

## Науки о Земле

УДК 552.141+552.1:53+622.42

*Доробов Раджабали*  
*Radjabali Dorobov*



### **ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ТАДЖИКИСТАНА**

### **GEOMECHANICAL AND GEODYNAMIC CHANGES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS IN SEISMICALLY QUIET AND SEISMICALLY ACTIVE ZONES OF TAJIKISTAN HIGH MOUNTAINS**

---

Изучение изменения физических свойств горных пород при высоких давлениях и температурах дало возможность выявить пределы их устойчивости в условиях высокогорья для широкого диапазона этих параметров.

Лабораторные исследования показали, что для образцов горных пород Гиссарской и Ванчской зоны характерно сильное возрастание  $\sigma_{max}$  с увеличением гидростатического давления, что, очевидно, связано с минеральным составом и структурно-текстурными особенностями горных пород.

В результате выполненных исследований определены параметры трещиноватости, нагрузок, разгрузки, пределы деформации горных пород и вероятность завалов свода давления. Это позволило контролировать геомеханическое состояние массива и обеспечить возможность проходки крупномасштабных сложных и глубоких транспортных тоннелей в массивах горных пород в тектонически неустойчивых условиях высокогорья.

Показана возможность использования методов геомеханических и геодинамических измерений физических свойств образцов горных пород в лабораторных условиях при высоких давлениях и температурах, характеризующих условия высокогорья Таджикистана

**Ключевые слова:** массивы горных пород, геомеханические и геодинамические процессы, сооружение, разрушения горных пород, разгрузка массива, свод давления, условия высокогорья Таджикистана

The study of rocks physical properties changes at high pressures and temperatures made it possible to identify the limits of their stability in conditions of high mountain for a wide range of these parameters.

Laboratory studies have shown that, a strong increase of  $\sigma_{max}$  with increasing hydrostatic pressure for samples of rocks in Hissarkoy and Vanchskoy zone are typical, which is obviously related to the mineral composition, structural and textural features of the rocks.

The parameters of fracture load, unload, limits of deformation and the probability of blockages set pressure were defined as a result of research. The research gave the ability to control the geomechanical condition of the array and to provide the opportunity of large-scale and deep transport tunnels passage in massifs of rocks under tectonic unstable conditions of highlands.

The research reflects the possibility of methods using of the geomechanical and geodynamic measurements of the physical properties of rock samples in the laboratory under conditions of high pressures and temperatures that characterize Tajikistan high mountains

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

На территории Таджикистана за последние годы произошло несколько разрушительных землетрясений (Гиссарское, Ванчское и др.). Это обстоятельство стимулировало выполнение комплексных сейсмологических и геолого-геофизических полевых исследований с целью определения влияния катастрофических процессов на состояние горных массивов на территориях проектируемого строительства тоннелей.

Для установления такого влияния необходимы данные о физических характеристиках горных пород, которые могут быть получены в результате лабораторных исследований образцов при высоких давлениях и температурах [6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 24, 25].

В институте сейсмологии АН Таджикистана в начале 1970-х гг. при активном участии М.П. Воларовича организован сектор комплексных исследований физических свойств горных пород при высоких термодинамических параметрах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8].

Комплексные полевые исследования проведены на асейсмических зонах Уштурского и Шахристанского перевалов, а также в сейсмических зонах в Гиссарском и Ванчском хребтах. Они установили сложное блоковое строение региона и выявили отличительные особенности отдельных зон. В частности, в результате изучения современных тектонических движений, проведенных институтом сейсмологии после Гиссарского землетрясения 1989 г. на территории Таджикистана, выделены геодинамические полигоны: в Гиссарской зоне – переходный от орогена к платформе и Ванчской зоне – платформенный. Подтверждено, что они находятся в различных сейсмических, геомеханических и геодинамических условиях высокогорья [1, 3, 8, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. Сейсмоактивные и не сейсмоактивные различия этих четырех зон подтверждаются статистическим анализом сейсмоактивных событий последних лет, показавшим распределение силы землетрясений с ( $K > 7$ ) по указанным зонам: Гиссарской – 956 Ванчской – 197. Большинство очагов землетрясений, происходящих в орогенной и

платформенной зонах, сложенных в основном гранитами и гранодиоритами [1, 8, 22, 23, 25], находятся на глубинах 10...25 км.

Для лабораторного изучения изменения физических свойств при высоких давлениях и температурах в условиях высокогорья отобраны образцы осадочно-метаморфических, вулканогенных и плутоногенных магматических горных пород из указанных четырех зон. Исследование упругих свойств образцов горных пород проведено на установке высокого давления типа цилиндр-поршень с твердой средой, передающей давление [8, 20, 21, 24, 25]. Деформационно-прочностные характеристики при сложноподвиженном состоянии получены в гидравлической установке при всестороннем давлении до 1-го ГПа и дополнительном осевом сжатии [8, 21, 23, 24].

Электрическое сопротивление в образцах изучено в гидродинамической закрытой системе при:

- а) температуре до 1200 °С,
- б) давлениях до 1,5...2 ГПа,
- в) давлении до 1 ГПа и температуре до 250 °С [6, 7, 10, 16, 21, 24, 25].

Результаты экспериментов представлены на рис. 1.

Рассмотрим изменения средних значений плотности и скорости продольных волн для гранитов и гранодиоритов двух сейсмоактивных зон (Гиссарской и Ванчской) в интервале давлений от атмосферного до 1 ГПа. При атмосферном давлении средние значения скорости для гранитов этих зон находятся в пределах 4,52...4,86 км/с. Максимальное значение средних скоростей имеют образцы горных пород Ванчской зоны, а минимальные – Гиссарской. Кривые средних значений плотности для гранитов Уштурской и Шахристанской зон (рис. 1, кривые 8, 11, 12) изменяются с давлением незначительно.

Средние значения скоростей в начальной стадии давления резко повышаются, и при давлении 0,1 ГПа граниты Гиссарской и Ванчской зон имеют средние скорости 5,76 и 6,10 км/с соответственно, образцы Уштурской зоны – 6,3 км/с. При макси-

мальных давлениях 1 ГПа средние значения скорости для гранитов Гиссарской и Ванчской зон составляют 6,06 и 6,15 км/с

(рис.1, кривые 4, 5), а для горных пород Ванчской зоны – 6,76 км/с (кривая 2).

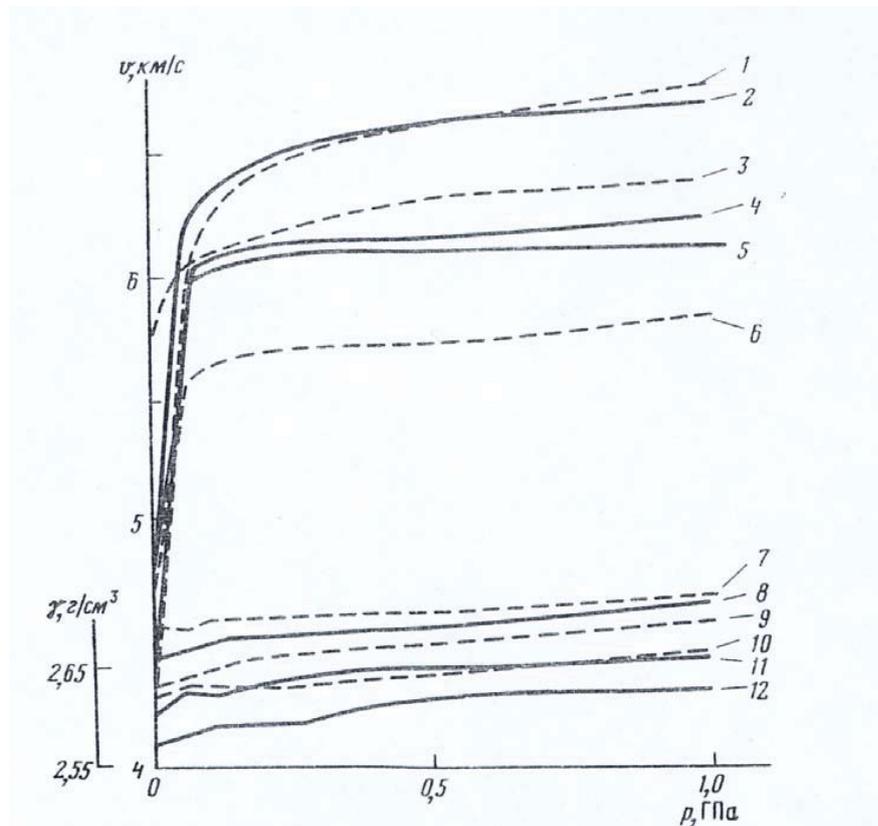


Рис. 1. Средние значения скорости продольных волн (1-6) и плотности (7-12) в зависимости от давления для образцов пород четырех зон: (1, 9) – Шахристанской, (3, 7) – Уштурской, (6, 10) – Гиссарской, (2, 4) – Ванчской. Сплошные линии – граниты, конкретные – гранодиориты

Среди гранодиоритов самые низкие средние значения скорости (4,30 км/с) имеют горные породы Шахристанской зоны (кривая 1), образцы Уштурской и Шахристанской зон 4,69 и 5,74 км/с соответственно (кривые 6, 3). В дальнейшем при давлении 0,05 ГПа скорости в образцах Гиссарской зоны увеличиваются на 1,59 км/с и достигают 5,76 км/с, а образцы гранодиоритов Гиссарской и Ванчской зон имеют скорости 5,57 и 6,05 км/с соответственно. Далее с повышением давления градиент скорости увеличивается для Ванчских образцов намного больше, чем для гранодиоритов других зон, тогда как

скорость распространения упругих волн в образцах горных пород Уштурской и Шахристанской зон повышается с давлением незначительно.

На основе анализа экспериментальных данных по упругим свойствам однотипных горных пород четырех зон при различных термодинамических условиях высокогорья выявлено, что породы гранодиоритового ряда Гиссарской зоны обладают более низкими значениями упругих характеристик, чем аналогичные породы трех других зон. Это можно объяснить тем, что территория Гиссарского региона, в отличие от трех других рассматриваемых регионов, состоит из

множества отдельных блоков. В процессе тектонических движений эти блоки горных пород подвергаются сильному дроблению и в связи с горообразованием их объем расширяется. Указанные явления могут явиться причиной более низких значений скоростей продольных волн в образцах пород Гиссарской зоны.

С целью приближения экспериментов к реальным условиям высокогорья, в которых находятся горные породы, серия опытов проводилась в горных выработках в высокогорье в условиях сложного напряженного состояния. Эти опыты позволили изучить комплекс физических характеристик (скорости продольных волн, относительное изменение объема, продольные и поперечные деформации, прочностные и другие свойства) образцов горных пород в процессе деформирования вплоть до их разрушения.

Рассмотрим результаты изучения про-

чностных свойств некоторых образцов горных пород. Передел прочности или максимально выдерживаемое дифференциальное напряжение образцов горных пород зависит от многих факторов: гидростатического давления, скорости напряжения, степени насыщенности влагой массивов горных пород и др. При этом особое значение имеет трещиноватость, так как в сильно нарушенных образцах горных пород изменение деформационно-прочностных свойств связано, главным образом, с развитием трещиноватости, с давлением, а не с составом и структурой горной породы. Рассмотрим как влияет на прочность гидростатическое давление.

*Уштурская зона.* Экспериментальные результаты изменения предела прочности ( $\sigma_{max}$ ) с увеличением гидростатического давления в образцах горных пород, представляющих Уштурскую зону, приведены в таблице.

**Изменения предела прочности ( $\sigma_{max}$ ) в образцах горных пород четырех зон при увеличении гидростатического давления во время Ванчского землетрясения**

Номер образца	Горная порода	Давление P, ГПа	Скорость нагружения $\dot{\sigma}$ , ГПа	Предел прочности $\sigma_{max}$ , ГПа
Уштурская зона				
1 (10)	Гранит	0,14	0,54	0,16
2 (15)	Гранит	0,15	0,19	0,34
3 (17)	Гранит	0,17	0,07	0,44
4 (13)	Гранит	0,30	0,10	0,41
5 (3)	Гранит	0,16	0,07	0,57
Шахристанская зона				
6 (16)	Гранит	0,14	0,88	0,34
7 (14)	Гранит	0,18	0,28	0,42
8 (18)	Гранит	0,30	0,16	0,36
9 (11)	Гранит	0,0001	0,21	0,18
Ванчская зона				
10 (6)	Гранит	0,0001	0,07	0,15
11 (25)	Гранит	0,16	0,13	0,51
12 (12)	Гранит	0,0001	0,13	0,51
13 (7)	Гранодиорит	0,08	0,003	0,36
14 (9)	Гранодиорит	0,0001	0,02	0,13
15 (2А)	Гранодиорит	0,13	0,009	0,46
16 (3Б)	Гранодиорит	0,31	0,01	0,69
17 (2Б)	Гранодиорит	0,32	0,004	0,95
Гиссарская зона				
18 (7)	Гранит	0,13	0,004	0,33
19 (12)	Гранит	0,0001	0,06	0,24
20 (6Б)	Гранит	0,15	0,006	0,40
21 (7А)	Гранит	0,30	0,006	0,53
22 (2В)	Гранодиорит	0,09	0,002	0,13
23 (3С)	Гранодиорит	0,15	0,002	0,21
24 (4Д)	Гранодиорит	0,30	0,002	0,35
25 (5Е)	Гранодиорит	0,0001	0,002	0,11

Примечание: \* $\dot{\sigma}$  – скорость нагружения, P – давление.

*Уштурская зона.* Экспериментальные результаты изменения предела прочности ( $\sigma_{\max}$ ) с увеличением гидростатического давления в образцах пород, представляющих Уштурскую зону, приведены в таблице. Для всех пород этой зоны наблюдается некоторое увеличение прочности с повышением гидростатического давления. Однако степень увеличения  $\sigma_{\max}$  для пород, представляющих различные зоны Шахристанского разлома, неодинакова. Так, граниты 10 при гидростатическом давлении 0,14 ГПа имеют значения прочности 0,16 ГПа, а аналогичные породы вне Шахристанской зоны – 0,35 ГПа. С увеличением гидростатического давления прочность в указанных гранитах возрастает неодинаково. В интервале давлений 0,14...0,3 ГПа значения прочности для пород Шахристанского увеличиваются на 260 %, а в гранитах вне зоны шахристана – на 106 %.

Различная степень увеличения прочности при равном гидростатическом давлении для пород Уштурского региона объясняется тем, что породы, представляющие зону Шахристана, претерпели вторичные изменения и поэтому они более раздроблены.

*Ванчская зона.* Лабораторные исследования показали, что для образцов пород этой зоны характерно сильное возрастание  $\sigma_{\max}$  с увеличением гидростатического давления, что, очевидно, связано с генезисом пород. Из таблицы видно, что в гранодиоритах при гидростатическом давлении в диапазоне от атмосферного до 0,32 ГПа прочность повышается в 6 раз – от 0,13 до 0,95 ГПа.

*Гиссарская зона.* Возрастание прочности с увеличением гидростатического давления для пород Гиссарской зоны меньше, чем Ванчской зоны (см. таблицу). Максимально выдерживаемое дифференциальное напряжение при атмосферном давлении составляет для гранита 0,24 ГПа, а при повышении давления до 0,30 ГПа оно возрастает до 0,53 ГПа. Предел прочности для гранодиоритов при атмосферном давлении составляет 0,11 ГПа, а при достижении давления 0,30 ГПа он повышается до 0,35 ГПа.

Результаты исследования  $\sigma_{\max}$  для гранитов и гранодиоритов Ванчской и Гиссарской зон, испытанных при различных значениях гидростатического давления, показали, что в породах Ванчской зоны прочность с давлением растет сильнее, чем в породах двух других рассматриваемых зон. При одном значении гидростатического давления гранодиориты Ванчской зоны имеют более высокую величину прочности, чем аналогичные горные породы Гиссарской зоны, хотя значения прочности у этих пород при атмосферном давлении почти одинаковы (0,13 ГПа для Ванчской зоны и 0,11 ГПа для Гиссарской). При этом гранодиориты Ванчской зоны, по сравнению с породами Гиссарской зоны, имеют более высокое значение плотности – 2,75 и 2,60 г/см<sup>3</sup> соответственно.

Различие в значениях плотности обусловлено большей трещиноватостью образцов пород Гиссарской зоны, которые претерпели вторичные изменения и имеют в своем составе карбонат. Кроме того, низкие значения прочности некоторых пород этой зоны объясняются разупрочнением земной коры в результате накопления тектонических деформаций [1...25].

Ранее рассмотрены упругие и прочностные свойства горных пород трех зон при высоких давлениях. Не менее информативной физической характеристикой этих зон, необходимой для комплексной интерпретации лабораторных данных, является удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ).

*Уштурская зона.* Из четырех типов исследованных гранитов (обр. 1, 2, 3, 4, 5) при высоких давлениях (0,05...1,0 ГПа) и температурах (200...500 °С) наименьшее изменение  $\rho$  с давлением при  $T = 300$  °С обнаруживает гранит 100 (2,26-Ю<sup>7</sup>+1, 31Ю<sup>7</sup>0м м) с высоким содержанием кварца (50 %) и серицита (40 %). Этот образец содержит наименьшее количество оксидов железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO (около 1,87 %). При указанной температуре с ростом давления наиболее интенсивно уменьшается  $\rho$  у сильно измененного гранита 11...3, содержащего хлорид-серицитого-глинистый. При  $T=350$  и 500 °С часть

образцов гранитов проявляет обратную закономерность:  $\rho$  не уменьшается, а слабо растет с повышением давления. Такая же закономерность типична и для гранитов с высоким содержанием кварца, КПШ, а также альбита. Эти три минерала характеризуются незначительным увеличением  $\rho$  с давлением или минимумом  $\rho$  в диапазоне давлений 0,3...0,8 ГПа при высоких температурах [8].

Зависимость  $\rho = f(\rho, T)$  для гранодиоритов 13 (7) различна. В обр. 13 (7) отмечается стабильное увеличение с давлением при 500 °С и слабое уменьшение при 200 °С, а в обр. 9 (11) – сильное уменьшение  $\rho$  (от  $1,31 \cdot 10^7$  до  $3,05 \cdot 10^6$  Ом-м) до давления 0,4 ГПа, с последующим незначительным понижением  $\rho$  в интервале 0,4...1 ГПа. Наблюдаемое отличие хорошо согласуется с неодинаковым как минеральным, так и химическим составом этих пород. Образец 1 (10) содержит кварц и полевошпатовый шпат – 30 %, серитизированный плагиоклаз – 55 %, оксиды железа – 4,06 %. Последних в обр. 11–3 на 20 % больше. Кроме того, в нем больше СаО, существенно влияющего на электропроводность, что подтверждается меньшей по сравнению с обр. 1 (10) величиной  $\rho$  при 500 °С.

*Ванчская зона.* Наибольшее число опытов (6) выполнено с образцами гранодиорита серии 197. Ввиду неодинаковой локальной скученности цветных минералов для смежных образцов, вырезанных из одного блока породы, установлена неодинаковая интенсивность уменьшения  $\rho$  с ростом давления, а у одного образца даже некоторое 42 увеличение (обр. 197). По химическому составу данная порода близка к гранодиориту из Гиссарской зоны, но в первой на 1,5 % больше СаО, чем в рассматриваемой. Гранодиорит по величине сопротивления мало отличается от породы 197, тем не менее, обнаруживает существенно меньшую интенсивность изменения электропроводности ( $\Delta\rho$ ) с давлением. Небольшая величина  $\Delta\rho$  связана, как у рассмотренных гранитов, с наличием кварца (20 %) и КПШ (30 %) и возможно плагиоклаза (45 %).

Наиболее низким электросопротивлением и значительным его изменением с давлением и температурой характеризуется гранодиорит 2551, у которого  $\rho$  уменьшается от  $2,6 \cdot 10^6$  до  $3,2 \cdot 10^2$  Ом-м. Он содержит андезин – 35 %, микроклин – 28 %, роговую обманку – 22 %, кварц – 11 % и плагиоклаз сосюритизированный. Видимо, повышенная электропроводность и интенсивное ее изменение с давлением у этой породы обусловлены наличием андезина и роговой обманки, которые в сумме составляют 57 %.

*Гиссарская зона.* Изменение  $\rho$  гранитов и гранодиоритов с давлением при  $T = 300$  °С проявляется неодинаково как для различных пород, так и для образцов, вырезанных из одной породы. В породах этой зоны преобладающим является незначительное уменьшение или даже рост  $\rho$  при повышении давления. Например,  $\rho$  обр. 21 (7А) и 24 (4Д) в интервале 0,50...1 ГПа увеличивалось соответственно от  $3,88 \cdot 10^7$  и  $1,0710$  до  $5,79 \cdot 10^7$  и  $3,59 \cdot 10^7$ , что объясняется минимальным суммарным содержанием FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которое для трех изученных пород составляет 1,03...2 %, и незначительным количеством СаО (1 %) и высоким SiC>2 (74 %). В то же время граниты Уштурской зоны содержат оксидов железа не менее 1,8 СаО – 1,73 – 2,48 и SiC>2 – 65 – 70,6 %. В области высоких температур они отличаются более сильным уменьшением  $\Delta\rho$  под действием давления, которое в среднем составляет 63,6 %.

Обобщая полученный экспериментальный материал по изменению удельного электросопротивления при высоких давлениях и температурах для пород гранит-диоритового ряда сейсмоактивных зон, следует отметить следующее: по мере перехода от Уштурской к Гиссарской зоне наблюдается некоторое увеличение количества образцов гранитов, имеющих повышенное электросопротивление при температуре 300 и 500 °С и давлении 0,05 и 1 ГПа (рис. 2). Наряду с этим в области более низких температур ( $T < 300$  °С) граниты, отобранные из Ферганской

зоны, отличаются от однотипных пород Гиссарской зоны существенно большим изменением  $\rho$  с давлением, например, при 300 °С  $\Delta\rho$  для первых составляет 46 %, а для вторых – 27 %.

Гранодиориты характеризуются близкими значениями  $\Delta\rho$  – 68 и 77 % соответственно для Уштурской и Ванчской зон и существенно меньшей величиной ( $\Delta\rho = 30\%$ ) для Гиссарской зоны.

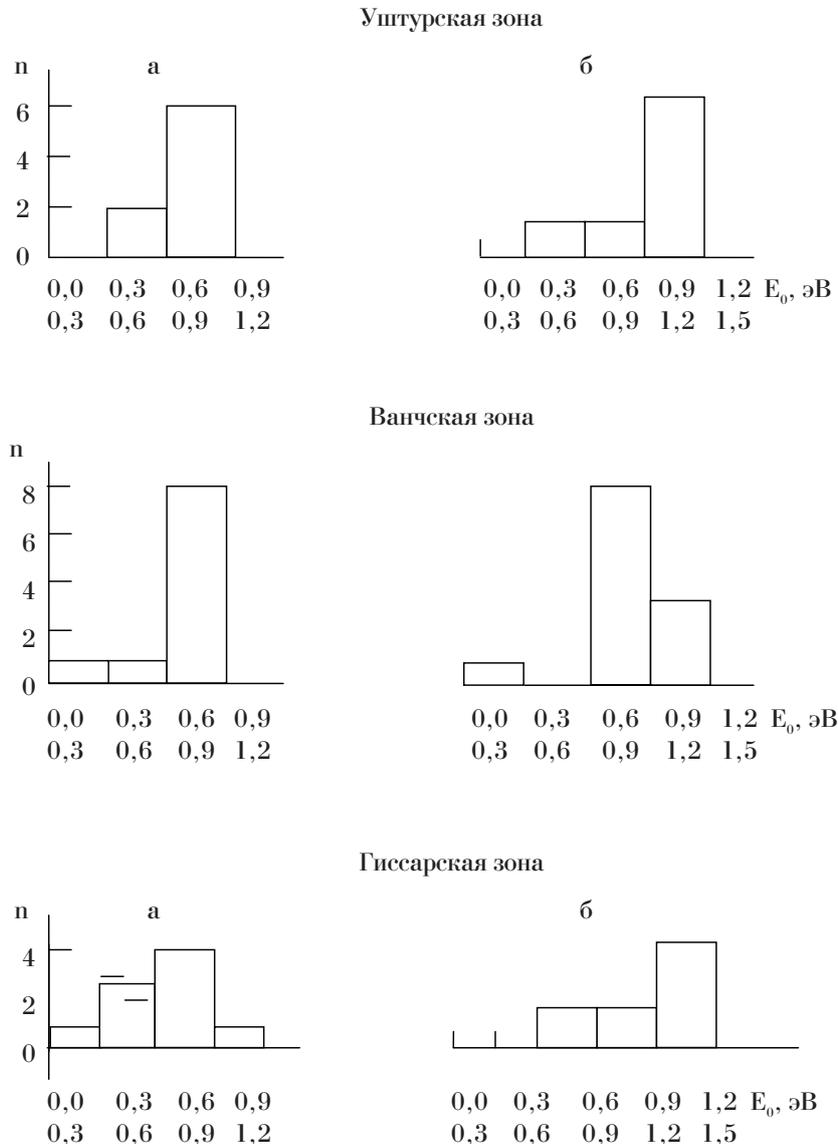


Рис. 2. Гистограммы распределения энергии активации горных пород гранодиоритового ряда а –  $t$  до 300 °С,  $p$  до 0,05 ГПа; б –  $t$  до 500 °С,  $p$  до 1 ГПа;  $n$  – число образцов

При  $T = 500$  °С отличие четырех зон по интенсивности изменения несколько нивелируется. Граниты, представляющие Уштурскую и Гиссарскую зоны, имеют близкие  $\Delta\rho$  56 и 63,6 % соответственно. Аналогичная закономерность, т.е. уменьшение  $\rho$  с повышением давления, отмечается и для грано-

диоритов. Для них  $\Delta\rho$  колеблется в узком диапазоне 64...66,6 %. Уменьшение  $\Delta\rho$  с повышением температуры отмечалось ранее [8, 9, 10, 15, 16, 18, 23] для минералов с различным содержанием оксида железа.

Тенденция к меньшему изменению или даже увеличению  $\rho$  с давлением для гра-

нитов по сравнению с гранодиоритами известна для горных пород этого класса и в других регионах. По величине  $\Delta\rho$  исследуемые горные породы не выделяются среди однотипных горных пород из других тектонических зон.

Представленные данные позволяют сделать выводы.

1. Среднее значение плотности горных пород гранит-диоритового ряда при давлении 1 ГПа составляют 2,66; 2,67; 2,68 и 2,7 г/см<sup>3</sup> для Уштурской, Шахристанской, Ванчской и Гиссарской зон. Горные породы Уштурской зоны обладают относительно более низкими значениями упругих параметров при различных высоких давлениях, чем аналогичные горные породы трех других зон. Среднее значение скорости продольных волн при давлении в 0,1 ГПа составляют 5,86; 5,90; 5,93 и 6,3 км/с, а при давлении 1 ГПа эти скорости увеличиваются до 6; 6,10; 6,15 и 6,76 км/с соответственно для

Уштурской, Шахристанской, Ванчской и Гиссарской зон.

2. Горные породы зон разломов характеризуются низкими прочностными свойствами. Граниты зоны Шахристанского разлома при гидростатическом давлении 0,14 ГПа имеют значение прочности 0,16 ГПа, а аналогичные горные породы вне зоны разлома в этих условиях – 0,35 ГПа наиболее типичные гранит-диоритовые разности Ванчской, Гиссарской зон имеют величины предела прочности почти в 2 раза больше, чем однотипные горные породы Уштурской зоны при одних и тех же термодинамических условиях.

3. Для горных пород гранит-диоритового ряда наблюдается увеличение электросопротивления и энергии активации от Уштурской зоны к Гиссарской как в низкотемпературной области, так и интервале 300...500 °С.

## Литература

## References

1. Алиев С.А. Беляевский Н.А. Бутовская Е.М. и др. Сейсмические исследования земной коры Памира и Южного Тянь-Шаня. М.: Наука, 1977. 67 с.

2. Волярович М.П., Байук Е.И., Левыкин А.И., Томашевская И.С. Физико-механические свойства горных и минералов при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1974. 224 с.

3. Земная кора и верхняя мантия Средней Азии. М.: Наука, 1977. 211 с.

4. Землетрясения в СССР: ежегод. вып. М.: Наука, 1972-1981.

5. Бакиев Муз. Х., Уломов В.И., Волярович М.П., Бакиев М.Х. и др. Сопоставление физических свойств горных пород и районов разной сейсмичности Узбекистана // Прогноз землетрясений. Душанбе; М. Дониш, 1984. № 4. С. 232-244.

6. Научная программа исследований по прогнозу землетрясений. М., 1981. 265 с.

1. Aliev S.A. Belyaevskiy N.A. Butovskaya E.M. and others. *Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory Pamira i Yuzhnogo Tyan'-Shanya*. (Seismic and others. Seismic exploration of the Pamir and southern Tien-Shan crust). Moscow: Science, 1977. 67 p.

2. Volarovich M.P., Bayuk E.I., Levykin A.I., Tomashevskaya I.S. *Fiziko-mehaniicheskie svoystva gornyh i mineralov pri vysokih davleniyah i temperaturah*. (Physical and mechanical properties of rock and minerals under the conditions of high pressures and temperatures). Moscow: Science, 1974. 224 p.

3. *Zemnaya kora i verhnnyaya mantiya Sredney Azii*. (The Earth's crust and upper mantle of Central Asia). Moscow: Science, 1977. 211 p.

4. *Zemletryaseniya v SSSR: ezhegod. vyp.* (Earthquake in the USSR: yearbook). M.: Science, 1972-1981.

5. Bokiev muz. H., Ulomov V.I., Bokiev M.H. and others. *Prognoz zemletryaseny*. (Earthquake prediction). Dushanbe; Moscow. Donish, 1984. no. 4. P. 232-244.

6. *Nauchnaya programma issledovaniya po prognuzu zemletryaseny*. (The scientific program of research on earthquake prediction). Moscow, 1981. P. 265.

7. Основы прогноза землетрясений: современное состояние, проблематика и перспективы прогноза землетрясений. // Прогноз землетрясений. Душанбе; М.: Дониш, 1983/1984. № 3. 220 с.
8. Доробов Р. Исследование распространения сейсмических волн при динамических воздействиях Ванчского землетрясения в условиях высокогорья. Прогноз землетрясений. Душанбе, 2010. С. 67-72.
9. Физика горных пород при высоких давлениях. М.: Наука, 1991.
10. Дмитриев А.П. Термодинамические процессы в горных породах. М.: Недра, 1990. 367 с.
11. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 260 с.
12. Геомеханика проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 183 с.
13. Геомеханика. Чита: ЧитГУ, 1999. 22 с.
14. Петухов И.М. Геодинамика. М.: Недра, 1996. 217 с.
15. Юргенсон Г.А., Четкин В.С., Асосков В.М. и др. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1999. 574 с.
16. Геология: минералогия, динамическая геология, петрография. М.: 2004. 319 с.
17. Бейдин А.В. Влияние трещиноватости горных пород на устойчивость приконтурного породного массива // Кулагинские чтения: III междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2011. Ч. 3. С. 42-45.
18. Павленко Ю.В. Соотношение структурно-вещественных уровней рудоносных образований и вмещающих пород // Вестник ЧитГУ. 2011. № 3. С. 59-63.
19. Секисов Г.В., Костромин М.В., Якимов А.А. Совершенствование технологии открытой разработки рудных месторождений Забайкалья // Вестник ЧитГУ. Чита: ЧитГУ, 2011. № 3. С. 92-97.
20. Кондратьев В.Г., Трубачев А.И. Трещино-жильные образования в горных породах золоторудного месторождения «Бамское» // Вестник ЧитГУ. Чита: ЧитГУ, 2011. № 12. С. 98-103.
21. Немчин Н.П., Жувак А.С. Геомеханическая характеристика капитальных и подготовительных выработок ОАО Новоширокского рудника как основа для тестирования методов расчета давления на крепь // Аспирант: труды молодых ученых, аспирантов и студентов. Чита: ЧитГУ, 2011. № 2. С. 106-114.
22. Гончаров Д.С., Федоров А.С. Расчет спектральной плоскости сейсмической активности // 7. *Prognoz zemletryaseniy*. (Forecast of earthquakes). Dushanbe; Moscow: Donish, 1983/1984. № 3. P. 220.
8. Dorobov R. *Prognoz zemletryaseniy*. (Forecast of earthquakes). Dushanbe, 2010. P. 67-72.
9. *Fizika gornyh porod pri vysokih davleniyah*. (Physics of rocks under high pressure conditions). Moscow: Science, 1991
10. Dmitriev A.P. *Termodinamicheskie protsessy v gornyh porodah*. (Thermodynamic processes in rock species). M.: Nedra, 1990. 367 p.
11. Rzhovsky V.V. Novik G.Y. *Osnovy fiziki gornyh porod* (Physics bases of rocks ). M.: Nedra, 1984. 260 p.
12. *Geomehanika problemy razrabotki zhelezorudnyh mestorozhdeniy Sibiri*. (Geomechanics Problems of the iron-ore deposit development in Siberia). Novosibirsk: Science, 2001. 183 p.
13. *Geomehanika*. (Geomechanics). Chita: Chita State University, 1999. 22 p.
14. Petuhov I.N. *Geodinamika*. (Geodynamics). M.: Mineral resources, 1996. 217 p.
15. G.A. Yurgenson, V.S. Chechetkin, V.M. Asoskov and others. *Geologicheskie issledovaniya i gornopromyshlenniy kompleks Zabaykalie*. (Geological studies and mining complex of Transbaikalie). Novosibirsk: Science, 1999. 574 p.
16. *Geologiya: Mineralogiya, dinamicheskaya geologiya, petrografiya*. (Geology: mineralogy, dynamic geology, petrography). Moscow, 2004. 319 p.
17. Beydin A.V. *Kulaginskie chteniya: III mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Kulagin Readings: III international scientific and practical conference). Chita: Zabaikalsky State University, 2011. Part. 3. P. 42-45.
18. Pavlenko Yu.V. *Vestnik NitGU*. (NitGU Bulletin). 2011. № 3. S. 59-63.
19. Sekisov G.V., Kostromin M.V., Yakimov A.A. *Vestnik ChitGU*. (Transbaikal State University). Chita: ChitGU, 2011. № 3. P. 92-97.
20. Kondratiev V.G., Trubachev A.I. *Vestnik ChitGU*. (Transbaikal State University). Chita: ChitGU, 2011. №. 12. P. 98-103.
21. Nemchin N.P., Zhuvak A.S. *Aspirant: trudy molodyh uchennyh, aspirantov i studentov*. (Advanced student: works of young scientists, postgraduates and students). Chita: ChitGU, 2011. №. 2. P. 106-114.
22. Goncharov D.S., Fedorov A.S. *Kulaginskie chteniya: XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Kulagin Readings: XII International scientific and prac-

Кулагинские чтения: XII Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2012. Ч. 1. С. 145-147.

23. Петровский П.П. Высокоуглеродистые отложения Удоканской серии как фактор активизации рудогенных процессов в нижнепротерозойском структурно-формационном комплексе Кадаро-Удоканской зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. Забайкалье. 2007. Вып. 4. С. 199-204.

24. Немчин Н.П. Горное давление в одиночных горизонтальных выработках при использовании двух углов внутреннего трения в запредельной области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 7. С. 126-128.

25. Бабелло В.А. Экспериментальная оценка напряженного состояния насыщенных массивов гор

tical conference). Chita: Zabaikalsky State University, 2012. Part 1. P. 145-147.

23. Petrovskiy P.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. Zabaikalie*. (Mining research and information bulletin. Transbaikalie). 2007. №. 4. P. 199-204.

24. Nemchin N.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. Zabaikalie*. (Mining research and information bulletin. Transbaikalie). 2007. №. 7. P. 126-128.

25. Babello V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. Zabaikalie*. (Mining research and information bulletin. Transbaikalie). 2009. №. 8. P. 70-74.

---

**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, TGPU named after S. Aini, Dushanbe, Tajikistan

**Научные интересы:** области геомеханики и геодинамики, физика горных пород, рудничная аэродинамика и тепловая физика

**Scientific interests:** field of geomechanics and geodynamics, physics of rocks, mining aerogasdynamics and thermal physics

---

