

И. В. ГИНЗБУРГ

**АВГИТ БАЗАЛЬТА ГОРЫ ЛИНГБИРД С ОСТРОВА ЛОРД-ХАУ
(ЮГО-ВОСТОЧНЕЕ АВСТРАЛИИ)**

Согласно данным Стандарда (Standard, 1963) щелочные океанические базальты вулканической горы Лингбирд горизонтальнослоисты, неоднородны, крупнозернисты, содержат оливин, плагиоклаз, диопсидовый пироксен во вкрапленниках и в промежуточной массе; в последней еще цеолит, магнетит, ильменит (указан лишь перечень минералов). Различные геологические и некоторые петрографические сведения об острове Лорд-Хау приведены в ряде работ (Standard, 1963, 1967; Ахметьев, 1972; Пушаровский, 1972, и др.).

Поступившие в Минералогический музей АН СССР несколько образцов базальта с юго-западного склона и подножия горы Лингбирд (от участника экспедиции советского судна «Витязь» 1971 г. в Тихом океане — В. А. Крашенинникова) различаются количеством и размером вкрапленников пироксена, оказавшегося авгитом. Соответственно выделены авгитовая и оливиновая разновидности базальта (Гинзбург, 1974). В первой преобладают крупные (в 0,5—0,15 см в длину, редко более) вкрапленники авгита, которые составляют почти половину объема породы, а оливиновых вкрапленников мало и они мельче (до 0,5 см). Во второй разновидности вкрапленников авгита немного и они обычно мелкие (до 0,5 см), а оливина — около половины всей породы и величина их та же (до 0,5 см). Плагиоклаза во вкрапленниках нет.

Пироксен крупных и мелких вкрапленников (из обеих разновидностей базальтов) внешне одинаков: в породе черный, непрозрачный, коротко-призматический, с плохо выраженными неровными гранями и ребрами (следствие резорбции?); в осколках с раковистым изломом, зеленого цвета полупрозрачный до прозрачного; в шлифах светло-зеленоватый не плеохроирует, незонален; но самый край его кристаллов с узкой прерывистой зоной буроватого цвета, переходящей кое-где в мелкие кристаллики с буровато-фиолетовыми головками. Такая же окраска в зернах и шлифах у мелких кристаллов пироксена промежуточной массы: бурая в середине, буро-фиолетовая по краям и наиболее фиолетовая в головках. Бурая (до фиолетовой) кайма появилась у вкрапленников явно после излияния, при закалочной кристаллизации похожего по цвету пироксена промежуточной массы. Предварительное определение зеленого пироксена вкрапленников по оптике, порошковой рентгенограмме (на пленке) и спектральному анализу позволило отнести его к авгиту, а бурый и буро-фиолетовый пироксен — по окраске — к титановому авгиту.

Параметры ячейки зеленого авгита — вкрапленников любезно получены А. Л. Литвиным на двух их монокристалльных зернах, для каждого

Таблица 1
Химический состав и свойства авгитов

Окислы	Зеленый, вкрапленники			Бурый, буро-фиолетовый, интерстиции		
	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	50,68	8439	1,884	50,00	8326	1,878
TiO ₂	0,85	106	0,024	1,29	162	0,036
Al ₂ O ₃	4,27	838	0,187	3,00	589	0,133
Fe ₂ O ₃	1,79	224	0,050	3,10	377	0,085
Cr ₂ O ₃	1,06	139	0,030	0,80	105	0,024
FeO	4,17	580	0,130	5,52	768	0,173
MnO	0,17	24	0,005	0,57	80	0,018
MgO	15,46	3334	0,856	14,73	3654	0,824
CaO	20,25	3612	0,806	13,72	3517	0,793
Na ₂ O	0,38	123	0,027	0,47	145	0,033
K ₂ O	0,02	4	0,001	0,05	11	0,003
H ₂ O ⁺	0,30	Σ17 923	Σ4,000	0,59	Σ17 734	Σ4,000
Сумма	99,40	(делитель 4481)		99,84	(делитель 4434)	
Навеска, аналитик	320 мг	Н. И. Степанова		100 мг	Р. Л. Телешова	
Уд. вес		3,29			—	
Оптические константы	$cNg, ^\circ$	33—40		40—42		
	$(+)^2V, ^\circ$	1,735±0,002		1,735—1,731		
	n_g	1,693±0,002		1,693		
	n_p	0,042		0,042—0,038		

Примечание. Уд. вес определен в микронавеске В. А. Амелиной; спектральным анализом обнаружены следующие элементы-примеси: V, Co, Ni, Sr, Zr, Sc, Ga, Si (по уменьшению содержания от 0,09 до 0,0007).
1 — вес.%, 2 — атомное количество катионов, 3 — количество атомов в формуле.

из которых сделаны по три измерения на дифрактометре по отражению: 600, 800, 060, 004 и 404. Использовалось медное K_{α_1} и K_{α_2} излучение. Значения параметров выведены как среднее арифметическое, ошибка так же среднеарифметическая: $a_0 = 9,737 \pm 0,006 \text{ \AA}$; $b_0 = 8,903 \pm 0,006 \text{ \AA}$; $c_0 = 5,267 \pm 0,003 \text{ \AA}$; $\beta = 106^\circ 13' \pm 5'$; $V = 438,4 \pm 0,4 \text{ \AA}^3$.

Определений параметров ячейки авгитов мало и каждое представляет интерес.

Две навески пироксена отобраны под бинокулярной лупой И. А. Волковой: зеленые зерна из нескольких разбитых вкрапленников; бурые и буро-фиолетовые зерна — из осколков краев вкрапленников и из раздробленной промежуточной массы. Химические анализы выполнены микрометодом в 1972 г. и оказались весьма близкими. Оптические константы измерены Н. А. Сиротининой и И. В. Гинзбург. Они тоже близки (табл. 1).

Расчет формул (на основе 4 катионов) сделан автором (табл. 1). Он отображает средний состав сравниваемых пироксенов и средний предел разрыва их состава, вызванный изменениями условий кристаллизации. (Можно ожидать, что состав начавших расти раньше крупных вкрапленников изменяется по содержанию Al, Si, Fe, Mg, Ca, а у пироксена интерстиций, судя по зональной его окраске, должно изменяться количество Fe^{3+} и Ti.) Различие в среднем составе пироксена вкрапленников и

Таблица 2

Химический и вычисленный минеральный состав авгитового базальта

Окислы	вес. %	вес. %	Молек. количества	I									II							III									
				Pyx	OI	II	An	Ab	Or	Sh	Q	Al	Pyx	OI	II	An	Ab	Sh	Q	Al	OI	Pyx	II	An	Ab	Sh	Q	Ca	
SiO ₂	47,87	47,87	797	338	180	—	48	120	6	84	21	—	375	174	—	30	120	84	14	—	265	26	—	102	144	84	126	—	
TiO ₂	1,60	1,60	20	4	2	14	—	—	—	—	—	—	4	2	14	—	—	—	—	—	1	1	13	—	—	—	—	—	
Al ₂ O ₃	12,94	11,63	115	17	4	—	24	20	1	36	—	13	19	2	—	15	20	36	—	15	2	2	—	51	24	36	—	—	
Fe ₂ O ₃	—	0,96	6	4	2	—	—	—	—	—	—	—	5	1	—	—	—	—	—	—	5	1	—	—	—	—	—	—	
Cr ₂ O ₃	—	0,30	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	
FeO	6,78	6,78	95	23	58	14	—	—	—	—	—	—	25	56	14	—	—	—	—	—	75	2	18	—	—	—	—	—	
MnO	0,24	0,24	3	1	2	—	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	2	1	—	—	—	—	—	—	
MgO	18,08	18,08	449	154	295	—	—	—	—	—	—	—	163	286	—	—	—	—	—	—	439	10	—	—	—	—	—	—	
CaO	10,26	10,26	183	144	—	—	24	—	—	15	—	—	153	—	—	15	—	15	—	—	4	9	—	51	—	15	—	104	
Na ₂ O	1,50	1,50	24	2	—	—	—	20	—	2	—	—	3	—	—	—	20	1	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	
K ₂ O	0,55	0,55	6	1	—	—	—	—	1	4	—	—	1	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	
П. п. п.	0,57	0,57	—		Mg82		PlgN54						Mg82		PlgN40						Mg83			PlgN67					
Сумма	100,39	100,39	—		Fe'18								Fe'18								Fe'17								
Количества минералов, % ~				40	28	2	18	10	1	1	44	27	2	16	10	1	40	3	2	30	10	9	6						

Примечания: 1 — Все обозначения в шапке — индексы минералов, кроме Al и Ca — химических элементов; 2 — во втором столбце из Al₂O₃ выделены неопределенные в ходе анализа породы Fe₂O₃ и Cr₂O₃, присутствующие в авгите вкрапленников; 3 — для I — молекулярные количества каждого окисла зеленых вкрапленников авгита (табл. 1) делилось на 10, умножалось на 4 и получалось содержание их в породе около 40%; для II — к нему добавлено 4% от состава авгита интерстиций (табл. 1); оливин вкрапленников и интерстиций тоже объединены; 4 — остаток от расчета I и II; Q — кварц, а 1% Al относится к плагиоклазу, реальные составы которых обогащены ими по сравнению с модалным; 5 — при расчете на мнимые безцеолитовые базальты получены плагиоклазы более основного состава; 6 — принят промежуточный состав катионной части шабозита (Sh): (K, Na)₂Ca₅Al₁₂Si₂₈, здесь утроенный; 6 — расчет из авгитового базальта оливиновой разновидности — III дал большой избыток кварца = 10% и Ca = 6% (связанного в кальците); значит химический состав оливинового базальта несколько отличается от авгитового, но не настолько, чтобы считать исходную магму неродственной, а тем более различной.

интерстиций следующее: в первом больше Fe^{2+} на 0,043, Fe^{3+} на 0,035, Mn на 0,013, Ti на 0,012, Na на 0,006, K на 0,002, но меньше Al на 0,054, Mg на 0,032, Ca на 0,013, Si на 0,006, Cr^{3+} на 0,006. При этом возможно разное распределение Al и Ti в Z(T) и в Y(M1), Mg и Fe^{2+} в X(M2) и Y(M1), чему в данном случае нет доказательств.

Результаты расчета химического анализа позволяют уточнить название зеленого авгита вкрапленников, он магнезиальный (у границы с обычным), титаново-хромовый, буро-фиолетовый, интерстиции — обычный, так как более железистый, к тому же более титановый и менее хромовый — это хромово-титановый авгит.

Авгитовая и оливиновая разновидности базальта имеют одинаковые интрателлурические парагенезисы: авгит+оливин, а также парагенезисы и структуру, возникшие после извержения. Сходны облик и оптические свойства как вкрапленников авгита и оливина, так и минералов промежуточной массы: авгита, оливина, плагноклаза, цеолита, ильменита. Все это служит признаком близкого родства обеих разновидностей базальта, образующих слои и участки одна в другой. Однако, между ними существенная разница: в авгитовых не только больше вкрапленников авгита, но они крупнее оливинных, значит в основном кристаллизовались до оливина.

На химический анализ (аналитик Г. А. Осолодкина, 1972 г., табл. 2) выбран образец практически свободный от различных вторичных минералов, с минимальным количеством цеолита, из другой части которого извлекался пироксен. Расчет на минеральный состав произведен автором, в согласии с последовательностью кристаллизации на основе состава пироксена и его количества в породе, найденного по оптике и спектральному анализу состава оливина, усредненной формулы шабозита и известных минералов анортита, альбита, ортоклаза, ильменита. Из нескольких вариантов пересчета приведены наиболее подходящие (табл. 2). Химический анализ авгитовой разновидности приемлемо рассчитывается и на оливинную разновидность (табл. 2), что указывает на возможность образования обеих разновидностей из того же (самого) расплава, но при разных условиях кристаллизации.

Ряд экспериментов с некоторыми пироксенами показывает, что в системах с водяным паром температура их кристаллизации повышается с понижением давления, а в «сухих» системах — повышается с повышением давления (сводные данные автора, 1973 г., справочник «Минералы»). Отсюда, в согласии с (Eldson, 1971), допуская, что свойственное щелочно-основной магне повышенной количество воды смещает ход начала кристаллизации на обратный в определенном интервале, обеспечивая появление главной массы авгита до оливина. И действительно, вкрапленники авгита в 2—4 раза больше оливинных, т. е. росли дольше. Таким образом, в процессе интрателлурической кристаллизации в пределах одной камеры возможно разное распределение водяного пара в пространстве (при одновременном образовании авгитовой и оливинной разновидностей) и во времени (при образовании оливина после большей части авгита — в авгитовой разновидности и после меньшей части авгита — в оливинной).

На поверхности, в иных условиях температуры и давления, из остаточного расплава, богатого водяным паром, появился авгит, более богатый Fe^{2+} , Fe^{3+} . Он слагает краевую (реакционную?) зону на авгитовых вкрапленниках и, возможно, возник первым среди других минералов интерстиций.

Автор глубоко признателен всем участникам выполненного исследования.

Приложение

Оливин вкрапленников в породе светло-зеленый, стеклянно-прозрачный овальной формы без распознаваемых граней. Такого же облика его мелкие зерна в промежуточной массе. Оливин вкрапленников двух разновидностей базальта оптически (—) и почти одинаков по светопреломлению:

	n_g	n_p	$n_g - n_p$	Fe ⁺	Mg ⁺
из авгитового	1,722	1,689	0,033	27	73
из оливинового	1,726	1,692	0,034	30	70

+ Сняты с графика (справочник «Минералы», 1971).

Из нижеприведенного расчета авгитового базальта на минералы, за вычетом пироксена, на долю оливина остается состав, отвечающий Mg 82 и Fe 18 (табл. 2). Спектральным анализом, помимо Si, Mg и Fe обнаружены (в порядке убывания) Mn, Ca, Al, Ti, Cr, введенные в его состав (табл. 2) и Ni, Co, V, Cu.

Цеолит распределен в авгитовых и оливиновых базальтах неравномерно. Его мелкие (обычно в 0,1—0,5 мм) кристаллики располагаются между плагиоклазами и другими минералами интерстиций. Им сложены также микроскопические «прожилки»,ходящие от его более крупных скоплений. Кристаллы цеолита псевдокубических очертаний (ромбододекаэдры, похожие на кубы), молочно-белые, светло-розоватые, полупрозрачные, редко прозрачные. В шлифах бесцветны, с очень низким рельефом, и плохо выраженной спайностью по (0001). Обнаружены базальные сечения, состоящие из нескольких (идеально — до 6) треугольных спектров, сходящихся вершинами в середине, а основаниями обращенные к краям. Принадлежность к шабозиту установлена Г. А. Сидоренко по порошковой рентгенограмме. Показатели преломления любезно определены Л. Г. Кваша: $1,477 > n'_g > n'_p > 1,474$. Оптически то отрицательный, то положительный; угол $2V$ мал, порядка $10—20^\circ$ (судя по едва расходящимся гиперболам в коноскопе). Минерал разлагается в слабой HCl. При 600°C (муфельная печь), теряя воду, растрескивается и разделяется на части. Взаимоотношения шабозита с другими минералами показывают, что им завершается процесс кристаллизации базальтов.

Плагиоклаз промежуточной массы сильно зональный, т. к. начал кристаллизоваться с пироксеном, а закончил с цеолитом. Удлиненные тонко сдвойникованные кристаллы плагиоклаза часто собраны в радиально расходящиеся скопления. Его средний состав от № 60 до № 40. Согласно расчетам (табл. 2) в оливиновой разновидности базальтов плагиоклаз более основной, чем в авгитовой, в той и другой его основность падает в присутствии (и с увеличением содержания) шабозита — существенно кальциевого цеолита.

Из вторичных минералов выявлены: тонковолокнистый голубоватый амфибол, развитый на границе плагиоклаза и пироксена, тонкозернистые агрегаты и кристаллики кварца, кальцит, натечные формы халцедона-агата, пленочки красных гидроокислов железа.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахметьев М. А. Таинственный о-в Лорд-Хау.— «Природа», № 3, 1972.
- Гинзбург И. В. Об авгитовой и оливиновой разновидностях базальта вулкана Лингбирд на о-ве Лорд-Хау.— В кн. «Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса» (краткие тезисы IV Всес. вулканологич. совещания). Петропавловск-Камчатский, 1974.
- Пуцаровский Ю. М. Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. «Наука», 1972.
- Eldson R. Clinopyroxenes from the upper layered series Kap Edvard Holm, East Greenland.— *Min. Mag.*, 1971, **38**, N 293.
- Standard J. C. Geology of Lord Howe Island.— *J. Proc. Royal. Soc. New. South Wales.* Sydney, 1963, **96**, pt. 2—6.
- Standard J. C. Island and sea-mounts to the east of Australia.— *Natural history of Australia*, 1967, N 12.