

Науки о Земле

УДК 552.141+552.1:53+622.42

Доробов Раджабали
Radzhabali Dorobov



ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ВЫСОКОГОРЬЯ ТАДЖИКИСТАНА

GEOMECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS IN THE HIGH MOUNTAINS OF TAJIKISTAN

Отражены результаты использования методов геомеханических и геодинамических влияний изменений физических свойств и минералов массивов горных пород в условиях высокогорья. Из однородных горных пород происходят неоднородные при высокой влажности проходки транспортных тоннелей. Происходит напряженно-деформированная реакция изменения нагрузки и разгрузки, разрушение и свод давления на крепь при выработке. В этот момент проявляются экстремальные физические изменения значения массивов горных пород, повышение температурных компонентов и параметров в области магматических горных пород. Встречаются плотные массивные слабоплотчатые, иногда карбонизированные кварцитами серицито-углистыми и углисто-серицитовыми кварцитами и пегматитами породы. Из происхождений осадочных горных пород исследовалась среда мелкозернистых песчанников возраста S_1 (силур) в туркестанском хребте. Также встречались хлорит-слюдисто-кварцевая порода с карбонатным цементом

Ключевые слова: массивы горных пород, геомеханические сооружения, разрушения горных пород, разгрузка массива, свод давления, условия высокогорья Таджикистана

This publication reflects the results using methods of geomechanical and geodynamic influences and changes of physical properties of minerals from massifs rocks in the conditions of highlands. Non-uniform driving originates at high humidity of transport tunnels from uniform rocks. There is an intense deformed reaction of change, loading and unloading, destruction and pressure to attachment. At this moment extreme physical changes of massifs rocks value are shown, increase temperature parameters in the field of magmatic rocks are described. Sometimes we can meet dense and massive weak plain quartzite, sometimes carbonized quartzite seritsito-carbonaceous and carbonaceous quartzite and breed pegmatite. From origins of sedimentary rocks the environment of fine-grained sandstones of age of S-I (silur) in Turkestan ridge was investigated. Also chlorite-micaceous and quartz breed carbonate cement was investigated

Key words: rock masses, geomechanical and geodynamic processes, structures, rock breaking, unloading of the array, set pressure, conditions of high mountains of Tajikistan

Природа земного шара состоит из движения, состояния геомеханических возмущающих процессов массивов горных

пород, она великий геометр и математик: все ее операции или интерпретации происходят на строго геометрических данных,

пластах, слоях (коры земли), числах (минералов), которые она применяет к своим творениям. Поэтому земля стабильно движется и изменяется.

Знание закономерностей поведения массивов горных пород при воздействии различных силовых полей необходимо для определения напряженного состояния массивов горных пород, оценки устойчивости горных выработок на различных глубинах, выбора различных видов крепления, поддержания выработок и для решения других задач математической геологии и горного инженерного производства. В данной работе изложены результаты исследований деформационных свойств некоторых разновидностей массивов магматических, метаморфических и осадочных горных пород.

Исследования деформационных характеристик горных пород проведены в математическом статистическом режиме горной геологии методом тензометрирования

с помощью различных математических интерпретаций и исчислений. Образцы имели эллипсоидальную (геоидальную), цилиндрическую и полуэллиптическую формы диаметром 50 мм, высотой 90 мм, основанием 25 мм, радиусом $R = 22,5 \dots 17,5$ мм, радиусом $R = 42,3 \dots 47,3$ мм, высотой 5,3...7,85 мм, основанием 62,4...80 мм. Испытания проводили при одноосном сжатии в режиме циклического нагружения. В первом цикле нагружение производили до нагрузок, равных $\sigma_{сж} = 0,3$, во втором $\tau_{сж} = (0,5 \div 0,6)$ и в третьем до полного разрушения.

Разгрузки проводили до минимального прижимного усилия, необходимого для предотвращения нарушения центровки образца. Значения модуля деформации (Д) определены по отношению действующих напряжений в образце к величине полных продольных деформаций $\varepsilon_{пр}$.

Характеристика геомеханических и геодинамических массивов горных пород перевала Уштур и Шахристан

В условиях высокогорья перевала Уштур и Шахристан развиты в основном магматические горные породы, которые содержат апатит-нефелиновые руды. Содержание апатита колеблется от 14,8 до 64,2 % с размерами зерен 1...3 мм. В уртитах и ийолитах содержание нефелина достигает 64...67 % с преимущественным размером зерен 3...6 мм. В ийолитах содержание эгирин-диопсида 40 % с размерами зерен 0,5...2 мм. Развитие получили также габбро, пироксениты, гранодиориты, граниты, диориты, сиениты и их эффузивные разновидности: базальты и дациты, липариты, андезиты, трахиты. На контакте магматических и карбонатных горных пород развиты скарновые образования, сложенные преимущественно типично скарновыми минералами. Эти минералы, в ряде случаев, локализованы в тектонических нарушенных зонах, которые наблюдаются в виде прямолинейных (параллельных) трещин на отдельных участках строительства транспортных тоннелей перевала Уштур и Шахристан. Во внутренних участках

встречаются высоковлажные неоднородные и однородные осадочные горные породы. Методика исследования и расчеты предполагают, что в случае неоднородных массивов горных пород в условиях высокогорья горные выработки при строительстве транспортных тоннелей должны иметь прямоугольное сечение, а не трапециевидное. Трапециевидное сечение горных выработок целесообразно использовать только в условиях крепких однородных $\rho = [7 \div 10]$ массивов горных пород и для малопродетных тоннелей или лавиноопасных участков транспортных тоннелеобразных галерей. Для определения типа сечения горных выработок и способа проходки для обеспечения минимальной напряженности важно знание переходов между однородными и неоднородными участками в массиве; в условиях неоднородности повышается влажность, влияющая на устойчивость горных пород. Воздействие на крепь происходит в виде напряженно-деформированной реакции разгрузки, разрушения и свода давления. В этот момент реакция шахт

проявляется экстремальным физическим изменением массивов горных пород. Изменяется температура компонентов параметров массивов горных пород, резко увеличивается равномерность ее распределения, особенно на контактах плотных, массивных магматических горных пород со слабопластичными, иногда карбонатизированными кварцитами, серицито-углистыми и углисто-серицитовыми кварцитами и пегматитами.

Из осадочных горных пород в Туркестанском хребте исследовались мелкозернистые песчаники силурийского возраста с хлорит-слюдисто-кварцевым или с карбонатным цементом. Все исследованные образцы отобраны из специальных и отдельных пород в условиях высокогорья разведочных скважин, не подвергнутых процессу выветривания, пористость их не превышает 2...6 %.

Результатами исследования характеристик упругости являются показатели динамического процесса, когда энергия передается от одних частиц к другим, в связи с этим они чувствительны к различным структурным неоднородностям – трещиноватости, пористости, слоистости, размеру минеральных зерен и ориентировке этих неоднородностей к направлению действующих нагрузок. Анализ деформационных графиков исследуемых горных пород показал, что в зависимости от наличия в них тех или иных неоднородностей наблюдаются

различные виды деформирования: с развитием остаточных деформаций и без них, с увеличением значения модулей деформации в процессе нагружения образца, или же величины D остаются постоянными на всем участке деформационной кривой.

По причинам, обуславливающим изменение значений модуля деформации в процессе нагружения, исследуемые горные породы, независимо от их генезиса, разделяются на три основных вида.

Первый вид представлен процессом деформирования горных пород, который обусловлен смыканием трещин и пор. В этом случае при разгрузке, как правило, наблюдаются остаточные деформации и при последующем нагружении значение модуля деформации возрастает, происходит своеобразное «выкачивание деформаций», образец уплотняется.

К такому типу деформирования относятся пегматиты (рис. 1), состоящие из крепких и гигантозернистых минералов, что обуславливает микротрещиноватость на контактах между ними, и лейкократовые гнейсы с направлением ориентированных минералов (полевых шпатов) перпендикулярно к оси образца (рис. 1). При снятии напряжений в таких породах наблюдаются необратимые деформации порядка 7...14 % и при повторном нагружении значения модуля деформации увеличивается на 10...16 %, что связано с уплотнением контактов между зернами.

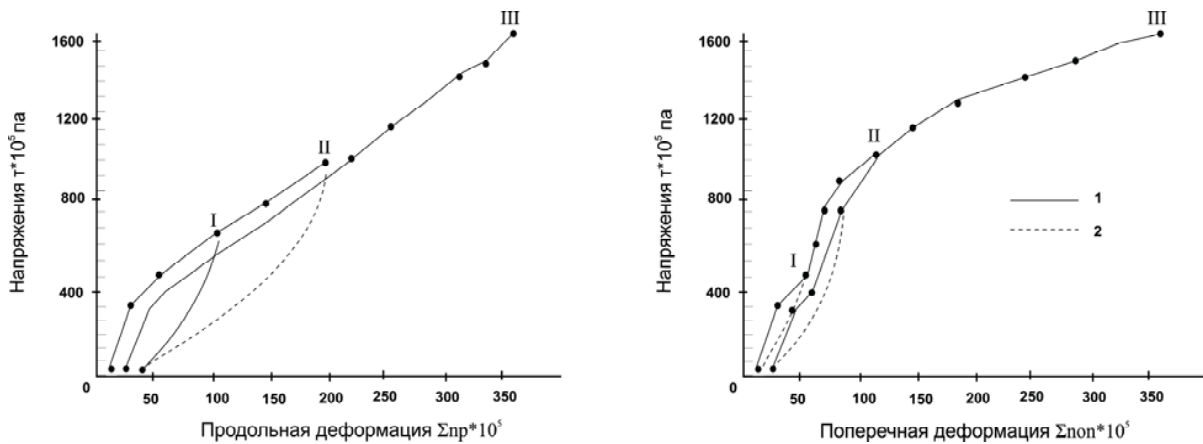


Рис. 1. График деформирования пегматита (обр. 9-17) I-III циклы нагружения: 1 – линия нагружки; 2 – линия разгрузки

При втором виде деформирования величина деформации складывается из деформации самих минеральных зерен и деформаций, обусловленных сдвигом по поверхностям слоистости, спайности, трещиноватости, как правило, расположенных под некоторым углом к направлению приложенных нагрузок. В этом случае остаточные деформации могут достигать су-

щественных значений (20...30 %) и при последующем напряжении величина модуля деформации уменьшается на 12...20 %. Такой тип деформирования свойственен углисто-серицитовым сланцам (рис. 2), биотитовым гнейсам, богатым апатит-нефелиновым рудам, песчаникам, кварцитам и конгломератам.

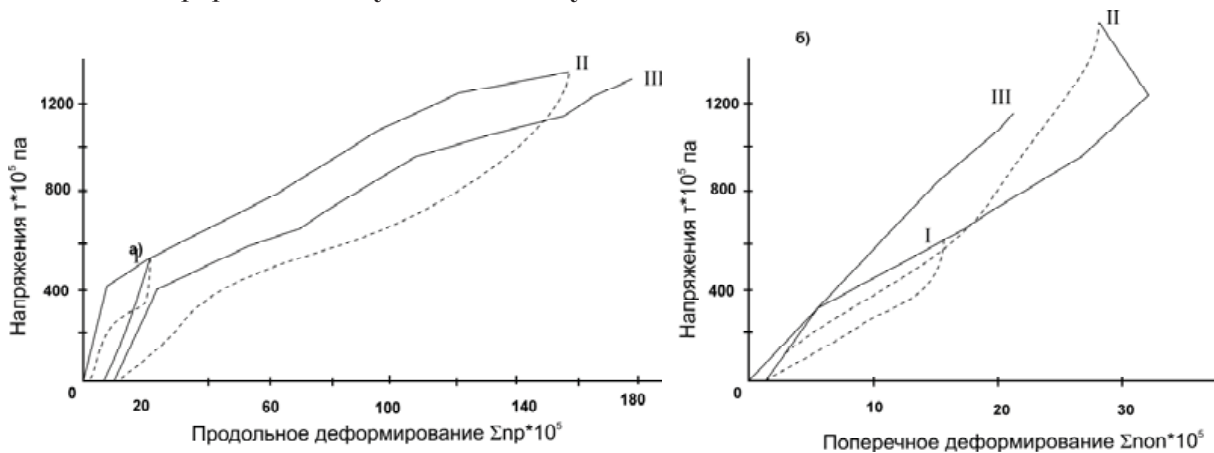


Рис. 2. Характерные кривые продольного (а) и поперечного (б) деформирования сланца

Предел упругости углистых сланцев не превышает $\tau_{сж} = 0,2 \div 0,3$, затем наблюдается увеличение приращения относительных продольных деформаций и, следовательно, уменьшение значений модуля деформации от $6,65 \cdot 10^{10}$ Па до $5,65 \cdot 10^{10}$ Па.

Характер деформирования биотитовых гнейсов определяется содержанием в них биотита и ориентировкой слоистости. При содержании биотита 15...20 % и направлении слоистости под углом $30...10^0$ к оси образца наблюдается уменьшение значений модуля деформаций по поверхностям зерен биотита.

При содержании биотита до 10 % величина модуля деформации остается постоянной в пределах погрешности метода $\sigma_{сж} = 5,7 \div 6,1 \cdot 10^{10}$ Па. У осадочных пород (песчаники, кварциты, конгломераты) уменьшение значений модуля деформации составит 12...30 % (см. таблицу), что обусловлено деформированием карбонатов, обладающих невысокой упругостью и входящих в состав цементирующего вещества

песчаников, а также присутствием в них слюдистого цемента.

Ко второму типу деформирования также относятся богатые апатит-нефелиновые руды (содержание апатита 60...90 %) и линзовидно-полосчатые апатит-нефелиновые руды с четкими апатитовыми прослоями. Причем на этих породах количественно можно оценить влияние неоднородностей на величину модуля деформации, благодаря исследованию деформационных характеристик основных породообразующих минералов (apatита, нефелина, полевого шпата, эгирин-диопсидант) [1] исследования на минералах свидетельствуют об их упругом деформировании, вплоть до разрушения.

Величина модуля деформации апатита составляет $9,4 \cdot 10^{10}$ Па, нефелина, — $6,3 \cdot 10^{10}$ Па, в то время как для различных образцов богатых апатитовых руд вариации значений D составляет $(2 \div 6) \cdot 10^{10}$ Па, т.е. в 1,5-3 раза ниже, чем для минералов горных пород, содержащих значительное

количество апатита (60...90 %); порода с прослойками чистого апатита деформируется упруго только до нагрузок, составляющих 30...50 % от разрушающих, после чего линейность между напряжением и деформациями нарушается. Это свидетельствует о появлении пластической составляющей. При разгрузке наблюдаются остаточные деформации порядка 10...30 %. При последующем нагружении величина модуля упругости уменьшается, а для пластической составляющей возрастает. Низкие величины модуля деформации и проявление неупругого характера деформирования апатит-нефелиновых руд объясняются характерными особенностями апатита: он часто имеет гладкие поверхности зерен, отчего чрезвычайно плохо контактирует с другими минеральными зёрнами, обуславливает сравнительно свободное смещение их относительно друг друга, вследствие чего появляются необратимые деформации. Последние увеличиваются с возрастанием содержания в рудах апатита.

Третий вид деформирования горных пород в основании определяется деформацией самих минеральных зерен, как правило, контакты между минералами в таких породах хорошие и плотные. В этом случае остаточные деформации или отсутствуют, или имеют вид упругого последодействия, значение модуля деформации в различных циклах нагружения постоянное в пределах погрешности метода. К таким породам относятся: кварцит безрудный, гнейс с неориентированными минералами и большая часть исследованных магматических горных пород – ортиты, ийолиты, бедные апатитовые руды без четких апатитовых прослоек, габбро-пироксениты, граниты, станины, в которых модуль деформации после напряжений составляет более $\sigma_{сж} = 0,5$ (в пределах погрешности метода остается постоянным). Характерный график деформирования таких горных пород представлен на рис. 3.

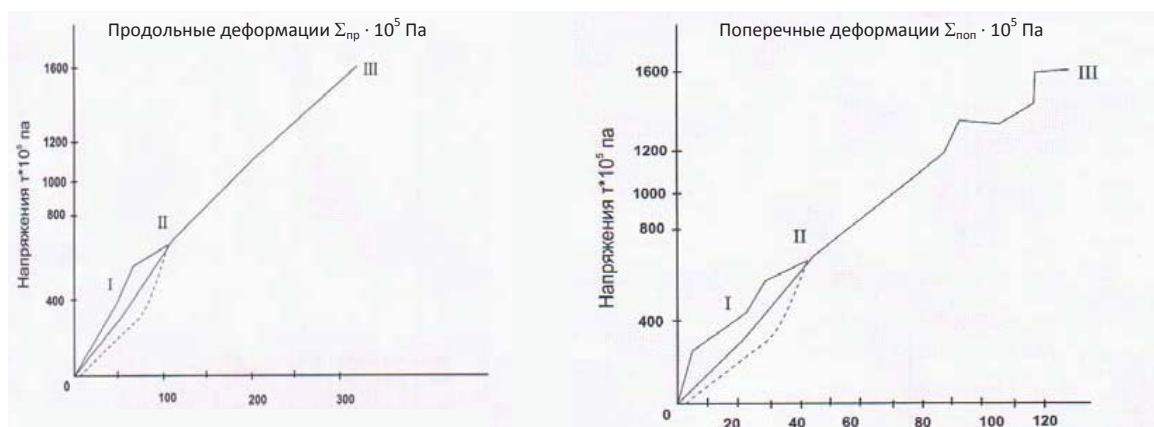


Рис. 3. График деформирования лейкократного гнейса

В массивах равномерно зернистых пород без ярко выраженных структурных неоднородностей хорошо прослеживается влияние минерального состава на деформационные свойства. С повышением содержания высокоупругих минералов (магнетита с $E = 23 \cdot 08 \cdot 10^{10}$ Па пироксена с $E = 14 \cdot 68 \cdot 10^{10}$ Па) [2] значения модуля деформации пород возрастают, из всего комплекса исследованных пород макси-

мальные значения D имеют рудные кварциты ($11.9 \cdot 10^{10}$ Па), состоящие из кварца (75 %) и магнетита (20 %). Относительно высокие и примерно равные величины модуля деформации ($8.4 \cdot 10^{10}$ - $8.7 \cdot 10^{10}$ Па) имеют амфиболиты, ийолиты, габбро и пероксиниты (см. таблицу), состоящие на 40...50 % из пироксенов и амфиболов. Вариации значений модуля деформации остальных пород находятся в пределах $(5.3 \div 7.7) \times 10^{10}$ Па.

Характеристики горных пород перевала Уштур и Шахристан в условиях высокогорья

Порода	Плотность $\rho 10^3 \text{ кг/м}^3$	При $\sigma \approx 0,0\sigma_{сж}$		При $\sigma \approx 0,9\sigma_{сж}$		Предел прочности при сжатии $\sigma \approx 00 \sigma_{сж}$	Район
		Модуль деформации D_1	Коеф. Пуассона ν_1	Модуль деформации D_2	Коеф. Пуассона ν_2		
Магматические породы							
Бедные апатиты	2,92	7,45	0,35	7,36	0,28	1150	Уштур
Нефелиновые руды	2,79	7,70	0,24	7,50	0,29	1610	Уштур
Утрит	2,85	8,40	0,15	8,10	0,39	1800	Уштур
Ийолит	3,12	8,70	0,18	8,15	0,23	2050	Ушт. Шахристан
Габбро	3,14	8,70	0,24	8,50	0,18	1150	Ушт. Шахристан
Пироксенит	2,68	5,90	0,20	6,10	0,49	2230	Ушт. Шахристан
Гранидиорит	2,68	6,60	0,28	6,40	0,51	2200	Ушт. Шахристан
Гранит	3,21	11,90	0,22	10,90	0,29	2440	Ушт. Шахристан
Метаморфические породы							
Кварцит рудный	2,95	8,50	0,20	7,50	0,47	1960	Ушт. Шахристан
Амфиболит	2,77	6,50	0,26	5,70	0,46	1920	Ушт. Шахристан
Амфиболбиотитовый гнейс	2,70	6,20	0,28	5,00	0,36	1750	Ушт. Шахристан
Биотитовый гнейс	2,66	5,27	0,27	5,73	0,38	1660	Ушт. Шахристан
Лейкократовый гнейс	2,64	5,75	0,27	6,00	0,34	1950	Ушт. Шахристан
Пегматит	2,68	5,62	0,09	5,70	0,12	2780	Ушт. Шахристан
Кварцит безрудный	2,68	6,43	0,06	6,69	0,11	1950	Ушт. Шахристан
Кварцит карбонатизированный	2,93	7,32	0,10	5,87	0,16	1270	Ушт. Шахристан
Серицит-углистый Углисто-серицитовые сланцы	2,81	6,65	0,22	5,15	0,23	1150	Ушт. Шахристан
Осадочные породы							
Песчаник	2,71	5,90	0,22	4,80	0,28	1950	Ушт. Шахристан
Алевролит	2,76	6,70	0,21	5,90	0,35	1760	Ушт. Шахристан
Конгломерат	2,63	6,40	0,10	4,50	0,12	1560	Ушт. Шахристан

На рис. 4 представлена зависимость величин модуля деформации от напряжений исследованных пород. Анализ графиков свидетельствует о большом разбросе значений D (деформация) для всех горных пород в угольной области нагружения, что объясняется структурными неоднороднос-

тями горных пород, которые в большей мере проявляются в начале нагружения. При дальнейшем нагружении значения D стабилизируются и составляют для основной группы лейкократовых горных пород $(5.6 - 6.2) \cdot 10^{10}$ Па.

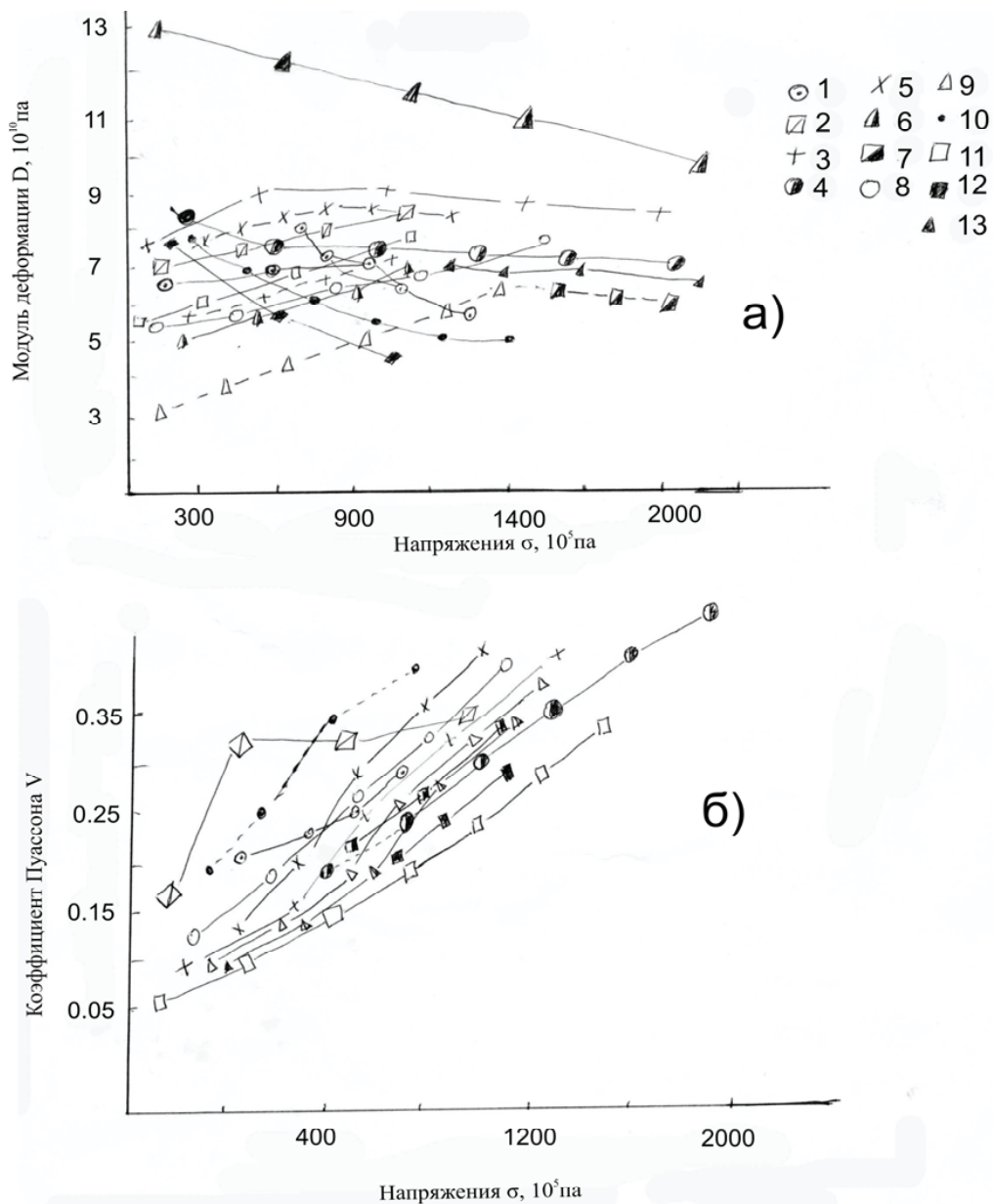


Рис. 4. Изменение модуля упругости (а) и коэффициента Пуассона (б) горных пород различного происхождения с увеличением напряжений: 1 – бедные апатито-нефлиновые руды; 2 – уртит; 3 – ийолит; 4 – габбро; 5 – гранит; 6 – кварцит руды; 7 – амфиболит; 8 – пегматит; 9 – лейкократовый гнейс; 10 – амфибол-биотитовый гнейс; 11 – безрудный кварцит; 12 – серицит-углистый сланец; 13 – песчаник

Для большинства меланократовых горных пород, как правило, наблюдается относительное превышение продольных деформаций и, следовательно, уменьшение значений D на 8...15 %, что связано с появлением интенсивной трещиноватости. В отличие от модуля деформации для коэффициента Пуассона наблюдается возрас-

тание значений в основном от 0,15 до 0,41 (рис. 4 б), что обусловлено опережающим ростом поперечных деформаций по отношению к продольным, т.е. разрыхлением горных пород. Этот же факт свидетельствует о преимущественном развитии трещиноватости в направлении, близком к направлению приложенных сил. В некоторых

образцах перед разрушением значения коэффициента Пуассона превышают 0,5, что свидетельствует о том, что тензометры позволяют фиксировать деформации вплоть до нарушения сплошности. По графику (рис. 4 б) видно, что наиболее низкие величины ($\nu = 0,05 \div 0,20$) имеют безрудные кварциты, что обусловлено содержанием в породах основного минерала-кварца, имеющего минимальное значение коэффициента Пуассона (0,08) и подтверждает положение и зависимости показателей деформационных характеристик от содержания основных пороодообразующих минералов.

Проведенное исследование показало, что деформационные характеристики горных пород в условиях высокогорья не зависят от их происхождения. Характер деформирования в основном определяется структурными неоднородностями горных пород, а деформация величины модуля — минеральным составом. В пегматоидных и слоистых породах с ориентировкой слоистости перпендикулярно к оси образца наблюдаются остаточные деформации и увеличение на 10...15 % значений модуля деформации в процессе нагружения за счет уплотнения контактов между слоями и минеральными зёрнами. В породах с ориентировкой слоистости или трещиноватости под углом 30...90° к оси образца, а также при содержании слоистых минералов и минералов с гладкими поверхностями зёрен (таких как апатит) значения модуля деформа-

ции минералов привели к сдвигению по поверхностям слоистости. В массивных однородных породах величины модуля деформации, как правило, остаются постоянными в пределах погрешности метода. На этих породах хорошо прослеживается влияние минерального состава на деформационные свойства: с повышением содержания минералов, имеющих высокую упругость, модуль деформации горных пород возрастает.

Коэффициент Пуассона при исследовании массивов горных пород в условиях высокогорья, при условии монотонного нагружения, возрастает от 0,15 до 0,41, что является следствием разуплотнения горных пород и свидетельствует о преобладающем развитии трещиноватости в направлении, близком к направлению приложенных сил.

Таким образом, отметим, что в статье предоставлены исследования магматических, метаморфических и осадочных горных пород в условиях высокогорья. Они зависят от состояния напряженно-деформированных нагрузок:

- наблюдается характер изменения направления ориентированных минералов;
- величина деформации складывается из деформации самих минеральных зёрен и деформаций, обусловленных сдвигом по поверхностям слоистости, спайности, трещиноватости, расположенных, как правило, под некоторым углом к направлению приложенных нагрузок.

Литература

1. Аманалиев А.А. Напряженно-деформированное состояние пород вокруг подземных выработок, пройденных в слоистом массиве горной местности. Бишкек, 1997. 276 с.

2. Доробов Р. Физико-динамическое воздействие на состояние нагрузок напряжения и закономерности, деформирования массивы горных пород различного генезиса перевала Уштур и Шахристан в условиях высокогорья // Вестник ТТУ им. академ. М.С. Осими. № 10. 2010. С. 11-19.

3. Черняк И.Л. Управление состоянием массива горных пород. М., 1995. 186 с.

References

1. Amanaliev A.A. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie porod vokrug podzemnykh vyrabotok, proydennykh v sloistom massive gornoj mestnosti* [Stress-strain state of rock-circle underground workings driven in a layered array highlands]. Bishkek, 1997. 276 p.

2. Dorobov R. *Vestnik TTU im. akadem. M.S. Osimi* (Bulletin of TTU named after acad. M.S. Osimi). No. 10. 2010. Pp. 11-19.

3. Chernyak I.L. *Upravlenie sostoyaniem massiva gornykh porod* [Controlling of rock mass state]. M., 1995. 186 p.

4. Таджикибоев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причина горных ударов. Фрунзе, 1989. 238 с.

5. Мансуров В.А. Прогнозирование разрушения горных пород. Фрунзе, 1990.

6. Физика горных пород при высоких давлениях. М., 1991. 211 с.

7. Курленя М.В., Миренков В.Е. Методы математического моделирования подземных сооружений. Новосибирск, 1994. 178 с.

8. Физика горных пород. Горное давление. Киев, 1990. 312 с.

9. Дмитриев А.П. Термодинамические процессы в горных породах М., 1990. 186 с.

10. Разрушение горных пород при статическом и динамическом нагружении. Киев, 1990. 274 с.

11. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М., 1984. 258 с.

12. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр. Информационный сборник. № 4. М., 1996.

4. Tadjiboev K.T. *Usloviya dinamicheskogo razrusheniya gornyh porod i prichina gornyh udarov* [Conditions of dynamic fracture of rocks and the reason of rock bursts] Frunze, 1989. 238 p.

5. Mansurov V.A. *Prognozirovaniye razrusheniya gornyh porod* [Predicting of rocks fracture]. Frunze, 1990.

6. *Fizika gornyh porod pri vysokih davleniyah* (Physics of rocks at high pressures). M., 1991. 211 p.

7. Kurlenya M.V., Mirenkov V.E. *Metody matematicheskogo modelirovaniya podzemnyh sooruzheniy* [Methods of mathematical modeling of underground structures]. Novosibirsk, 1994. 178 p.

8. *Fizika gornyh porod. Gornoe davlenie* [Physics of rocks. Mining pressure]. Kyiv, 1990. 312 p.

9. Dmitriev A.P. *Termodinamicheskie protsessy v gornyh porodah* [Thermodynamic processes in rocks] Moscow, 1990. 186 p.

10. *Razrusheniye gornyh porod pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhenii* [Destruction of rocks under static and dynamic loading]. Kyiv, 1990. 274 p.

11. Rzhvesky V.V., Novik G.Ya. *Osnovy fiziki gornyh porod* [Basic physics of rocks]. M., 1984. 258 p.

12. Kuzimin Yu.O. *Geologicheskoe izuchenie i ispolzovanie neдр. Informatsionny sbornik* (Exploration and use of mineral resources. Informational collected articles). No. 4. 1996.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Доробов Р., ст. преподаватель, каф. «Теоретическая и экспериментальная физика», ТГПУ им. С. Айни, г. Душанбе, Таджикистан
Сот. тел.: 89141370406

R. Dorobov, senior teacher, Theoretical and Experimental Physics department, TSEU named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

Научные интересы: геомеханика и геодинамика, физика горных пород, рудничная аэрогазодинамика и тепловая физика

Scientific interests: field of geomechanics and geodynamics, physics of rocks, miner aerogas dynamics and thermal physics

