

продукты сформировались в форме мант и вытянутого по долине аггломератового потока, состоящего из крупных и мелких глыб, погруженных в мельчайший пепел.

Сольфатары и мofетты на соседних старых куполах в продолжение долгих лет сильно изменяли лаву. Сернистые газы и образующаяся серная кислота разлагали лаву и выносили из нее различные элементы; на поверхности отлагались сульфаты, которые затем растворялись и смывались водами. Сама же лаву в процессе длительного воздействия на нее газозовых и жидких растворов изменялась в галлуазитовые и каолинитовые глины, а местами — в опаловые сыпучки.

В строении вулканического аппарата вулкана в целом куполы представляют форму извержения очень вязких лав в заключительную фазу развития вулкана, отражая далеко зашедшую эволюцию магмы в очаге. Лавы куполов отличаются от лав более ранних потоков большого конуса Швелуча более кислым составом, более низкой температурой и большей вязкостью.

Химический состав эвтакситовых и брекчиевидных лав куполов и потоков приведен в табл. 1, а их минеральный состав — в табл. 2.

Таблица 1.

Химический состав лавы Швелуча в %
(аналитики: Н. Н. Шаврова и И. М. Шумило)

Компоненты	Лаву купола 1944—1948 гг.		Лаву потока древнего конуса
SiO ₂	59,57	57,64	57,46
TiO ₂	0,51	0,76	0,72
Al ₂ O ₃	16,44	17,10	17,00
Fe ₂ O ₃	4,11	3,35	4,56
FeO	2,49	3,64	2,64
MnO	0,29	0,11	0,12
CaO	6,43	7,41	7,38
MgO	4,04	4,05	4,10
K ₂ O	2,72	1,65	1,74
Na ₂ O	3,27	3,76	3,77
P ₂ O ₅	—	0,29	0,26
BaO	—	0,03	0,03
SO ₃	—	0,03	0,02
Потери при прокаливании . . .	0,28	0,24	0,25
H ₂ O ⁺	0,12	0,12	—
Сумма	100,27	100,18	100,05

Лавы, как показывают анализы, относятся к двуокисловым андезитам, представителям щелочноземельной магмы.

Характерной особенностью лав Швелуча является широкое развитие в них кристобалита. Он присутствует в красных разновидностях древних полосчатых лав ранних извержений (Меняйлов, 1945), в лаву (рис. 2) купола извержения 1944—1948 гг. и дайках.

Полосчатость в дайке андезито-базальта развита параллельно контакту и проявляется в связи с различной степенью окисления пористых и плотных



Рис. 2. Кристобалит около плагиоклаза в центре шлифа. $\times 90$, без анализатора.



Рис. 3. Опал (серый), образованный по плагиоклазу. $\times 46$, николи +.

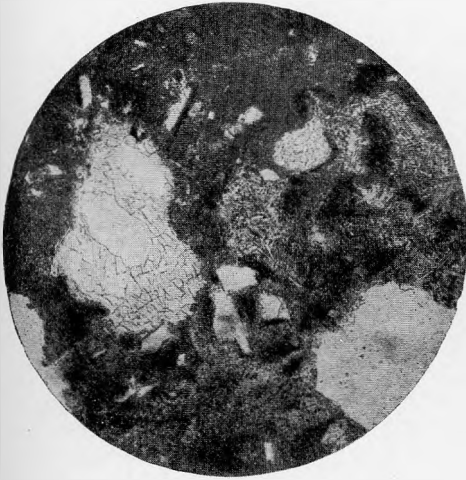


Рис. 4. Кристобалит (черепичатый) в порах базальта. Камчатка. $\times 46$, без анализатора.

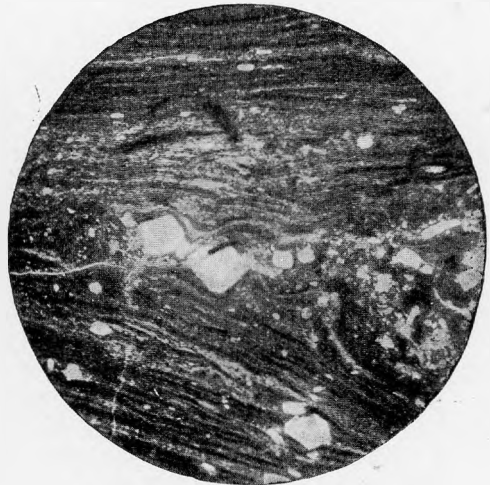


Рис. 5. Полосчатый базальт, содержащий кристобалит в порах. $\times 46$, без анализатора

Таблица 2

Минеральный состав лавы Швелуча в %

Минералы	Лава купола 1944—1948 гг.		Лава потока древнего конуса
Плагиоклаз	25,3	28,0	33,0
Пироксен	2,6	6,0	8,0
Роговая обманка	18,2	6,0	4,0
Рудные минералы	0,3	3,0	3,0
Основная масса	53,6	57,0	52,0
Сумма	100,0	100,0	100,0

Таблица 3

Химический состав дайки в %
(аналитик К. П. Сокова)

Компоненты	Внутренняя часть	Внешняя часть
SiO ₂	54,85	53,96
Fe ₂ O ₃	—	4,29
FeO	—	3,96
Na ₂ O	3,63	3,80
K ₂ O	1,20	1,07
CO ₂	Нет	0,44

ных полос. Во внутренней части дайки содержится кристобалит. Химически внутренняя часть дайки отличается от внешней части небольшим повышением содержания кремнекислоты (табл. 3).

Химическое различие в составе лавы отразилось и на ее минеральном составе: во внутренней части дайки, как уже было сказано, присутствует кристобалит и, кроме того, гиперстен, которых нет во внешней зоне.

Акад. Д. С. Белянкин и В. П. Петров (1949) в своей работе указывали, что кристобалит образуется при воздействии паров воды на лавы. По нашему мнению, в процессе миграции и выделения кремнекислоты необходимо учитывать еще и роль щелочи. На это указывают сопоставление с кристобалитом полевошпатового вещества, например в кавказских лавах, и результаты экспериментальных работ по получению (Феннер, 1937) кристобалита из смеси кварца и щелочей. В нашем случае в вулканических процессах щелочи участвуют, по видимому, в виде хлоридов, которые вместе с F переносят одновременно и кремнекислоту. При этом надо иметь в виду то, что подвижность галлоидных соединений и, в частности, F (Меняйлов и Данилова, 1945), естественно, выше в высокотемпературных и менее вязких лавах. Поэтому в лавах ранней стадии извержений вулкана Швелуч кристобалита больше, чем в поздних, более вязких лавах, образующих купола. В процессе извержения летучие вообще выделяются из всей лавовой массы, а также в виде газовых струй из первичных и вторичных фумарол. По нашим данным, в базальтовых потоках Клю-

чевской сопки, изливавшихся во время извержения в последнее двадцатилетие, выделяющиеся фумарольные газы содержали большое количество F, который в процессе этого выделения обеднял лаву кремнекислотой, вынося ее в виде Na_2SiF_6 и частично отлагая в форме опала и тридимита. С хлором при высоких температурах улетучивались и щелочи.

Во время извержения вулкана Шевелуч F в начальной стадии, судя по возгонам, не выделялся из андезитовой лавы и, повидимому, оставался в ней. Только через некоторое время начинается миграция F [в свежих лавах Шевелуча (1946—1948) содержится 0,07 % F, в старых лавах 0,005 % F], оказавшая малое влияние на общее валовое количество кремнекислоты в лаве.

Но это, повидимому, существенно отразилось на процессе образования кристобалита в порах лавы.

Из лав старого конуса Шевелуча, промежуточных между базальтом (Ключевская сопка) и андезитом (Суелич) как по составу, так и по вязкости, только в красных лавах относительно много кристобалита; в серых же, серых, полосах кристобалита нет, несмотря на то, что химический состав лав серых и красных полос тождественен, за исключением лишь различной степени окисления в них Fe. Образование здесь кристобалита могло произойти при помощи переноса кремнекислоты фтором, а также хлором и парами воды, одновременно окисляющими лаву. Вынос SiO_2 из контакта дайки андезито-базальта обязан, повидимому, тоже фтору и хлору. В процессе воздействия на лавы сольфатарных газов (сернистых и паров воды) при температуре ниже 100° идет совершенно иное изменение. На первых этапах такого изменения происходит замещение плагиоклаза опалом (рис. 3), затем преобразование породы в галлуазит и опал, конечным же продуктом часто бывает один опал.

В древних базальтовых лавах Камчатки иногда наблюдались (Меняйлов и Набоко, 1948) выделения кристобалита вместе с хлоритом, кальцитом и цеолитом. На микрофотографиях (рис. 4 и 5) видны выделения кристобалита и хлорита в порах базальта с флюидной структурой. Ассоциация минералов явно говорит о поствулканическом гидротермальном изменении этих пород. Интересно, что в современных совершенно свежих базальтовых лавах Ключевской сопки и Толбачика кристобалит не встречался.

Из приведенных нами и многочисленных иных литературных данных видно, что кристобалит образуется в полосчатых, брекчиевидных лавах только при наличии благоприятных условий: кислый и средний состав (дациты и андезиты), относительно высокая вязкость и относительно низкая температура лавы. При этих условиях фтор, хлор и пары воды, мигрируя в лаве, в отличие от свободного выделения их из менее вязких базальтовых лав производят некоторые изменения породы. Они переносят кремнекислоту в лаве, а не выносят ее и окисляют стекло.

Интересные данные имеются по образованию кристобалита и в особенности тридимита в лавах знаменитого пелейского извержения 1902—1903 г. [Лакруа (Lacroix), 1905]. По Лакруа, быстро остывавшие андезиты обладали стекловатой основной массой, не содержащей тридимита. Массы лавы из центральной части обелиска, наблюдавшиеся после длительного покоя вулкана, характеризовались богатой микролитами основной массой и вкрапленниками и содержали в большом количестве кристаллики кварца. Вначале тридимит отсутствовал, затем он появился (с декабря 1902 г.) в малом количестве, потом (с января по апрель 1903 г.) в избытке в лавах, как содержащих кварц, так и не содержащих его. Тридимит был обнаружен также на контактах включений. В пепле

и бомбах 1902—1903 гг. тридимита не было, в то время как в выброшенных обломках более старых лав его было очень много, притом в сопровождении кристобалита. Лакруа делает вывод, что тридимит явился не просто продуктом застывания, а появился благодаря длительному воздействию сильно нагретых паров на кислое стекло породы.

В общем, повидимому, можно считать, что кристобалит является типоморфным минералом для лав кислого и среднего состава.

Эффузивные и экструзивные образования (потоки и купола) камчатской андезитовой формации имеют некоторое сходство с эффузивными фациями дацитовых и трахито-дацитовых потоков Эльбруса (Белянкин, 1936) и с обломочными фациями Кипчака в Армении (Белянкин и Петров, 1949). Однако в кавказских лавах кристобалит в отличие от камчатских присутствует в виде тесных прорастаний с полевошпатовым веществом.

Лавам можно противопоставить совершенно иную штоковую фацию алтайских гипабиссальных порфиров и фельзитов (Меняйлов, 1945). Последние имеют также полосчатое строение, но в них наблюдаются уже иные по форме выделения кремнекислоты — в виде кварца в гранофировом и сферолитовом прорастании с полевошпатовым веществом.

Таким образом, выделение кремнекислоты в форме кристобалита характерно для изверженных наземных фаций, а также и для совершенно определенных петрографических формаций. Так, например, Д. С. Белянкин указывал на присутствие кристобалита в молодых лавах, несомненно принадлежащих к геосинклинальным областям альпийского цикла (Кавказ, Камчатка, Йеллоустонский парк и пр.). Кристобалит не является характерным минералом в базальтах в приплатформенной складчатой области (Прибайкалье, Вост. Саяны, Монголия, Тува и пр.), а также в породах платформенной траптовой формации, несмотря на проявление, хотя и редкое в ее силловой и жильной фациях, полосчатости и такситового строения. Здесь образуются либо гранофиры кварца в диабазе (Белянкин, 1927), либо халцедоновые и опаловые выделения в порых афанитовых траппов.

Следовательно, полиморфное состояние кремнекислоты является важным признаком, выражающим состав, температуру и давление при кристаллизации пород различных фаций и формаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Белянкин. Об оливиново-кварцевом диабазе с р. Тюнг в Вост. Сибири. Материалы Комиссии по изучению ЯАССР, вып. XXIII, 1927.
2. С. Белянкин. К характеристике брекчиевидных и полосчатых лав вулкана Эльбруса. Докл. АН СССР, т. XXI, № 5, 1938.
3. С. Белянкин и В. П. Петров. О кристобалите и об условиях кристаллизации его в некоторых породах Закавказья. Труды Минерал. музея, вып. 1, 1949.
4. А. А. Меняйлов. Типоморфия в сферолито-гранофировых породах горы Чабар в Горном Алтае. АН СССР. Вопросы геологии Сибири, т. I, 1945.
5. А. А. Меняйлов. Эвтакситовые лавы вулкана Швелуч на Камчатке. Сборник, посвященный акад. Д. С. Белянкину, 1946.
6. А. А. Меняйлов, В. В. Данилова и Л. Н. Индиченко. Хром и фтор в вулканических продуктах. ЗМО, т. XXVI, № 2, 1947.
7. А. А. Меняйлов и С. И. Набоко. Потухшие вулканы Верхне-Еловского района на Камчатке. Труды Камчатской вулканологической станции, № 2, 1948.
8. Н. Феннер. Взаимоотношения и пределы устойчивости минералов кремнезема. Классические работы по физико-химии силикатов. Химтеоретиздат, 1937.
9. Lacroix. Observations faites à la Montagne Pelée sur les conditions présidant à la production de la tridymite dans les roches volcaniques. Bull. Soc. franç. de min., p. 28, 1905.