

УДК 550.43:552.64

ГЕОХИМИЯ

Ю. А. ДОЛГОВ, Ю. Ф. ПОГРЕБНЯК, Н. А. ШУТУРОВА
**СОСТАВ ГАЗОВ И ИХ ДАВЛЕНИЯ ВО ВКЛЮЧЕНИЯХ
НЕКОТОРЫХ ТЕКТИТОВ И СИЛИКАГЛАССОВ.**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 2 IV 1970)

Продолжая начатые ранее исследования тектитов^(1, 2), авторы проанализировали состав и давление газов в индивидуальных газовых включениях в бедиазите, тектике Берега Слоновой Кости, в дарвиновом и ливийском стеклах. Образцы для исследований были любезно предоставлены Дж. О'Кифом (НАСА, США), Р. С. Кларком (Национальный музей, США), И. Церингером (Институт М. Планка, ФРГ), Р. О. Чалмерсом (Австралийский музей) и Л. Г. Квашой (Комитет по метеоритам АН СССР). Для изучения газовых включений из образцов были вырезаны плоско-параллельные пластинки; оставшийся материал был использован для проведения анализов химического состава образцов (%), см. табл. 1). Анализы были выполнены на квантометре Н. А. Арнаутовым и М. И. Зеркаловой, окислы щелочных металлов определялись на пламенном фотометре.

Таблица 1

Образец	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{общ} (как Fe ₂ O ₃)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	Σ
Тектит-бедиазит	74,00	15,80	4,30	0,95	0,65	2,21	1,75	0,65	0,06	100,36
Тектит, Берег Слоновой Кости	68,60	14,14	6,23	1,09	4,24	2,33	2,77	0,57	0,09	100,06
Дарвиново стекло	86,00	8,96	1,90	0,20	0,81	1,66	0,14	0,40	0,01	100,08
Ливийское стекло	96,85	2,35	0,05	0,47	<0,01	0,13	0,19	0,04	0,02	100,10

Изготовленные из образцов пластинки изучались под микроскопом. Ливийское стекло содержало большое количество газовых включений, в основном весьма неправильной формы (рис. 1), что свидетельствует о значительной вязкости исходного расплава. Формы включений варьируют от грубоокруглых до ветвистых, вакуоли правильной шарообразной формы встречаются очень редко. Отмечено наличие большого количества характерных включений лешательерита (рис. 2), — вероятно, реликтов переплавленных кварцевых песчинок, почти полностью сохранивших свою первоначальную форму. Включения лешательерита расположены в основной массе стекла беспорядочно, но встречаются и цепочки из таких включений. Весьма малая текучесть образовавшегося при переплавлении кварцевых зерен лешательерита свидетельствует о том, что температура исходного расплава была лишь немногим выше температуры плавления кварца. Следствием недостаточно высокой температуры исходного расплава является также и большая вязкость основной массы стекла, что нашло свое отражение в неправильной форме газовых вакуолей. Лешательерит ливийского стекла, в отличие от всех исследованных нами тектитов, не содержит газовых включений. Дарвиново стекло в исследованной пластинке обильно насыщено газовыми включениями сферической и эллипсоидальной формы (рис. 3), часто расположенными в виде полос. Изучен-

Этот образец дарвинова стекла показывает довольно резкую флюидальную структуру в виде полос, сложенных стеклом с различными коэффициентами преломления и несколько разного цвета; лешательерит обнаружен не был. Бедиазит содержал небольшое количества газовых вакуолей шарообразной формы, лешательерит в нем не найден. В тектите Берега Слоновой Кости было обнаружено большое количество газовых включений



Рис. 1. Газовые включения в ливийском стекле. 50 ×



Рис. 2. Включение лешательерита в ливийском стекле. 125 ×

шарообразной формы, а также крупные включения пузырчатого лешательерита (рис. 4). К сожалению, по техническим причинам газы из вакуолей в лешательерите тектита Берега Слоновой Кости проанализированы не были.

Исследования состава и давлений газов в индивидуальных включениях тектитов и силикаглассов проводились ультрамикрочимическим волюмометрическим методом, разработанным в лаборатории минералообразующих растворов нашего института. Анализы велись на ($H_2S + SO_2$), CO_2 , CO , O_2 , H_2 , и по остатку определялись N_2 + редкие газы. В группе $H_2S + SO_2$ возможны также NH_3 , HCl , HF , хотя последние два маловероятны. Чувствительность метода 0,5—1%, среднеарифметическое отклонение 4%, среднеквадратичное отклонение 0,4%. Подробное описание метода см. в (3). Результаты анализов газов (об. %) из включений даны в табл. 2.

При вскрытии всех без исключения газовых вакуолей в тектитах и силикаглассах

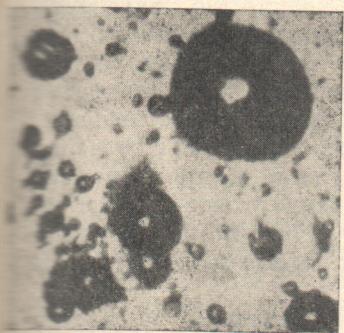


Рис. 3. Газовые включения в дарвиновом стекле. 50 ×



Рис. 4. Включение пузырчатого лешательерита в тектите Берега Слоновой Кости. 50 ×

(т. е. приведении давления в них к 1 атм.) объемы заключенных в них газов резко сокращались. В исследованных тектитах (бедиазите и тектите Берега Слоновой Кости) объемы газов в вакуолях уменьшались при вскрытии от 437 до 1330 раз. Еще сильнее сокращались объемы газов из включений в ливийском стекле — от 1850 до 2100 раз. Объемы газов из

вскрытых вакуолей исследованного образца дарвинова стекла уменьшились значительно меньше — от 13 до 30 раз.

Как мы уже отмечали ⁽²⁾, давления газов во включениях падают при остывании стекла в основном по двум причинам. С одной стороны, при быстром охлаждении небольшой массы стекла в первую очередь затвердевают его поверхностные слои. При дальнейшем остывании уменьшение объема оставшейся пластичной внутренней части стекла компенсируется увеличением объема вакуолей, давления газов в которых соответственно падают. С другой стороны, при остывании самих наполняющих вакуолей газов их давление также падает. Однако следует учесть, что первый фактор может дать значительный эффект лишь в случае быстрого остывания небольших масс стекла, так как только в этом случае внешние и внутренние части стекла будут затвердевать неодновременно. Если же масса стекла велика, то охлаждение его будет идти медленно и оно будет затвердевать равномерно по всему объему. Аналогичный результат получается и при медленном охлаждении малых масс стекла.

Для проверки справедливости этого предположения нами были проанализированы давления газов во включениях в обсидианах и технических стеклах. Оказалось, что объемы газов в них уменьшаются при вскрытии в 3—5 раз, что почти полностью может быть объяснено падением давления при охлаждении наполняющих вакуолей газов. Это и понятно, ведь влияние первого из упомянутых факторов на уменьшение давлений газов во включениях в обсидианах и технических стеклах незначительно, так как остывают они медленно — или вследствие больших масс (обсидианы), или в результате технологического режима (технические стекла). Тектиты же, как правило, имеют малые массы и, судя по ряду признаков, затвердели очень быстро ⁽⁴⁾, поэтому понижения давлений газов во включениях в тектитах за счет растяжения вакуолей при остывании стекла должны быть весьма значительными.

Нами был проведен следующий эксперимент. Смесь тонко растертых и тщательно перемешанных химикатов (окислов Si, Al, Ti и карбонатов Fe, Ca, Mg, K, Na, Mn) с соотношением этих элементов, характерным для тектитов дальневосточного поля рассеяния, была нагрета в корундовом тигле во 1800° , и полученный расплав выдержан при этой температуре в течение 4 час. После этого тигель с расплавом был вынут из печи и охлажден на воздухе. Из полученного стекла (вес его был примерно равен 50 г) были изготовлены пластинки. Изучение пластинок под микроскопом показало, что стекло содержит большое количество шарообразных газовых включений диаметром до 1 мм. Результаты анализов состава и давлений газов из этих включений приведены в табл. 2. По составу газы из вакуолей являются смесью CO_2 (образовавшегося при разложении карбонатов) с N_2 и O_2 . Кислород и азот имеют воздушное соотношение, что свидетельствует об их захвате из атмосферы. При вскрытии включений объемы газов сокращались в них от 525 до 3340 раз, т. е. примерно так же, как и в исследованных нами тектитах и ливийском стекле. Таким образом, эксперимент подтверждает предположение о том, что наблюдаемые низкие давления газов в вакуолях объясняются быстрым охлаждением вещества тектитов и силикаглассов.

По химическому составу газы из включений в бедиазите и тектите Берега Слоновой Кости целиком состоят из CO_2 . В вакуолях ливийского стекла, кроме CO_2 , обнаружены также H_2 и группа N_2 + редкие газы. Исследованные вакуоли в дарвиновом стекле отличаются от включений в бедиазите, тектите Берега Слоновой Кости и ливийском стекле не только более высокими давлениями газов, но и их составом. Как и в сваренном нами стекле, газы из включений в дарвиновом стекле состоят из смеси CO_2 с N_2 и O_2 .

Как по составу, так и по давлениям газов в вакуолях дарвиново стекло существенно отличается от всех исследованных нами тектитов и сили-

каглассов. Это единственный объект такого рода, во включениях которого нами был обнаружен кислород. Учитывая отношение кислорода с азотом (примерно 1:4), можно считать, что вакуоли дарвинова стекла содержат захваченный из атмосферы Земли воздух. Необычно малы также и уменьшения объемов газов при вскрытии включений. Все это наиболее естественно согласуется с предположением об образовании дарвинова стекла при каком-то переплавлении земных пород. В то же время ливийское стекло как по давлениям, так и по составу газов в вакуолях имеет много общего с тектитами, несмотря на различия в химизме слагающих их стекол. Практически полная тождественность химического состава ливийского стекла составу подстилающего его кварцевого песчаника⁽⁵⁾ и очень низкие давления газов во включениях говорят о том, что оно образовалось при переплавлении песчаника энергией какого-то чрезвычайно мощного взрыва, с последующим быстрым охлаждением выброшенных в атмосферу капель расплава. Аналогичным путем образовались, вероятно, и тектиты. Различными были, по-видимому, только энергии взрывов и исходные материалы, что нашло свое отражение в размерах полей рассеяния, в химических составах и температурах образования стекол. Взрывное происхождение тектитов подтверждается также наличием в них козита⁽⁶⁾. Этот минерал образуется при очень высоких давлениях и на Земле найден, исключая продукты ядерных взрывов, только в породах из метеоритных кратеров. Последнее обстоятельство заставляет считать наиболее вероятными источниками энергии, необходимой для образования тектитов и ливийского стекла, взрывы при ударах о поверхность Земли метеоритов (или подобных им тел), имеющих достаточно большие скорости и массы.

Таблица 2*

Образец	Сокращ. объема газов после вскрытия, кратность	CO ₂	Образец	Сокращ. объема газов после вскрытия, кратность	CO ₂	O ₂	H ₂	N ₂ + + редкие газы
Тектит-бедизит	437	100,0	Дарвиново стекло	13	21,8	16,0	0,0	62,2
	917	100,0		23	24,2	15,0	0,0	60,8
	572	100,0		16	27,8	15,0	0,0	57,2
	527	100,0		30	25,8	15,0	0,0	59,2
Тектит Бегега Слоновой Кости	1045	100,0	Ливийское стекло	16	38,4	12,0	0,0	49,6
	1330	100,0		2100	45,5	0,0	22,8	31,7
	456	100,0		1850	47,0	0,0	28,0	25,0
				2060	46,0	0,0	25,5	28,5
	Искусственное стекло	100,0		525	12,1	17,5	0,0	70,4
				637	87,0	2,6	0,0	10,4
				3340	43,2	11,0	0,0	45,8
1352			44,3	11,3	0,0	44,4		
			1410	43,4	11,0	0,0	45,6	

* Анализ показал отсутствие во всех образцах CO и H₂S + SO₂ (NH₃, HCl, HF) (0,0%).

Авторы выражают свою признательность Дж. О'Кифу, Р. С. Кларку, И. Церингеру, Р. О. Чалмерсу и Л. Г. Кваше, любезно предоставившим для исследований образцы тектитов и силикаглассов, а также Н. В. Арнаутову и М. И. Зеркаловой, проводивших анализы химического состава образцов.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
26 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. А. Долгов, Н. А. Шугурова, Ю. Ф. Погребняк, ДАН, 184, № 6 (1969). ² Ю. А. Долгов, Ю. Ф. Погребняк, Н. А. Шугурова, Геохимия, № 5 (1969). ³ Н. А. Шугурова, Минералогическая термометрия и барометрия, 2, М., 1967. ⁴ Е. Чао, Тектиты, М., 1966. ⁵ В. Барнс, Тектиты, М., 1966. ⁶ L. S. Walter, Science, 147, № 3661 (1965).