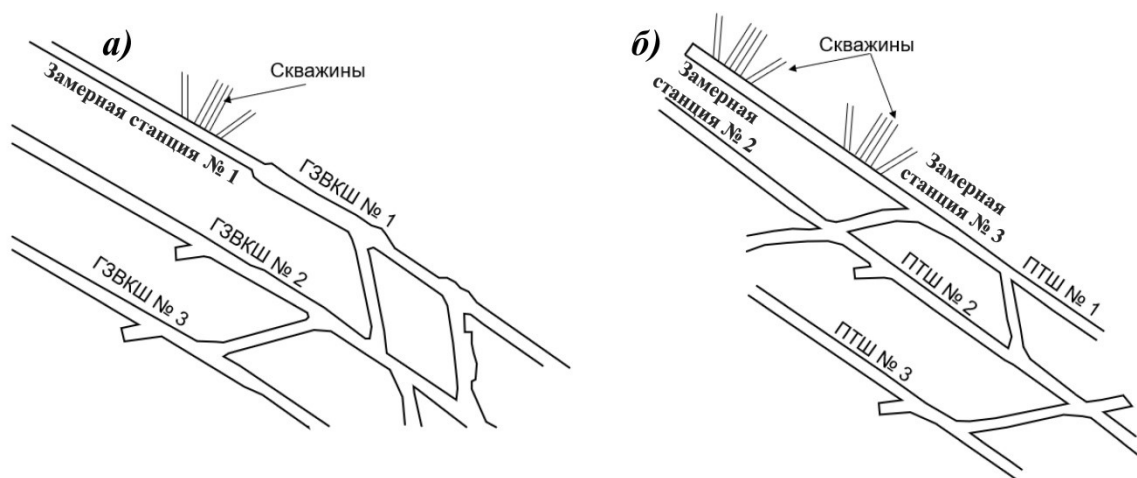


Рис. 1. Схемы размещения замерных станций в (а) ангидрит-доломитовых и (б) соляных породах

Результаты натуральных испытаний деформационных свойств ангидрит-доломитовых пород

На замерной станции № 1, расположенной в главном западном конвейерно-вентиляционном штреке № 1, было исследовано 8 горизонтальных скважин (рис. 1а). В экспериментальных скважинах № 5 и 6 модуль деформации пород определялся в вертикальном направлении, в остальных – в горизонтальном. Характерные графики изменения величины модуля деформации от глубины скважины представлены на рис. 2.

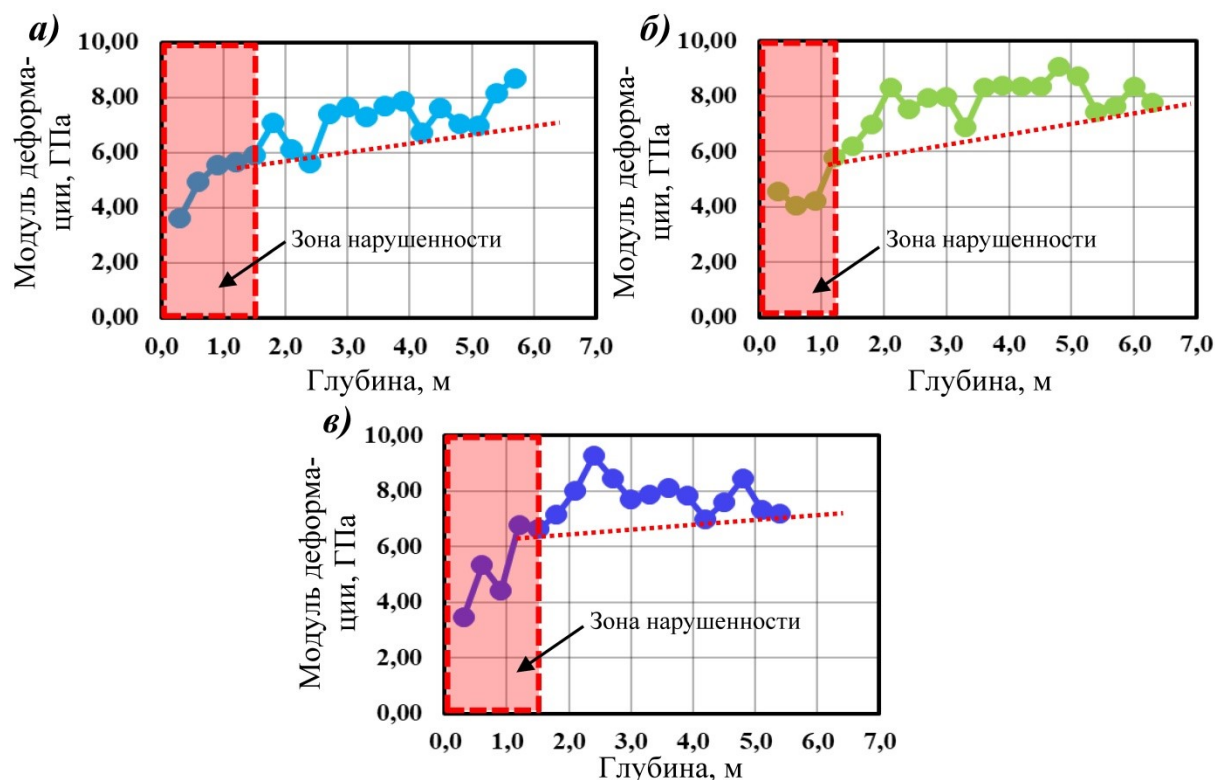


Рис. 2. Некоторые результаты оценки модуля деформации в приконтурном массиве ангидрит-доломитовых пород: (а) скважины № 3-4 (горизонтальное направление); (б) скважины № 7-8 (горизонтальное направление); (в) скважины № 5-6 (вертикальное направление)

Натурными экспериментами установлено, что на глубинах до 1,5 м, приуроченных к зонам нарушенности приконтурных пород, во всех восьми скважинах наблюдаются пониженные значения модулей деформации – порядка 3,5-6,6 ГПа (рис. 2). На больших глубинах величина модуля деформации пород составляет 7-8 ГПа и более.

Таким образом, наблюдается взаимосвязь между степенью нарушенности массива и модулем деформации пород: относительно низкие значения модуля деформации характерны для нарушенного массива, а относительно высокие значения данного показателя – для нетронутого массива (за зоной влияния горной выработки). Экспериментами установлено, что ширина зоны нарушенности в скважинах № 3 и 4 составляет около 1,8 м, в скважинах № 7 и 8 – порядка 1,2 м, в скважинах № 5 и 6 – 1,5 м.

Факт наличия взаимосвязи модуля деформации пород со степенью нарушенности подтверждается результатами полевых испытаний южнокорейских исследователей, проводивших измерения модуля деформации пород с использованием скважинного

гидродомкрата в туннеле, пройденном в массиве гранита [8]. Экспериментами установлено наличие пониженных значений модуля деформации (порядка 15 ГПа) на глубинах до 2 м и более высокие значения (порядка 35 ГПа) – за зоной влияния выработки (рис. 3).

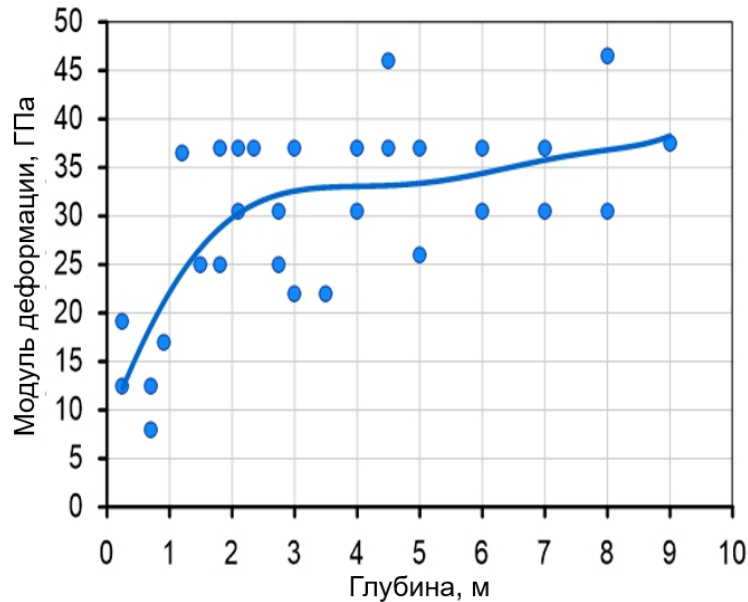


Рис. 3. Распределение модуля деформации с глубиной в горизонтальной скважине, пройденной в массиве гранита [8]

Результаты натуральных испытаний деформационных свойств карналлитовых пород

На замерной станции № 2, расположенной в полевом транспортном штреке № 1, проведены натурные испытания деформационных свойств карналлитовых пород (рис. 1 б). Определение модуля деформации пород в экспериментальных скважинах № 2 и 7 проводилось в вертикальном направлении, а в скважинах № 3-6 – в горизонтальном направлении. По результатам испытаний строились графики изменения величины модуля деформации от глубины скважины (рис. 4).

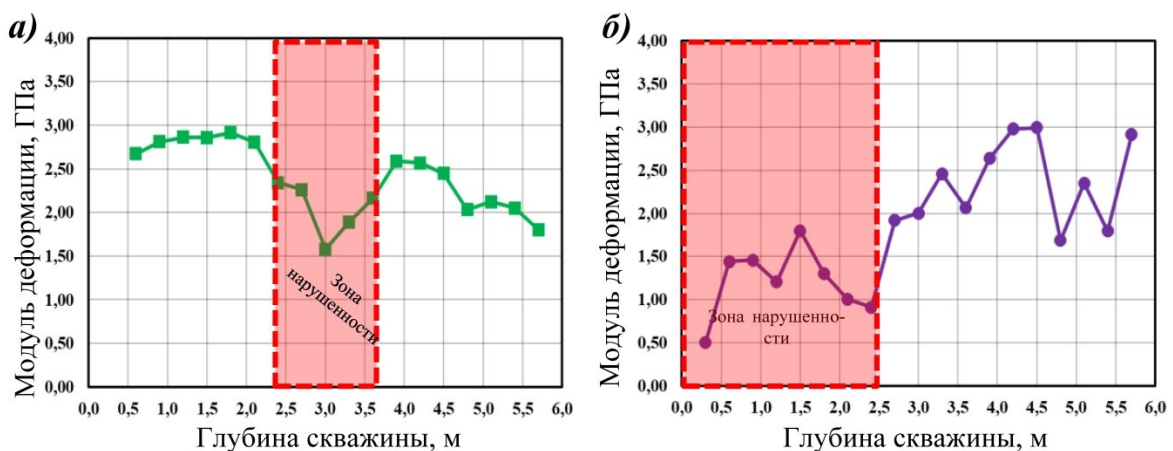


Рис. 4. Некоторые результаты оценки модуля деформации в приконтурном массиве карналлитовых пород: (а) скважина № 7 (вертикальное направление); (б) скважины № 4-5 (горизонтальное направление)

На графиках наблюдаются участки пониженных значений модуля деформации, как на контуре выработки, так и в глубине массива. Считаем, что данные участки также приурочены к зонам нарушенности пород. Таким образом, в карналлитовом массиве наблюдается зональное разрушение. При этом зоны нарушенности в карналлитовом массиве наблюдаются как вблизи контура выработки, так и в глубине массива.

Наличие зонального разрушения в приконтурном массиве карналлитовых пород может быть обусловлено следующими факторами:

- наличием в массиве неоднородностей, примесей;
- хрупкостью самого карналлита;
- предельным состоянием карналлитового массива (предел прочности на одноосное сжатие карналлита равен примерно $10 \div 11$ МПа притом, что $\gamma H = 25$ МПа).

Результаты натуральных испытаний деформационных свойств сильвинитовых пород

На замерной станции № 3, также расположенной в полевом транспортном штреке № 1, проведены натурные испытания деформационных свойств сильвинитовых пород в восьми горизонтальных скважинах (рис. 1б). Модуль деформации пород в скважинах № 9 и 15 определялся в вертикальном направлении, а в остальных – в горизонтальном. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины скважины представлены на рис. 5.

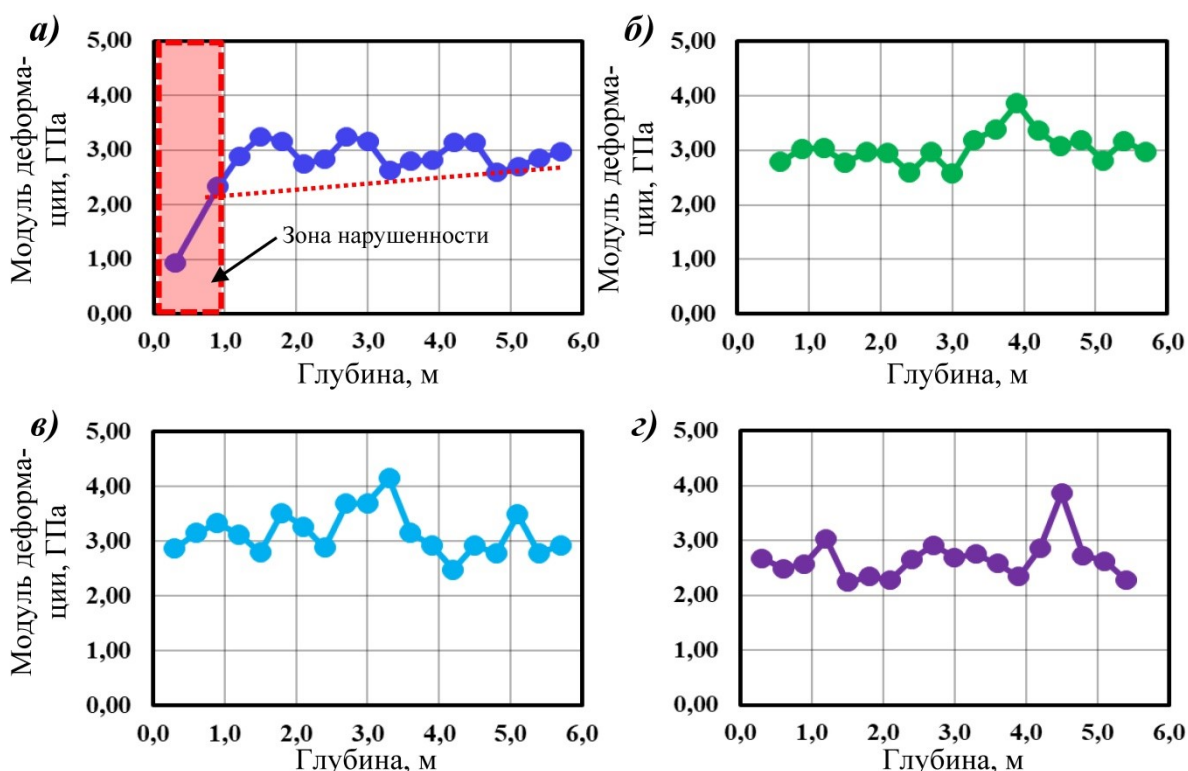


Рис. 5. Некоторые результаты оценки модуля деформации в приконтурном массиве сильвинитовых пород: (а) скважина № 8 (горизонтальное направление); (б) скважины № 10-11 (горизонтальное направление); (в) скважина № 14 (горизонтальное направление) (г) скважина № 9 (вертикальное направление)

На графиках наблюдается относительно равномерный характер распределения модуля деформации сильвинита по глубине. Вследствие отсутствия пористости в сильви-

нитовых породах их деформирование происходит, как правило, без разрыва сплошности, при этом на многих графиках связь между степенью нарушенности и модулем деформации пород не наблюдается (рис. 5).

По результатам проведения комплекса натуральных экспериментальных исследований получены осредненные значения модуля деформации пород в нетронутом массиве (табл. 1).

Таблица 1

Осредненные значения модуля деформации пород в нетронутом массиве

Наименование породы	Модуль деформации, ГПа
Вертикальное направление	
Ангидрит-доломитовые породы	7,53
Сильвинитовые породы	2,77
Карналлитовые породы	2,26
Горизонтальное направление	
Ангидрит-доломитовые породы	7,19
Сильвинитовые породы	3,02
Карналлитовые породы	1,90

Выводы

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

– средний модуль деформации в массиве ангидрит-доломитовых пород составляет порядка 7,5 МПа, в массиве сильвинитовых пород – 3,0 МПа, в массиве карналлитовых пород – 2,0 МПа;

– установлена взаимосвязь между нарушенностью приконтурного массива и модулем деформации пород: относительно низкие значения модуля деформации характерны для нарушенного массива, а относительно высокие значения данного показателя – для нетронутого массива. Особенно четко эта взаимосвязь прослеживается в приконтурном массиве ангидрит-доломитовых пород;

– установлено, что нарушенные зоны в карналлитовом массиве, характеризующиеся относительно низкими значениями деформационных свойств, наблюдаются как на контуре выработки, так и в глубине массива;

– в сильвинитовых массивах часто наблюдается равномерный характер распределения модуля деформации с удалением от контура выработки, вследствие чего оценить размеры зон нарушенности в приконтурной части массива по величине модуля деформации достаточно сложно.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meyer T.O., McVey J.R. NX borehole jack modulus determinations in homogeneous, isotropic, elastic materials // US Bur Mines Rep Invest, 1974. – № 7855.
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. 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.
4. 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. – V. 471, № 4. – № статьи 042010. – DOI: 10.1088/1757-899X/471/4/042010.
5. Agharazi A., Tannant D., Jafari A. Stress and tunnel geometry effects on deformation modulus derived from plate load tests: GeoEdmonton '08: 61st Canadian Geotechnical Conference. – 2008. – P. 601-608.
6. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л. Контроль состояния пород приконтурного массива в зоне влияния геологической аномалии // Геомеханика в горном деле: докл. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2014. – С. 187-194.
7. 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.
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.