Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. XXXII, 1980 г.

УДК 622.831

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

С.Д.ЩЕРБАКОВ, П.Н.ЯШИН

При оценке устойчивости подземных горных выработок в условиях тепловых воздействий, обусловленных глубиной ведения работ или технологическими факторами, необходимо предварительно исследовать изменения физико-механических свойств вмещающих пород в рассматриваемом диапазоне температур.

Тепловое воздействие на породный образец приводит к изменению его внутренней структуры и, следовательно, прочностных и деформационных свойств. Систематическое изучение этого вопроса, начатое в 60-х годах XX в., в основном развивалось в двух направлениях: исследование терморазрушения горных пород и изучение поведения пород при больших давлениях и температуре [1,2]. Для этих исследований разработаны соответствующие методики, аппаратура и математический аппарат. Однако тепловое воздействие на образец в этих опытах весьма велико, а области температур до 373 К, как правило, не рассматриваются.

В наши задачи входило исследование поведения пород при нагревании до 373 К, для чего были созданы специальные методика и аппаратура. Исследовались прочностные и деформационные свойства прочных горных пород - биотитовых гнейсов с различной степенью биотизации и окварцованност и метадиабазов.

Влияние температуры нагрева на прочность пород определялось с помощью прибора-пробника с ручным приводом БУ-39 [3], предназначенного для комплексного определения прочностных и деформационных характеристик горных пород в лаборатории и полевых условиях на образцах произвольной формы. Прибор основан на принципе раскалывания образца соосными встречно-направленными шаровыми идеторами. В процессе испытания определялась разрушающая нагрузка и площадь раскола образца, по которым рассчитывался предел прочности образца на растяжение.

Известно, что данный показатель зависит от размеров образцов, поэтому после их испытаний прибором-пробником БУ-39 прочностные характеристики приводились к стандартной площади 15×10^{-4} м^2 [3]. Для исключения

Таблица 1

Прочность образцов IУ группы

$F, 10^{-4}$ м^2	При температуре 293 К		При температуре 373 К	
	$\sigma_р, 10^5$ Па	ν, %	$\sigma_р, 10^5$ Па	ν, %
1,5-2,5	202	32	153	47
2,5-3,5	-	-	147	27
3,5-4,5	129	27	118	34
4,5-6,5	117	20	108	19

влияния размеров и формы образцы изготавливались из кернов в виде дисков высотой 0,01 м и диаметром 0,04 и 0,056 м.

Образцы разбивались на группы, сходные в минералогическом отношении (крупность зерна, содержание биотита и кварца):

I. Гнейс неоднородный, серого цвета, средне-мелкозернистый, с преобладанием кварца и полевых шпатов, иногда неравномерно распределенных в общей массе.

II. Гнейс неоднородный, с преобладанием биотита. Биотитовые чешуйки различных размера и формы. Кварц представлен в виде зерен от мелких до крупных. В общей массе пород группа биотита выступает как основной породообразующий минерал и придает им особые прочностные характеристики. В эту же группу включены и однородно-окварцованные образцы, имеющие большие участки скопления биотита.

III. Гнейс различного минералогического состава с явно выраженной трещиноватостью. Трещины залечены хлоритом и кальцитом. Сюда же отнесены и чисто кварцевые породы, имеющие трещиноватость.

IУ. Гнейс биотитовый, неравномерно-зернистый, неоднородный, с преобладанием жильного кварца. Жилы различной ориентации и мощности в однородной массе кварца, плагиоклаза, биотита и акцессорных минералов, в общем строении породы они занимают незначительное место.

Половина образцов группы испытывалась при комнатной температуре, остальные - при нагревании до 373 К (табл.I). По площади разрушения образцы каждой группы делились на подгруппы; для каждой подгруппы подсчитывались значения прочности σ и коэффициент вариации ν.

Как видно из табл.I, коэффициент вариации каждой подгруппы высок. Это можно объяснить малым количеством образцов в подгруппе; большой изменчивостью минералогического состава; наличием включений.

По мере увеличения размеров образцов разброс значений их прочности уменьшался. Приведенная к площади $15 \cdot 10^{-4}$ м^2 прочность нагретых (373 К) и ненагретых (293 К) образцов соответственно равна $57 \cdot 10^5$ и $60 \cdot 10^5$ Па. Таким образом, приведенная прочность и средние показатели по подгруппам у нагретых образцов оказались ниже, чем у ненагретых.

Для количественной оценки изменения прочности использовался коэффициент

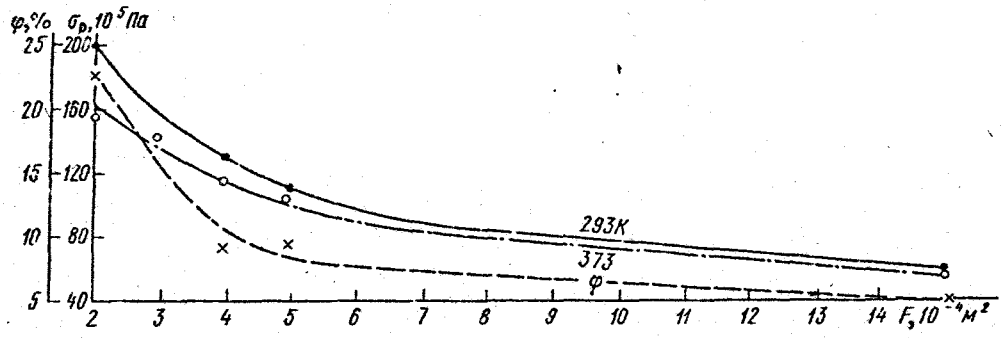


Рис.1. Зависимость прочности на растяжение от площади н етых и ненагретых образцов неоднородного гнейса с прожилками кварца

$$\varphi = \frac{\sigma_0 - \sigma_т}{\sigma_0} \cdot 100,$$

где σ_0 и $\sigma_т$ - прочность соответственно ненагретых и нагретых образцов.

Для образцов IУ группы коэффициент φ подгрупп (2,0; 4,0; 5,0)·10^{-4} $м^2$ соответственно равен 24,2; 8,5; 9,4 %; $\varphi_{ср}$ = I4 %. Для площади раскола I5·10^{-4} $м^2$ φ = 5 %.

Из предварительных результатов видно, что при нагреве образцов их прочность снижается; степень снижения прочности образцов при нагреве уменьшается по мере увеличения площади образца (рис.I).

Значения коэффициента φ для образцов I, П, Ш и IУ групп соответственно равны 4; I5; 9 и I4 %. Среднее значение φ по всем группам составило I0 %, т.е. прочность образца на растяжение при нагреве его до 373 К снижается на I0 %.

При исследовании влияния температуры на деформационные свойства образцов был выбран динамический метод испытаний, который дает несколько отличные от статических методов значения модуля упругости. Однако, учитывая возможность многократного проведения испытаний на одном образце при различной температуре и относительно низкие (в нашем случае) температурные воздействия, этот метод позволяет получить довольно хорошую качественную картину.

Испытания образцов проводилось ультразвуковым импульсным методом. Испытывались образцы биотитового гнейса с разной степенью окварцованности и хлоритизации при температуре от 293 до 393 К с интервалом 20 К. Из четырех различных кернов (№ 9; 6; 4; I4) было изготовлено I6 призматических образцов (по четыре из каждого) с основанием 0,0I х 0,0I м и высотой 0,05 м.

Образцы, помещенные в камеру, нагревались до определенной температуры и прозвучивались. В процессе испытаний замерялось изменение времени прохождения ультразвукового импульса. Модуль упругости подсчитывался по формуле

$$E = \frac{C^2 \gamma}{g},$$

Таблица 2

Значения динамических модулей упругости гнейса E и коэффициента φ при различной температуре нагревания образцов № 6, 9, 4 и 14

Температура нагревания образца, К	$E, 10^{10}$ Па				φ, %			
	6	9	4	14	6	9	4	14
293	1,69	1,52	1,52	1,98	0	0	0	0
313	1,68	1,50	1,51	1,97	0,6	1,3	0,6	0,5
333	1,66	1,48	1,48	1,94	1,7	2,6	2	2
353	1,62	1,46	1,48	1,90	2,9	3,9	2,6	4
373	1,60	1,45	1,46	1,86	5,3	4,6	4	6
393	1,57	1,42	1,43	1,84	7,1	5,9	5,2	7

где C - скорость распространения ультразвукового импульса через образец, м/с; γ - объемный вес образца, Н/м^3; q - ускорение свободного падения, м/с^2; $C = l / \Delta t$; l - длина образца, м; Δt - время прохождения ультразвукового импульса через образец, с.

Затем определялись средние модули упругости для четырех проб (табл.2).

Для установления качественного изменения упругого состояния пород можно пользоваться коэффициентом относительного изменения модуля при нагреве

$$\varphi = \frac{E_{293K} - E_T}{E_{293K}} \cdot 100,$$

где E_{293K} и E_T - модуль упругости соответственно при комнатной температуре и при нагревании до температуры T, Па.

Как видно из табл.2, максимальное уменьшение модуля упругости для гнейсов при нагревании до 393 К равно 7,1 %, минимальное 5,2 %, среднее 6,3 %. При температуре нагрева образцов 333 К коэффициент $\varphi_{E_{ср}} = 2,1$ %.

Характер снижения модулей упругости, определенный по их средним значениям для группы и для гнейсов в целом (среднее для четырех групп), близок к линейному.

Как известно, длительное воздействие нагрузки на образец может привести к его ползучести. Исследование, приведенное в работе [4], показывает влияние температуры на процесс ползучести песчаника и алевролита по методике ступенчатого нагружения образца-балки при изгибе. Данная методика позволяет с помощью рычажного устройства создавать достаточно большие нагрузки и испытывать образцы прочных пород.

Образцы-балки крупнозернистого неоднородного гнейса и метадиабаза размером 0,02 х 0,02 х 0,16 м испытывались на рычажной установке методом ступенчатого нагружения. Для замера деформаций прогиба образца использовался зеркальный прибор, установленный непосредственно на образце. Изменение деформаций образцов регистрировалось нивелиром, установленным неподвижно [4].

Для испытаний нагретых образцов на рычажной установке помещалась металлическая ванна. На дне ее располагались опоры, на которых устанавливался испытываемый образец - балочка между двумя нагревательными спиралями. После этого ванна заполнялась трансформаторным маслом, равномерно прогревающим образец. Чтобы избежать проникновения масла в образец, последний покрывался двумя-тремя слоями клея БФ-2. Образцы находились сутки и более при определенной ступени нагрузки и температуре 293 и 358 К.

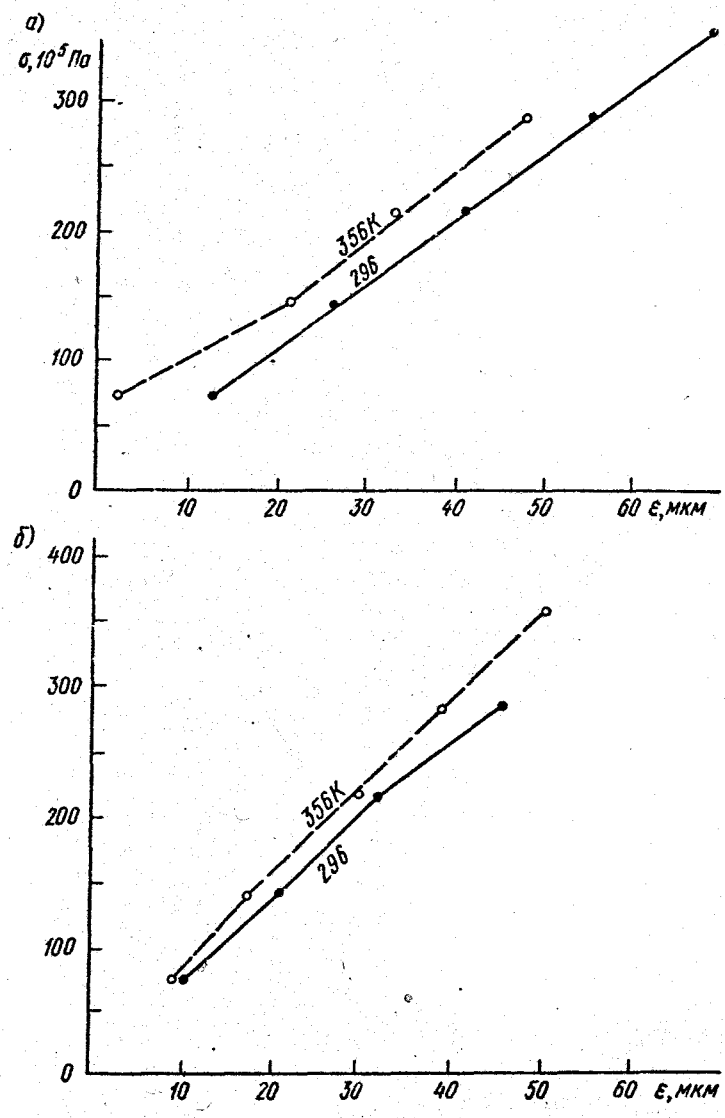


Рис.2. Графики нагрузки - деформации при изгибе для образцов: а - крупнокристаллического гнейса; б - метадиабаза

Температура поддерживалась с помощью специального температурного автоматического реле в пределах ±I К.

После испытания серии образцов данных групп было установлено, что средний предел прочности при изгибе $\sigma_{изг} = 373 \cdot 10^5$ Па. Нагрузки на образец прикладывались ступенчато через $0{,}2\sigma_{изг}$, выдерживались до прекращения роста деформаций и затем еще в течение суток.

Установлено, что величины деформаций нагретых и ненагретых образцов примерно одинаковы (рис.2); отличие при разрушении на одну ступень в большую или меньшую сторону можно объяснить скорее всего минералогической разницей образцов (наличием включений). Однако характер деформирования нагретых и ненагретых образцов не изменялся.

При приложении на образец очередной ступени нагрузки происходил резкий прирост деформаций (рис.3); далее деформации росли в течение первых 3-5 мин, и в дальнейшем прироста деформаций во времени не наблюдалось. Такой же характер деформирования наблюдался у нагретых образцов. Пластического течения образцов при нагреве не происходит.

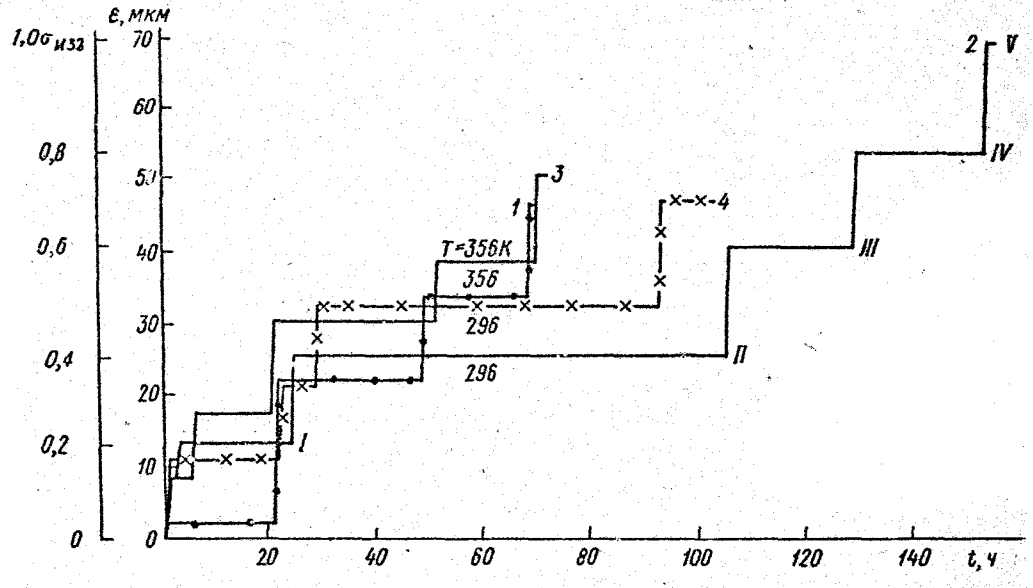


Рис.3. Графики деформирования образцов при изгибе при различной температуре и ступенях нагружения
2 - гнейс; 3, 4 - метадиабаз

Таким образом, тепловое воздействие на образцы прочных горных пород (гнейсов и метадиабазов) до температуры 373 К не оказывают существенного влияния на их прочностные и деформационные свойства. Однако такой вывод нельзя распространять на другие типы пород, так как их поведение будет существенно зависеть от минералогического состава и термостойкости самих минералов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воларович М.П., Баюк Е.И., Левыкин А.И. и др. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких температурах. М., Наука, 1974.

2. Дмитриев А.П., Кузяев Л.С., Протасов Ю.И. и др. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., Наука, 1974.

3. Инструкция по эксплуатации прибора-пробника БУ-39. Л., изд. ВНИМИ, 1974.

4. Кузнецов Ю.Ф. Методика ускоренных испытаний твердых горных пород на ползучесть. – В кн.: Новые исследования в горном деле. Л., изд. ЛГИ, 1969, вып. 2.