

АКАД. Д. С. БЕЛЯНКИН и В. П. ПЕТРОВ

**О КРИСТОБАЛИТЕ И ОБ УСЛОВИЯХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЕГО  
В НЕКОТОРЫХ ПОРОДАХ ЗАКАВКАЗЬЯ**

Впервые, как известно, кристобалит констатирован был на Кавказе около четверти века тому назад. С тех пор накопились довольно обширные материалы по нахождению его в горных породах Кавказа и Закавказья. Сводка этих материалов [2]<sup>1</sup> была опубликована авторами настоящей статьи еще в 1936 г. В соответствии с данными этой сводки обычно нахождение здесь кристобалита приурочено к молодым андезито-дацитовым и дацитовым лавам и их туфам, где частично он замещает стекло главным образом оседает на стенках лавовых пустот в форме корочек и мелких сферолитов.

В той же публикации авторами было высказано предположение, что кристобалит должен быть весьма широко распространен не только на Кавказе и в Закавказье, но и вообще в областях альпийского вулканизма. Интересным откликом на это предположение явилось сообщение В. И. Владовца о более или менее постоянном присутствии тридимита и кристобалита в составе ряда исследованных им современных и плиоценовых лав.

В настоящее время, в результате наших петрографических наблюдений и сборов в Армении и Грузии в 1947 г., в наших руках оказались некоторые новые материалы по закавказскому кристобалиту. Любопытны сами по себе, они дали нам, сверх того, повод еще раз вернуться к весьма существенному вопросу об условиях кристаллизации природного кристобалита. В итоге возникла настоящая небольшая работа, посвященная означенной проблеме.

К числу горных пород, описанных нами в 1936 г., относилась, между прочим, характерная полосатая лава из Кипчагского оврага близ районного центра Артик на северо-западном склоне Алагеза. Описание полосатой лавы было выполнено нами по материалам Б. В. Залесского и В. П. Петрова, специально занимавшихся Кипчагом в более раннее время и опубликовавших результаты своих исследований в 1931 г. [5]. Характерным для означенной лавы, согласно Залесскому и Петрову, с позднейшими нашими минералогическими дополнениями, было послышное чередование в ней смоляно-черных и розовых участков, причем первые из них являлись более или менее нормальными трахитами, с витроандезитовой основной массой и с порфирированными вкрапленниками лабрадора.

<sup>1</sup> Цифры в квадратных скобках соответствуют номерам списка литературы в конце статьи.

обсах — моноклинического и ромбического — пироксенов и магнетита, а вторые оказались представителями совершенно нового типа породы — кристобалито-анортотлазового трахитодацита. При том же приблизительно составе вкрапленников имела здесь место сильно пористая и полностью окристаллизованная основная масса из анортотлаза, кристобалита (и тридимита) и следов гематитизированного пироксена.

Все только что перечисленные особенности розовой лавы — изменение окраски, появление усиленной пористости и своеобразную кристаллизацию основной массы породы — авторы приписывали воздействию газов, содержавшихся в лаве.

В 1947 г. в связи с только что опубликованной тогда статьей А. Н. Заварицкого [4] о туфолавах Армении, где к туфолавам этим отнесена была, между прочим, и полосатая лава Кипчага, мы специально посетили Кипчаг с тем, чтобы, воспользовавшись предварительным опытом одного из нас, детально осмотреть обнажение и составить себе согласное представление, действительно ли мы имеем здесь лавовый поток (Залесский и Петров) или же только сварившиеся на месте пирокластические материалы (Заварицкий).

Решить подобную задачу на основе одного обнажения, конечно, было более чем затруднительно. В пользу своего взгляда А. Н. Заварицкий выдвинул особенно то обстоятельство, что в верхних частях оврага полосатая лава переходит якобы совершенно постепенно в настоящие пирокластические туфы. В результате наблюдений у нас не выработалась такой уверенности и, кроме того, нас поразила большая однородность полосатой породы во всей слагаемой ею и хорошо обнаженной скале под кипчагскую церковь.

О размерах этой скалы можно судить по фотографии (рис. 1). Вертикальной стеной, в направлении СЗ 300°, она выходит на дорогу, проложенную по дну оврага. Перпендикулярно ей, в направлении СВ 30°, следует вторая столь же хорошо обнаженная стена. На стыке их нами были произведены замеры. Общее направление розовых полос приблизительно горизонтальное (рис. 2). Толщина их измеряется от долей сантиметра до 2—3 см в раздувах. Детали взаимоотношений черных и розовых участков представлены на фотографии у Залесского и Петрова (1931, фиг. 5). Длина более крупных розовых полос в направлении СЗ 300° составляет от 30 см до 3 м, в среднем, по 20 отдельным замерам, 80 см. Ширина тех же полос в направлении СВ 30° составляет от 3 до 40 см; в среднем, по 26 замерам 13 см.

Таким образом, здесь, действительно, наблюдается известная направленность полосчатости, но образовался ли весь этот комплекс из первоначальных насыпных материалов, или же из сплошной полужидкой массы, как в некоторых брекчиевидных лавах Эльбруса и проч., так и осталось для нас неясным. Так или иначе, по итоговое впечатление у нас получилось такое, что в материалах, давших начало комплексу, должны были, действительно, принимать существенное участие водяные пары, явившиеся основной причиной анортотлазово-кристобалитового перерождения основной массы трахитодацита в розовых участках породы.

Впечатление это послужило в дальнейшем нам поводом для пересмотра химико-аналитических данных по полосатому трахитодациту Кипчага, приведенных нами в публикации 1936 г. Данные эти свидетельствовали о почти полном химическом тождестве темных и розовых его участков, за исключением лишь цифр, относившихся к окислам железа и к щелочам (табл. 1).



Рис. 1. Обнажение полосатых лав в ущелье Кипчагского оврага под кипчагской церковью.

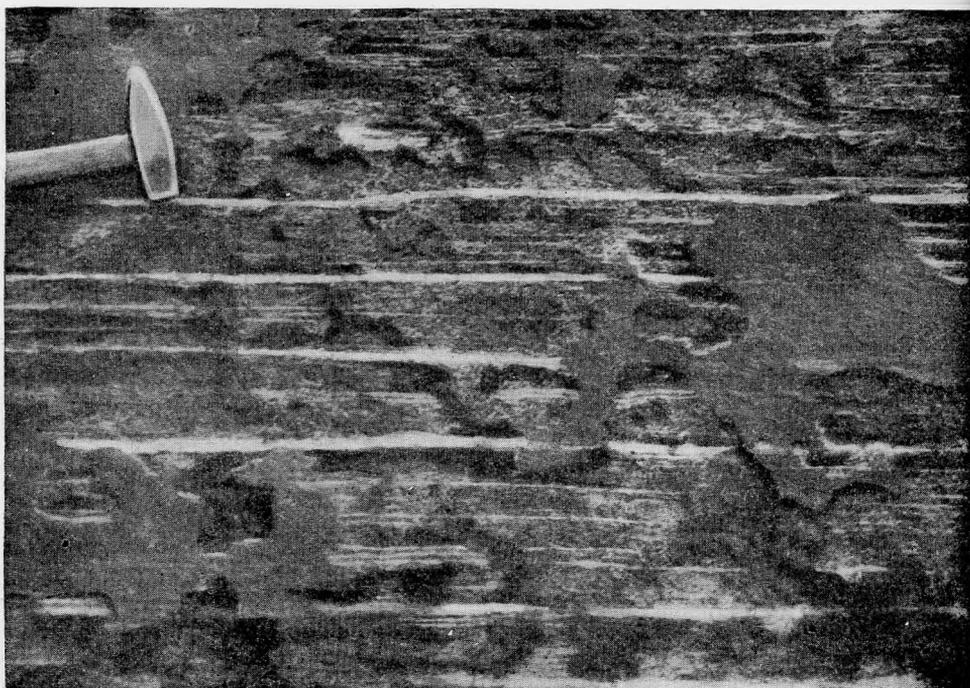


Рис. 2. Деталь обнажения полосатых лав под кипчагской церковью.

Таблица 1

Окислы	Темная часть в %	Розовая часть в %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.10	3.46
FeO	1.31	0.43
Na <sub>2</sub> O	3.02	5.18
K <sub>2</sub> O	5.62	4.02

Демонстрируемая приведенной табличкой несколько большая окисленность железа в розовой части лавы была нам вполне понятна: действовали пары воды или элементы воздуха, захватывавшиеся ими. Но каким образом эти же факторы могли быть причиной усиленного накопления Na<sub>2</sub>O в ущерб K<sub>2</sub>O в той же розовой части породы? Естественно было заподозрить точность самого аналитического определения щелочей с такими результатами. По нашей просьбе химик ИГН АН СССР тов. Разживина со всею возможною тщательностью произвела вновь эти определения и получила в итоге несколько иные, чем ранее, цифры, на этот раз практически тождественные для обоих случаев — черной и розовой лавы. С поправкой Разживиной оба анализа приняли следующий вид (табл. 2).

Таблица 2

Окислы	Темная часть в %	Розовая часть в %
SiO <sub>2</sub>	64.34	65.33
TiO <sub>2</sub>	0.82	0.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.77	16.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.10	3.46
FeO	1.31	0.43
MnO	0.07	0.007
MgO	1.00	0.93
CaO	2.72	2.60
Na <sub>2</sub> O	4.59	4.61
K <sub>2</sub> O	4.25	4.23
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.22	0.64
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.77	0.38
Сумма	99.96	99.72

Теперь, как видим, оба анализа, со стороны практического их тождества, уже более или менее полностью нас удовлетворяют, причем напомним, что такое же практическое химическое тождество, за исключением степени окисления Fe, черных и красных участков, наблюдалось в вышеупомянутой полосатой брекчиевидной лаве Эльбруса [1]. Наряду с этим характерно, что перерождение первоначального магматического вещества в красной фазе эльбрусской лавы сопровождалось опять-таки кристаллизацией в ней калинатрового полевого шпата и кристобалита, хотя на этот раз в крайне дисперсной форме. В красных участках шевелучской лавы Меньяйловым также отмечается присутствие кристобалита.

Возникает теперь весьма интересный вопрос о температурах, господствовавших в период анортотлазо-кристобалитового перерождения кипчагских щелочных дацитов. Для ориентировки в этом вопросе начнем несколько издалека, а именно с экспериментальных данных по гидрохимическому синтезу кристобалита. Впервые таким путем его получил, как известно, К. Хрущов [8] еще в 1895 г., т. е. вскоре же после открытия этого нового тогда минерала (дата открытия — 1885 г.). Условия опыта Хрущова: исходное вещество — смесь растворимой кремнекислоты с во-

дою плюс капля борофтористоводородной кислоты; нагревание в замкнутом сосуде в течение 5 часов при температуре 180—228°, что отвечало давлению около 26 атмосфер. Результат — частичная кристаллизация кремнекислоты в комбинациях октаэдра, куба и ромбического додекаэдра минерала кристобалита.

В новое время (1943) подобные же опыты производил Виарт [10]: порошок кварцевого стекла с дистиллированной водой он нагревал в автоклаве при температуре 374° и давлении 220 кг/см<sup>2</sup> и получал при этом весьма слабое развитие кристобалита; при добавке 0.01 г-мол КОН на литр воды возникала, напротив того, весьма совершенная его кристаллизация; при более значительных содержаниях КОН вместо кристобалита кристаллизовался кварц.

Как следует из приведенных, а равно и из ряда других литературных аналогий, температура кристаллизации и кипчагского кристобалита также должна была быть весьма невысока и во всяком случае значительно ниже, чем у Хрущова и в особенности у Виарта, поскольку процесс анортноклазо-кристобалитового перерождения магматических материалов происходил здесь при давлении, лишь немного отличавшемся от обыкновенного атмосферного.

Удовлетворяет ли, однако же, подобное столь далеко идущее заключение констатированному нами весьма характерному парагенезису кипчагского кристобалита с калинатровым полевым шпатом типа санидин-анортноклаза? Для положительного ответа на этот вопрос достаточно сослаться на цитированные нами [2] уже ранее наблюдения Фейнера [7], описавшего в 1936 г. санидинообразные полевые шпаты из района гейзеров Йеллоустонского парка Северной Америки. Полевые шпаты эти, по его данным, замещают собою вторичным путем основную массу первичных дацитов и образовались в условиях деятельности гейзеров, в температурных пределах от 100 до 200° С.

Было бы, конечно, крайне желательно подкрепить только что приведенные соображения также и прямым экспериментом, производя, однако же, этот последний не статически, в автоклаве, но динамически, — в токе водяного пара, пропускаемого в нагреваемое до тех или иных температур соответственное высококремнеземистое вещество.

Все зафиксированные нами в 1936 г. случаи кристобалита в вулканических образованиях Кавказа и Закавказья представляли собою наиболее молодые четвертичные и современные лавы и их туфы. В 1947 г. нами впервые был обнаружен кристобалит также и в более древних породах, а именно в эоценовых андезит-трахитовых туфах Асканы (Грузия), за счет которых, между прочим, в результате их выветривания, образовались известные асканские бентонитовые глины. Детальное структурно-минералогическое изучение этих туфов, взятых непосредственно под крепостью близ сел. Цихис-Убани, показало весьма сложную петрографическую их природу. Порфирировидные вкрапленники (плаггиоклаз № 40—45, железистый биотит, редкий калишпат) присутствуют в незначительном количестве. Основу породы составляют пемзовые обломки, отдельные поры которых сильно вытянуты в одном направлении и имеют в поперечном сечении эллиптическую форму. Стекло пемзовых перемычек между порами и более сплошных участков нацело перерождено в зеленое хлоритовидное вещество с очень слабым дупреломлением, при  $N=1.591$ . Остальные минералы, выполняющие преимущественно пемзовые полости, представляли собою:

1. Кристобалит в метастабильной, т. е., иначе говоря, оптически изотропной его форме, со светопреломлением  $N=1.484$ .

2. Калиевый анортотлаз, пластинчатый, с  $N_g = 1.523$  и  $N_p = 1.516$ .

3. Тонколучистый цеолит, слабо двупреломляющий, в виде сфероидов. В центре они замутнены, со светопреломлением  $N = 1.476$ , а на периферии, как иглы ежа, совершенно прозрачны, причем  $N$  понижается здесь до значения 1.466. Все это отвечает наиболее минералу птилолиту или мордениту. Характерно, что игольчатые концы его кристаллов впадают в массу кристобалита, что свидетельствует о совпадающем частично времени развития обоих минералов в породе.

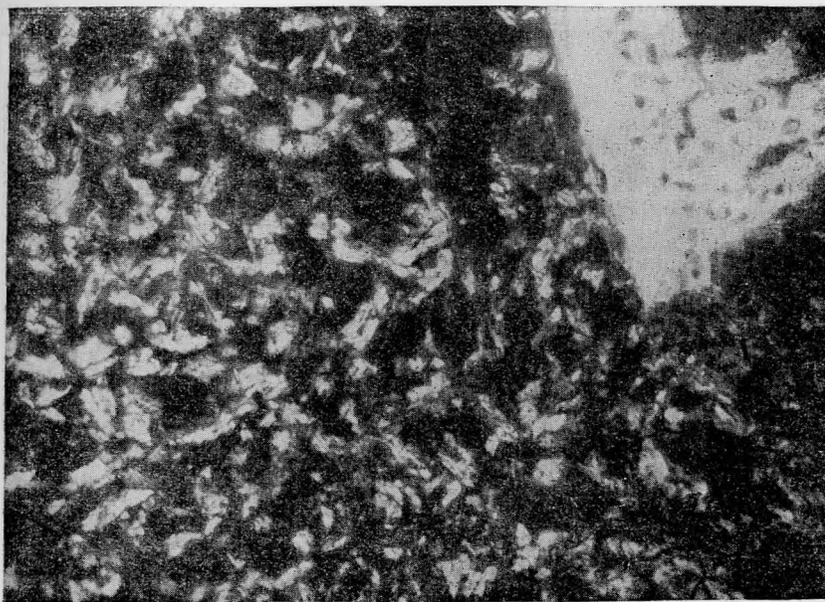


Рис. 3. Кристобалит — анортотлазовый дацит. Пластиночки — анортотлаз; темные промежутки — кристобалит. Кипчаг. Обр. 574. Ув. 240. Никколи скрещены.

Приблизительные количественные соотношения минералов в породе, по подсчету в шлифе, оказались следующими.

Таблица 3

Минералы	Объемные проценты
Вкрапленники { Плаггиотлаз Биотит Калишпат	2—5 1—3 Редок
Основная масса { Стекло хлоритизированное Кристобалит Анортотлаз Птилолит	30—40 20—30 10—20 15—25

Валовой химический анализ туфа дал следующие весовые проценты:  $\text{SiO}_2$  — 57.84;  $\text{TiO}_2$  — 0.35;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 18.13;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 3.63;  $\text{MnO}$  — 0.08;  $\text{MgO}$  — 1.49;  $\text{CaO}$  — 1.01;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 5.49;  $\text{K}_2\text{O}$  — 5.68;  $\text{H}_2\text{O}(-)$  — 0.60;  $\text{H}_2\text{O}(+)$  — 5.64; сумма — 100.14.

Все это в общем хорошо отвечает вышеприведенным количественно-минералогическим цифрам, но от дальнейших более детальных сопоставлений мы отказались вследствие того, что микроскопические подсчеты были лишь приблизительны, а химический состав хлоритового вещества и птилолита не имел полной определенности.

Интересно отметить, что подобные, как в только что описанном случае, перекрытия во времени выделения кристобалита и морденита описаны со-

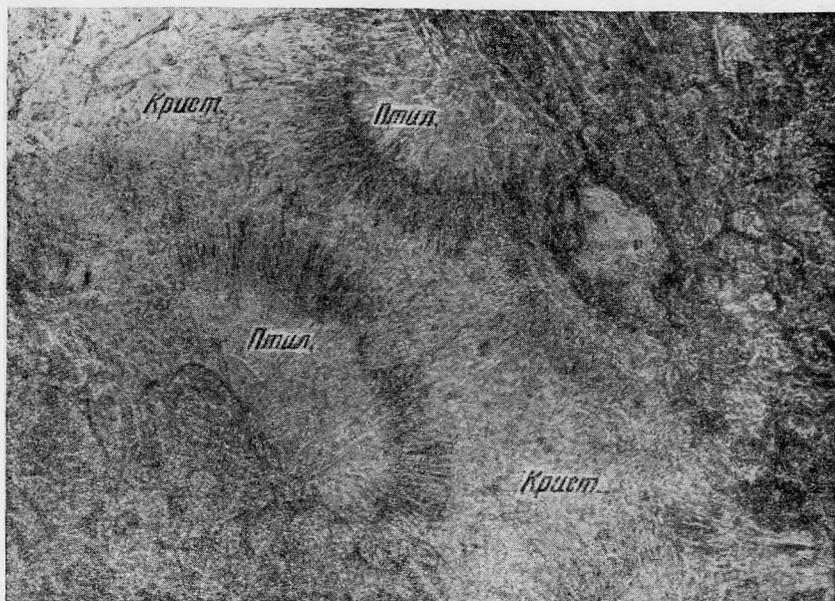


Рис. 4. Выделения птилолита и кристобалита в пустотах андезитотрахитового туфа Асканы. Грузия. Ув. 150. Без анализатора.

всем недавно Валькенбургом и Буи [9] из минералогических заполнений пустот в базальтах Деккана. Однако вытекающее отсюда их заключение о температуре кристаллизации кристобалита, в  $300-400^\circ$ , представляется нам, напротив того, очень сомнительным. В связи со сказанным выше по поводу Кипчага, вероятнее предполагать, по крайней мере для Асканы, значительно более низкие температуры.

В заключение еще об одной описанной в 1936 г. форме выделения закавказского кристобалита, а именно — в контактом глинистом песчанике близ сел. Номаневи (Рача), на границе с вышележащим базальтовым покровом. Кристобалит образует здесь мелкие сферолитовые конкреции в гаулузитовом цементе породы; это с одной стороны, а с другой — находим мы его и в качестве продукта перерождения кварцевых зерен песчаника. В предыдущей публикации Белянкин и Петров ([2], стр. 311—312) предполагали в качестве одной из возможностей, что глинистое вещество песчаника, дегидратированное в процессе контактного обжига, подверглось обратной регидратации в последующее, послеконтактное время. В свете приведенных новых материалов вероятнее предположить второе

высказанное тогда же наше предположение о низкотемпературном образовании кристобалита [3].

Последнее обстоятельство особенно замечательно, так как оно находится в резком противоречии с диаграммой Феннера (1937), согласно которой при низких температурах стабилен неизменно кварц, а не тридимит или кристобалит. Отсюда вытекает необходимость проверки этой диаграммы путем постановки специальной экспериментальной работы в области физико-химических равновесий в системе  $\text{SiO}_2\text{—H}_2\text{O}$  при низких температурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. С. Б е л я н к и н. К характеристике брекчиевидных и полосатых лав вулкана Эльбруса. ДАН СССР, нов. сер., 1938, 21, № 5, стр. 254—258.
2. Д. С. Б е л я н к и н и В. П. П е т р о в. О кристобалите в горных породах Кавказа и Закавказья. Изв. АН СССР, 1936, сер. геол., № 2—3, стр. 303—319.
3. Д. С. Б е л я н к и н и В. П. П е т р о в. Петрография Грузии. Сер. Петрография СССР, вып. 11, изд. АН СССР, 1945, стр. 159.
4. А. Н. З а в а р и ц к и й. Игнимбриды Армении. Изв. АН СССР, 1947, сер. геол., № 3, стр. 3—18.
5. Б. В. З а л е с с к и й и В. П. П е т р о в. Арктическое месторождение туфовых лав. Тр. Петрогр. инст., 1931, в. 1, стр. 71—78.
6. К. Н. Ф е н н е р. Взаимоотношения и пределы устойчивости минералов кремнезема. Классические работы по физико-химии силикатов. Химтеорет., 1937, стр. 9—68.
7. C. N. F e n n e r. Bore hole investigations in Yellowstone Park. Journ. of Geol., 1936, XLIV, N 2, p. 11.
8. K. C h r u s t s c h o f f. Über reguläre Kieselsäurekrystalle. Изв. Рос. Акад. Наук, 1895, № 1, стр. 27—31.
9. A. V a n V a l k e n b u r g a. B. F. B u i e. Octahedral cristobalite with quartz Paramorphs from Ellora Caves, Hyderabad State, India. Amer. Miner., 1945, 30, N 7—8, p. 526.
10. J. W y a r t. Sur la cristallisation de la silica en présence de l'eau sous pression. Bull. Soc. Fr. Miner., 1943, 66, p. 479—489.