Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, XXXVI, № 1, 63—68, 1983

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 552.311.08

А. К. ЮХАНЯН, Ю. С. ГЕНШАФТ

ПЛОТНОСТЬ И СЖИМАЕМОСТЬ ГЛУБИННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ ВУЛКАНИТОВ АРМЕНИИ ПРИ *PT* ПАРАМЕТРАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Плотностные и объемные характеристики глубинных пород необходимы для интерпретации гравиметрических и сейсмологических данных, а также для оценок возможных напряжений, развивающихся в недрах тектонически активных структур. Особенно важными являются исследования объемных (плотностных) свойств горных пород при построении региональных физико-химических моделей земной коры и верхней мантии. Одним из основных источников наших знаний о составе глубинных зон Земли являются включения горных пород в разнообразных вулканитах [5]. До последнего времени в литературе имелись лишь разрозненные данные о находках глубинных включений в неоген-четвертичных лавах на территории Армении. В ходе систематического опробования позднекайнозойских вулканических пород в пределах Малого Кавказа нами собрана представительная коллекция включений глубинных пород в вулканитах Гегамского, Варденисского и Сюникского нагорий.

Предварительные результаты петролого-геохимического изучения включений и их упругих характеристик при высоких давлениях и температурах опубликованы в [4, 8].

В ходе комплексного исследования физических свойств глубинных включений нами выполнены измерения начальной плотности и объемной сжимаемости большой группы образцов при *PT*-параметрах земной коры (P до 12 *кбар*, *T* в интервале 20—250°C). Для рассматриваемого типа пород подобные исследования выполнялись в единичных случаях [7, 6]. Начальная плотность включений изучалась методом гидростатического взвешивания, а объемная сжимаемость $\left(\text{относительный декремент объема } \frac{\Delta V}{V_0}\right)$ — методом смещения поршня [1]. Использовались цилиндрические образцы диаметром 8 *мм* и длиной 6—10 *мм*. В качестве среды, передающей давление, применялся свинец. Как обычно, при изучении дефектных (сильно пористых) образцов нуль отсчета выбран при 2 *кбар* [6].

Краткая минералого-петрографическая характеристика образцов и их привязка к местам отбора приведены в табл. 1. Видно, что в подавляющем большинстве исследованные породы являются типичными ин-

Таблица 1

Минералого-петрографическая характеристика изученных глубинных включений Армении

№№ п/п	№ образца	Порода	Место отбора	Относительный минералогический состав	Наблюдаемые особенности минералогии и структуры
1	$_{28}$Б/Л—80	Лерцолит? м. б. пироксенит?	Лавовый поток вулкана Гадис	Opx<Cpx>Ol≫Amph	Амфиболизация и биотитизация
2	28А/Л—80	Лерцолит? м. б. пироксенит?	. .	Opx<Cpx>Ol≫Amph	. .
3	132—18	Клинопироксенит	Лавовый поток к ЮЗ от вулкана Джар-Тар	Cpx≫Opx≥Ol>Pl>Гематит	
4	20/Л—80	Вебстерит	Лавовый поток вулкана Гадис	Cpx>Opx≫Amph≥Gl	Раздробленность и рыхлая упаковка породы
5	43Вк/78	Габбро	. .	Pl>Cpx>Opx>(Ap+Mt)>Gl	
6	69/Л—80	Амфиб. Габбро-норит	. .	Pl≥Cpx>Opx>Amph>Тм	Амфиболизация
7	43А/78	Горнблендит	. .	Hbd>Px>Mt	
8	43В/78	Габбро	. .	Pl>Cpx≥Opx>Amph>Тм	
9	66/Л—80	Амфиболовое габбро	. .	Pl>Cpx≥Amph≫(Тм+Ар)	Амфиболизация
10	60—62—1	Габбро	Лавовый поток между сел. Вагуди и Урут	Pl≥Cpx≫Тм	
11	60С—3	Габбро-гранулит	. .	Cpx≥Opx>Pl>Amph≫Тм	Перекристаллизация амфибола
12	60В—1	Амфиболит	. .	Cpx>Pl>Amph>Bi≫(Тм+Ар)	Биотитизация
13	60З—13	Габбро	. .	Pl≥Cpx≫Тм	
14	127—2	Амфиболит	Шлаковый конус Кармир Блур	Pl>Cpx>Amph≫Тм+Gl	Сильное проплавление
15	127—4	Габбро	. .	Pl>Amph>Cpx≫Тм	Амфиболизация
16	132—13	Габбро-гранулит	Лавовый поток к ЮЗ от вулкана Джар-Тар	Cpx>Pl≫(Тм+Gl)	Следы плавления
17	43Л/78	Габбро-норит	Лавовый поток, вулкана Гадис	Pl>Opx≥Cpx>Ol>(Ap+Mt)	
18	21В/78	Габбро	Шлаковый конус Кармир-Блур	Pl>Px>M>Gl	Пористая, следы плавления
19	132—17	Амфиболит	Лавовый поток, к ЮЗ от вулкана Джар-Тар	Pl>Cpx>Opx>Amph(Тм+Gl)	Сильное проплавление

Примечание: Pl—плагиоклаз; Cpx—клинопироксен; Opx—ортопироксен; Amph—амфибол; Ol - оливин; Hbd—роговая обманка; Bi—биотит; Gl—стекло; Ap—апатит; Mt—магнетит; Тм—титаномагнетит

трузивными образованиями земной коры с наложенными процессами амфиболизации и биотитизации.

Результаты изучения начальной плотности также показывают, что ксенолиты отвечают субстрату «базальтового» слоя земной коры и для них характерно унимодальное распределение по плотности (рис. 1). Это, по нашему мнению, свидетельствует о едином глубинном источнике ксе-

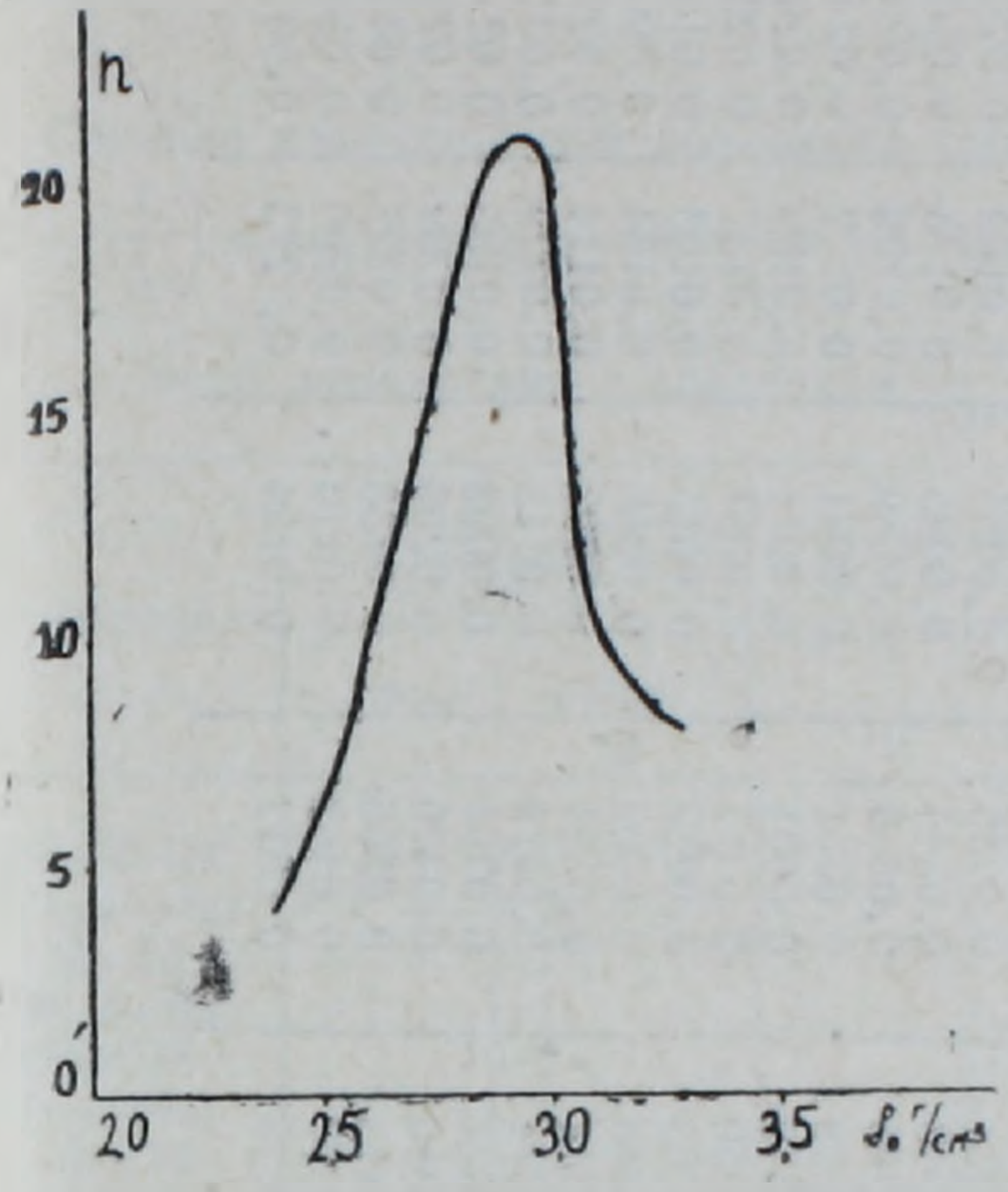

Рис. 1

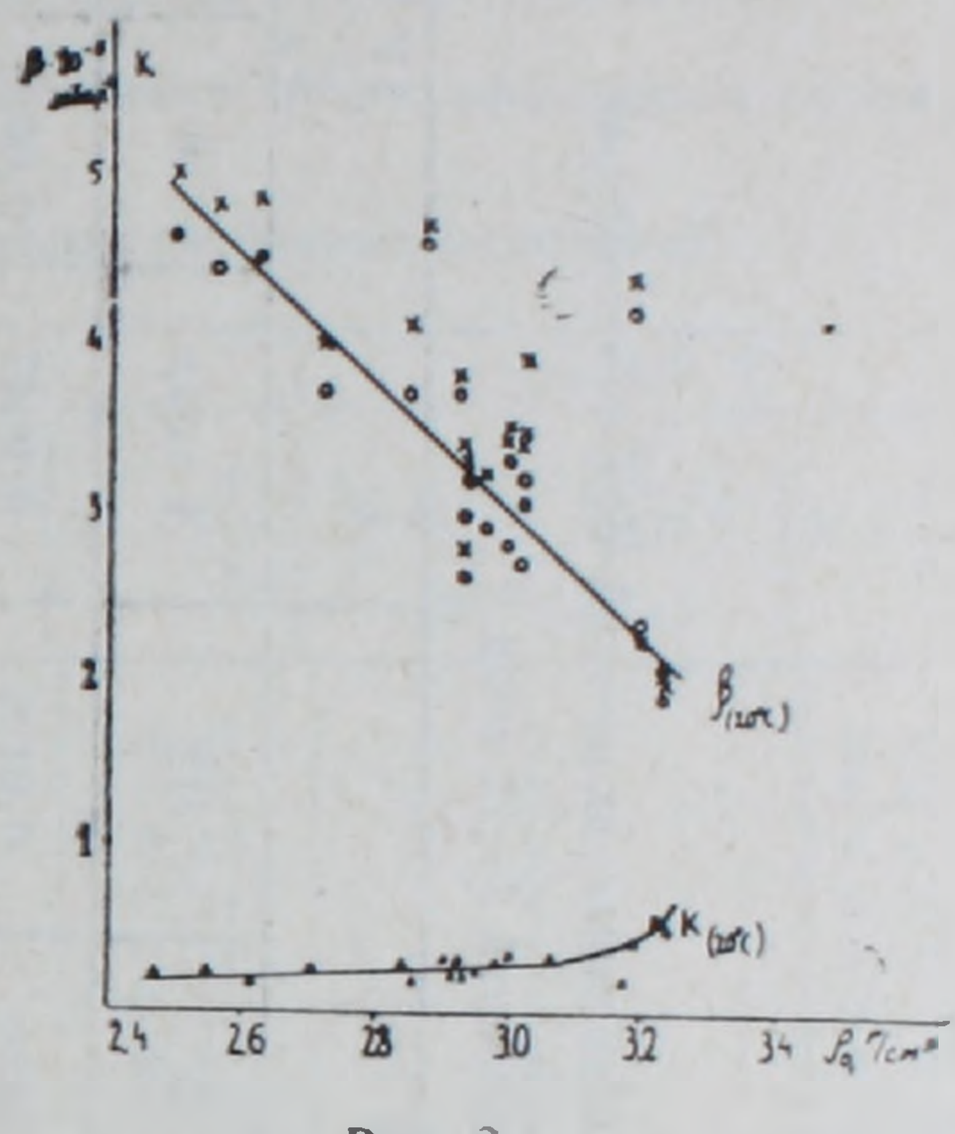

Рис. 2

Рис. 1. Гистограмма распределения начальной плотности глубинных включений.
Рис. 2. Зависимость средних коэффициентов объемного сжатия и модуля сжимаемости (K) в интервале 6—12 *кбар* при 20°C от начальной плотности глубинных включений.

нолитов—месте основного размещения внутрикоровых магматических очагов. По зависимости декремента объема от давления наблюдается явное уменьшение сжимаемости с увеличением начальной плотности у ксенолитов. Более наглядно это видно на рис. 2, где представлена зависимость среднего коэффициента объемного сжатия $\beta = \frac{1}{V_0}\left(\frac{\Delta V}{\Delta P}\right)_{20\,^\circ C}$ в интервале давления 6—12 *кбар*, где нелинейность изменения $\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)$ от давления мала. Следует отметить, что наличие стекла во включениях сильно уменьшает их начальную плотность и увеличивает сжимаемость (например, образец 20/Л-80). Данные изучения изменения декремента объема $\frac{\Delta V}{V_0}$ от давления при двух температурах—20 и 250°C—приведены в табл. 2. В табл. 3 приведены вычисленные изотермические коэффициенты объемного сжатия ксенолитов. По этим данным было оценено изменение под давлением термического коэффициента объемного расширения (α) в интервале 20—250°C. Эта величина $\left(\frac{d\alpha}{dP}\right)$ за-

Таблица 2

Относительные декременты объема $\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)$ глубинных включений при температурах 20 и 250°С в интервале давлений 2—12 *кбар*.

№№ п/п	№ образца	Плотность *г/см³*	$\frac{\Delta V}{V_0}$ при 20 °С					$\frac{\Delta V}{V_0}$ при 250 °С				
			4 *кбар*	6	8	10	12	4 *кбар*	6	8	10	12
1	28Б/Л—80	3,22	0,0048	0,0083	0,0120	0,0159	0,0196	0,0049	0,0088	0,0128	0,0171	0,0218
2	28А/Л—80	3,22	0,0047	0,0085	0,0124	0,0162	0,0198	0,0052	0,0089	0,0132	0,0175	0,0216
3	132—18	3,19	0,0053	0,0101	0,0144	0,0191	0,0238	0,0056	0,0110	0,0161	0,0206	0,0258
4	20/Л—80	3,17	0,0102	0,0180	0,0265	0,0349	0,0431	0,0107	0,0196	0,0273	0,0366	0,0457
5	43Вк/78	3,06	0,0077	0,0146	0,0213	0,0274	0,0335	0,0084	0,0162	0,0253	0,0317	0,0396
6	69/Л—80	3,01	0,0079	0,0152	0,0221	0,0288	0,0344	0,0085	0,0173	0,0265	0,0325	0,0376
7	43/А78	2,99	0,0082	0,0163	0,0229	0,0295	0,0360	0,0089	0,0169	0,0256	0,0303	0,0375
8	43В/78	2,98	0,0085	0,0145	0,0216	0,0289	0,0351	0,0091	0,0177	0,0244	0,0316	0,0388
9	66/Л—80	2,95	0,0067	0,0130	0,0191	0,0242	0,0301	0,0071	0,0139	0,0205	0,0261	0,0323
10	60—02—1	2,93	0,0062	0,0125	0,0189	0,0250	0,0317	0,0067	0,0137	0,0206	0,0278	0,0334
11	60С—3	2,92	0,0054	0,0099	0,0150	0,0203	0,0252	0,0055	0,0103	0,0159	0,0213	0,0268
12	60В—1	2,92	0,0063	0,0120	0,0181	0,0246	0,0302	0,0068	0,0134	0,0204	0,0270	0,0338
13	60В—13	2,91	0,0090	0,0165	0,0239	0,0314	0,0391	0,0098	0,0174	0,0242	0,0321	0,0399
14	127—2	2,85	0,0104	0,0200	0,0291	0,0374	0,0479	0,0115	0,0229	0,0315	0,0401	0,0498
15	127—4	2,84	0,0092	0,0173	0,0251	0,0324	0,0398	0,0098	0,0185	0,0271	0,0356	0,0429
16	132—13	2,71	0,0112	0,0198	0,0279	0,0356	0,0420	0,0209	0,0209	0,0286	0,0377	0,0449
17	43Л/78	2,62	0,0129	0,0222	0,0318	0,0413	0,0505	0,0133	0,0227	0,0321	0,0413	0,0501
18	21В/78	2,55	0,0109	0,0199	0,0282	0,0377	0,0462	0,0119	0,0209	0,0309	0,0401	0,0498
19	132—17	2,47	0,0127	0,0231	0,0322	0,0415	0,0512	0,0154	0,0273	0,0374	0,0477	0,0566

ключена в интервале—(0,6—2,6·10^{-6}) *град*$^{-1}$·*кбар*$^{-1}$. Полученный результат означает, что с увеличением глубины (давления) величины термоупругих напряжений в недрах Земли должны уменьшаться. При этом в более стабильных областях с относительно низкими геотермическими градиентами это уменьшение термоупругих напряжений должно быть выражено сильнее, чем в тектонически активных областях с повышенным эндогенным режимом глубинных зон.

Таблица 3

Средние коэффициенты объемного сжатия (β), модуль объемной сжимаемости $\left(K = \frac{1}{\beta}\right)$ в интервале 6—12 *кбар* и изменение термического коэффициента объемного расширения с давлением $\left(\frac{\partial \alpha}{\partial P}\right)$ образцов глубинных включений

№ образца	$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial P}\right)\cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$·*кбар*$^{-1}$	при 20 °С		при 250 °С	
		$\beta_{6-12}=\left(\frac{\Delta V}{V_0 \Delta P}\right)\cdot 10^{-6}$ *мгбар*	$K=\frac{1}{\beta}$	$\beta_{6-12}=\left(\frac{\Delta V}{V_0 \Delta P}\right)\cdot 10^{-6}$ *мгбар*	$K=\frac{1}{\beta}$
28Б/Л—80	0,8	1,9	0,52	2,2	0,45
28А/Л—80	0,7	1,9	0,52	2,1	0,47
132—18	0,7	2,3	0,43	2,5	0,4
20/Л—80	1,1	4,2	0,24	4,4	0,23
43Вк/78	2,6	3,2	0,31	3,9	0,25
69/Л—80	1,4	2,7	0,37	3,4	0,29
43А/78	0,6	3,3	0,3	3,4	0,29
43В/78	1,6	2,8	0,35	3,5	0,28
66/Л—80	0,9	2,9	0,34	3,1	0,32
60—02—1	0,7	3,2	0,31	3,3	0,3
60С—3	0,7	2,6	0,38	2,8	0,35
60В—1	1,5	3,0	0,33	3,4	0,29
60В—13	0,3	3,7	0,27	3,8	0,26
127—2	0,8	4,6	0,21	4,5	0,22
127—4	1,0	3,7	0,27	4,1	0,24
132—13	1,3	3,7	0,27	4,0	0,25
43Л/78	—	4,7	0,21	4,6	0,21
21В/78	1,8	4,4	0,23	4,8	0,21
132—27	2,3	4,7	0,21	4,9	0,20

Аналогичные приведенным исследования ρ_0 и $\frac{\Delta V}{V_0}$ при высоких *PT* были выполнены одним из авторов (Ю. С. Геншафтом) с коллегами для ксенолитов из кайнозойских базальтов Монголии [3]. Сопоставление полученных результатов показывает определенные отличия магматизма и глубинного субстрата обоих регионов. Для Монголии наиболее характерно присутствие ксенолитов верхней мантии (шпинелевых лерцолитов) или бимодальное распределение плотности ксенолитов, отвечающее субстрату верхней мантии и области вблизи предполагаемой границы Конрада [2]. Дискретность физических свойств (в том числе сжимаемости) ксенолитов из монгольских базальтов выражена ярче, чем для ксенолитов из вулканитов Армении. Кроме того, среди монгольских ксенолитов практически отсутствуют образцы с такими яркими следами амфиболизации, которые характерны для изученных в данной работе пород. Бесспорно, это является отражением тех принципиаль-

ных различий, которые характеризуют щелочно-базальтовый магматизм
и вулканизм внутриконтинентальных эпиплатформенных областей,
одной стороны, и известково-щелочной магматизм и вулканизм склад
чатых и орогенных зон — с другой.

ЕрПИ им. К. Маркса,
ИФЗ им. О. Ю. Шмидта
АН СССР

Поступила 25. II. 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геншафт Ю. С., Лившиц Л. Д., Рябинин Ю. П.* Определение параметров состояния твердых тел при высоких давлениях методом смещения поршня. Ж. «Прикл. механика и технич. физика», № 5, 1962.
2. *Геншафт Ю. С., Салтыковский А. Я.* Проблемы глубинного строения Монголии. В сб. «Геология и магматизм Монголии». «Наука», М., 1979.
3. *Геншафт Ю. С., Барзунов В. А., Вайнер Л. И., Салтыковский А. Я.* Плотность и сжимаемость глубинных пород и минералов из вулканических пород Байкало-Монгольского региона при P, T-параметрах земной коры. В сб. «Физ. свойства горных пород при высоких давлениях и температурах для задач сейсмологии». Изд. «Фан», Уз. ССР, Ташкент, 1981.
4. *Геншафт Ю. С., Юханян А. К., Геворкян Р. Г.* Ксенолиты и мегакристаллы в лавах Гегамского нагорья (Армения). В сб. «Физ.-хим. исследования продуктов глубинного магматизма». Изд. ИФЗ АН СССР, М., 1981.
5. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия. «Наука», Новосибирск, 1975.
6. *Киреенкова С. М.* Плотность и сжимаемость эклогитов при высоких давлениях. В сб. «Физ. свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах», «Наука», М., 1975.
7. *Левыкин А. И., Фарберов А. И., Зубин М. И., Ермаков В. А., Колесков А. В.* Плотность и сжимаемость ксенолитов в вулканитах Камчатки при давлениях до 20 *кбар*. В сб. Физ. свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах». «Наука», М., 1975.
8. *Юханян А. К.* Физические свойства глубинных включений в лавах Гегамского нагорья (Армянская ССР) при высоких давлениях и температурах. В сб. «Физ.-хим. исследования продуктов глубинного магматизма». Изд. ИФЗ АН СССР, М., 1981.