

А К А Д Е М И Я НАУК С С С Р

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

Выпуск 90

**ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ
КРИТЕРИИ ЛИКВАЦИИ
В КИСЛЫХ ЛАВАХ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА

1 9 6 3

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

Выпуск 90

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ
КРИТЕРИИ ЛИКВАЦИИ
В КИСЛЫХ ЛАВАХ

25601
~~581191~~
10957

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1963



ИЗДАТЕЛЬСТВО АН СССР

УДК 517.51:517.52:517.53:517.54:517.55:517.56:517.57:517.58:517.59:517.60:517.61:517.62:517.63:517.64:517.65:517.66:517.67:517.68:517.69:517.70:517.71:517.72:517.73:517.74:517.75:517.76:517.77:517.78:517.79:517.80:517.81:517.82:517.83:517.84:517.85:517.86:517.87:517.88:517.89:517.90:517.91:517.92:517.93:517.94:517.95:517.96:517.97:517.98:517.99

1978

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР Г. Д. Афанасьев

1978

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН СССР

ВВЕДЕНИЕ

Идея создания специального сборника, посвященного некоторым определенным типам шаровых лав, генезис которых легче всего может быть объяснен явлениями ликвации, возникла еще в 1959 г. на совещании вулканологов в г. Ереване, однако в то время осуществить ее по ряду причин не удалось.

Вместе с тем вопросы генезиса подобных шаровых лав и, в первую очередь, их кислых разностей, представляют огромный интерес, изучение их, несомненно, может дать новый фактический материал для освещения важнейших проблем петрогенезиса.

Изучая шаровые лавы кислого состава, мы в большей степени, чем обычно, получаем возможность судить о механизме процессов дифференциации, сопровождающих застывание вязких и богатых летучими магм. Быстрое охлаждение на поверхности или в приконтактовых частях жерловин и мелких субвулканических тел, сопровождающееся явлениями закалки, фиксирует отдельные этапы этих процессов, подобно тому как это принято делать в условиях эксперимента.

Из всего сказанного становится понятным тот повышенный интерес, который за последние годы проявляют к шаровым лавам многие петрографы, преимущественно из числа тех, кто работает в областях развития вулканогенных формаций.

Произошла своего рода «цепная реакция»: интерес к шаровым лавам, возобновившийся вслед за почти тридцатилетним перерывом, в связи с работами И. М. Воловиковой (1955), О. П. Елисеевой (1960) и других стал быстро возрастать и вскоре эти образования были обнаружены почти во всех районах развития вулканогенных формаций и в эффузивах всех возрастов от низов палеозоя до неогена включительно, в том числе и там, где их принимали ранее за конгломераты или скопления вулканических бомб.

Последовавшие затем статьи, посвященные вновь открытым шаровым лавам, в большинстве своем содержали доказательства в пользу их происхождения путем ликвации. Наряду с этим, все больше появлялось фактов, свидетельствующих о ведущей роли в рассматриваемом процессе газовой составляющей, а также о значении позднемагматических процессов, сопровождавшихся перераспределением в породе отдельных компонентов и, в первую очередь, калия и натрия.

Сказанное вплотную подводит исследователей, занятых изучением шаровых лав, к необходимости физико-химической интерпретации наблюдаемых явлений. Но предварительно было необходимо собрать и проанализировать новый фактический материал, полученный за последнее время. Представлялось, что этот материал и вытекающие из него эмпирические закономерности позволят в дальнейшем более уверенно определить те основные направления изучения, по которым должны будут пойти физико-химические интерпретации.

С этой целью и был организован предлагаемый сборник. В составлении его приняли участие шесть авторов, которые описали шаровые лавы Средней Азии, Азербайджана, Армении и Приморского края, относящиеся по возрасту к среднему палеозою, мелу, палеогену и неогену. Кроме того, Е. П. Зайченко и М. А. Фаворской был написан краткий обзор истории развития взглядов на петрогенетическое значение явлений ликвации. Теми же авторами составлен библиографический список главнейших работ, посвященных явлениям ликвации в расплавах и генезису шаровых образований, в том числе и подушечных лав.

Тематика сборника была намеренно ограничена шаровыми образованиями в кислых лавах, с одной стороны, потому, что они представляют наибольший интерес ввиду постоянного участия в их формировании значительных количеств летучих компонентов, с другой стороны — ввиду их относительно меньшей изученности по сравнению с основными разновидностями.

Наиболее интересные положения, полученные авторами сборника в результате проведенных исследований, сводятся к следующему.

1. Получены новые доказательства, свидетельствующие в пользу явлений ликвации магматического расплава. При этом установлено, что ликвация может происходить как на ранних стадиях кристаллизации расплава (в липаритах бассейна р. Кенцухе в Приморье, по данным М. А. Фаворской), так и на самых поздних стадиях, после кристаллизации микролитов (в трахилипаритах Гегамского нагорья Армении, по данным К. И. Карапетяна). В первом случае выделение шаровидных обособлений происходило неоднократно, причем более поздние «налипали» на более ранние.

Следует также остановиться на выводах, сделанных С. Г. Карапетяном. По мнению этого автора, исследовавшего шаровые образования в обсидианах Зангезурского хребта (Армения), ликвация происходила в очаге или в глубине канала и приводила к образованию линзовидных обособлений и слоев, отличающихся по составу от главной массы расплава. В дальнейшем, в процессе движения, эти слои разрывались с образованием неправильных обособлений, приобретающих сферическую форму уже в условиях спокойного застывания на поверхности.

В этой связи нельзя не отметить недавнее высказывание Д. С. Коржинского (1962), отрицающего существенное петрогенетическое значение ликвации в силикатных расплавах. Образование неоднородных стекол обусловлено, по его мнению, наличием в расплаве различающихся по составу «струй», разрывающихся в процессе движения. Однако такое объяснение, поскольку оно касается только механизма образования «шаров» или капель из слоя или «струи», отличающихся по составу от остального расплава, не может объяснить ни причины возникновения таких струй, ни причин образования поверхностей раздела, ограничивающих шары, и, следовательно, оставляет, по существу, вопрос об участии процессов ликвации открытым.

Нельзя согласиться и со вторым аргументом, выдвигаемым Д. С. Коржинским для обоснования незначительной роли процессов ликвации в петрогенезисе, согласно которому между разными типами магматических пород наблюдаются постепенные переходы вместо резкого расщепления, создаваемого ликвацией. Это утверждение неправильно по существу, так как проблема так называемой «контрастной дифференциации», сопровождающейся образованием сложных интрузивных массивов с участием монцонитов и аляскитов, давно обсуждается петрографами. Кроме того, нельзя забывать, что многочисленные случаи повторных взаимных пересечений даек аплитов и диорит-порфиритов с несомненностью свидетельствуют о существовании на поздних стадиях

развития интрузивных очагов изолированных участков с различным составом расплавов.

Возвращаясь к содержанию сборника, следует отметить, что особенный интерес представляют примеры, в которых как «шары», так и цементирующая их масса сохраняют изотропность (данные А. Х. Мнацакяна, Р. Т. Джрбашяна, М. А. Фаворской). В этих случаях при интерпретации их генезиса авторы могут полностью сбросить со счетов возможность влияния более поздних наложенных процессов, так как последние, несомненно, привели бы к раскristаллизации стекла.

Получен ряд доказательств в пользу того, что шаровые обособления в большинстве случаев кристаллизуются раньше цементирующей их лавы.

Различия в химизме шаровых образований и цемента в некоторых случаях незначительны, но чаще эти различия бывают существенны и выражаются в основном в более кислом составе «шаров», по сравнению с цементом, и в различиях в соотношении калия и натрия (данные А. Х. Мнацакяна по Азербайджану, М. А. Фаворской по Приморью и др.). Отмечены как существенно калиевые, по сравнению с цементом, так и существенно натриевые шаровые обособления, причем крупные шары, достигающие в поперечнике свыше нескольких сантиметров, обычно бывают обогащены калием. Следует вместе с тем отметить, что наряду с шаровыми обособлениями, образование которых не может быть объяснено иначе, чем путем ликвации, большинство из авторов сборника описывают и типичные сферолиты, растущие из расплава (М. А. Фаворская и др.), так же как и участки, образовавшиеся в результате вторичных изменений в стекле (С. Г. Карапетян). Во всех этих случаях обнаруживаются существенные различия, не позволяющие ставить знак равенства между сферолитами и типичными вариолями.

2. Обнаружено существование шаров различного размера, содержащих полости частично или целиком заполненные пневматолитовыми (в шаровых лавах Тянь-Шаня по Е. П. Зайченко) или гидротермальными (в лавах Приморья по М. А. Фаворской) образованиями. При этом установлены факты, свидетельствующие о том, что упомянутая минерализация не является наложенной, но сами шары произошли путем обособления части расплава вокруг газовых пузырей. В дальнейшем такие участки расплава застывали раньше, чем основная его часть, и последующие превращения газового пузыря происходили уже в замкнутом пространстве. В пользу последнего говорят, например, установленные М. А. Фаворской при изучении шаровых лав бассейна р. Малазы в Южном Приморье крупные слабо раскristаллизованные липаритовые шары, вцементированные в совершенно изотропное вулканическое стекло. Шары содержат пустоты, в значительной степени выполненные различными гидротермальными минералами. О том, что они застывали раньше цементирующего их обсидиана и при этом в пустотах уже существовали газово-жидкие включения, свидетельствует тот интересный факт, что некоторые шары содержат полосчатый или слоистый халцедон, отдельные плоско-параллельные пачки которого в полостях располагаются под углом друг к другу, что является результатом изменения положения шара в течение времени отложения халцедона. Ввиду того, что весь поток обсидианов р. Малазы тектонически совершенно не нарушен, а углы наклона между пачками в разных шарах разные, единственным объяснением этого факта может быть предположение, что шары поворачивались при движении еще не застывшего расплава.

Несколько иное происхождение имеют описанные С. Г. Карапетяном литофизы из верхнеплиоценовых обсидианов Зангезурского хребта. Здесь в процессе застывания богатого летучими участка расплава происходило выделение последних, сопровождавшееся сокращением объема

шара и образованием ряда концентрических полостей. О том, что минералы, кристаллизующиеся в полостях шаров, не являются наложенными, говорит также постоянное присутствие в протолочках, сделанных из шаров,— аксессуариев, богатых летучими, таких, как флюорит, карбонаты, а также сульфидов тяжелых металлов при почти полном их отсутствии в протолочках из цементирующей массы.

3. При изучении третичных шаровых лав бассейна р. Кенцухе М. А. Фаворской установлены следы повторных автометаморфических процессов, причем на заключительных этапах позднемагматического процесса замещение калиевым полевым шпатом сменялось альбитизацией. Об автометаморфичности этих процессов свидетельствует их преимущественное развитие в шаровых обособлениях по границам с цементирующим фельзитом, в отличие от поздних наложенных явлений, в результате которых образуются прожилки вторичных минералов, секущие как шары, так и вмещающий их фельзит.

4. О причинах, способствовавших разделению расплавов на несмешивающиеся части, можно пока говорить только предположительно. К. И. Карапетян считает, что возбудителем процесса ликвации является в описанном им случае неравномерное трение движущегося вязкого магматического потока о стенки канала. Вследствие этого происходит образование своеобразных плоскостей раздела с пониженным давлением. Эти ослабленные зоны обогащались летучими, в результате чего и создавались благоприятные условия для расщепления остаточного расплава на две несмешивающиеся части.

В отдельных случаях, как это, по-видимому, имело место в липаритовом куполе из района Пушкинского перевала в Армении (Р. Т. Джрбашян), ликвации способствовала ассимиляция кислой магмой известняков, сопровождавшаяся обогащением магмы углекислым газом.

Интересно также следующее явление. При окраске кобальтинитритом липаритов со стекловатым или фельзитовым базисом неоднократно наблюдалось неоднородное его строение. Окрашенные, а следовательно, и обогащенные калием участки распределялись в виде ореолов вокруг вкрапленников различного состава, а иногда и около посторонних обломков. Создается отчетливое впечатление, что калий имеет тенденцию к накоплению около «препятствий», представляющих собой поверхности раздела различных сред, и вне зависимости от состава подобных препятствий. Эти факты позволяют поставить, пока что в самой осторожной форме, вопрос о том, не являются ли процессы такого рода первым толчком к обособлению богатых калием «капель», окружающих газовые пузыри или налипающих на более ранние, уже успевшие застыть, шаровидные обособления.

Как уже отмечалось, авторы сборника пока не пытаются дать наблюдаемым явлениям более углубленную интерпретацию, считая это следующим этапом своих исследований. Однако уже сейчас нельзя не отметить, что изучение подобных шаровых образований вплотную подводит нас к решению вопросов о поведении летучих, а частично и рудных компонентов в процессе застывания кислой магмы.

Нам кажется также, что систематизация всех имеющихся многочисленных химических анализов как кислых, так и основных шаровых лав, образовавшихся при участии процессов ликвации, уже в ближайшее время позволит более определенно ответить на вопрос: какого состава расплавы возникают при этом в природе, что в свою очередь позволит более уверенно судить о возможных масштабах этих явлений и о их удельном весе среди других петрогенетических процессов.

Доктор геолого-минералогических наук М. А. Фаворская

Е. П. ЗАЙЧЕНКО, М. А. ФАВОРСКАЯ

К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ
НА ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ
ЯВЛЕНИЙ ЛИКВАЦИИ

Мы уже указывали, что шаровые обособления в лавах кислого состава могут иметь различное происхождение и, в соответствии с этим, с некоторой долей условности подразделяются на три основные группы:

1. Шаровые образования, связанные с отдельностью в лавах.
2. Сферолиты, образующиеся в процессе кристаллизации расплава или последующей раскристаллизации вулканических стекол.
3. Шаровые образования — продукты ликвации магматического расплава.

Следует отметить, что если первые два генетических типа сравнительно легко устанавливаются, то даже само существование третьего типа некоторые исследователи ставят под сомнение.

Правда, наличие явлений расслоения в сухих силикатных расплавах было еще в 20-х годах экспериментально подтверждено Грейгом (Greig, 1928), после чего дальнейшие споры разгорелись уже вокруг вопроса о возможности перенесения соответствующих экспериментальных данных на явления, наблюдаемые в природе. Сам Грейг вывел из своих опытов заключение, что область несмесимости в изученных им двух- и трехкомпонентных системах лежит далеко за пределами составов изверженных горных пород. Однако уже в 1935 г. опытами Д. П. Григорьева (1937) было доказано, что картина резко меняется в случае участия в расплаве летучих компонентов. Продукты ликвации, полученные в результате этих опытов, были близки к природным сиенитам и липаритам. Возможность возникновения расплавов, близких по составу к природным магмам, была также подтверждена в дальнейшем опытами Е. Роддера (1954).

В конце 50-х годов экспериментальным изучением расслоения в силикатных расплавах в связи с теорией магматической ликвации занимались А. И. Цветков, Я. И. Ольшанский, А. С. Котлова и З. П. Ершова. Авторами изучалось равновесие несмешивающихся жидкостей в системах: $\text{MeF}_2 - \text{MeO} - \text{SiO}_2$, $\text{MeF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ и $\text{MeCl}(\text{MeCl}_2) - \text{B}_2\text{O}_3$. При этом установлено уменьшение размеров области расслоения в жидкой фазе при увеличении отношения радиуса катиона к валентности и отмечена зависимость размеров расслоения от характера аниона.

И все же скептицизм в отношении петрогенетического значения явлений ликвации сохраняется у ряда исследователей и до настоящего времени. Причина этого заключается, в первую очередь, в том, что до самого последнего времени находки шаровых лав с нераскристаллизованными стекловатыми шаровыми образованиями и такой же

цементирующей массой практически отсутствовали. Это давало основание противникам ликвационной гипотезы утверждать, что «шары» во всех случаях образуются в результате сферолитовой кристаллизации из расплава или раскристаллизации застывшего однородного стекла. Так, Грейг (Greig, 1928) поставил под сомнение выводы Тантона (Tanton, 1925) о ликвационном происхождении шаровых лав Эгет Пойнта в Канаде. По мнению Тантона, кварцевые порфиры этого района состоят из стекловатой основной массы, включающей стекловатые же шарики, сливающиеся иногда в полосы и флюидалные потоки. Поводом для возражений против концепции Тантона послужило наблюдаемое под микроскопом вторичное расстеклование как шариков, так и основной массы. Это позволило Грейгу, а впоследствии также Д. С. Белянкину (1949), высказать предположение о том, что при образовании кварцевых порфиров Эгет Пойнта происходила не ликвация, а сферолитовая девитрификация первоначально сплошь однородной стекловатой породы. В пользу этого предположения послужила также незначительность разницы в химическом составе между шариками и цементирующей массой исследованных кварцевых порфиров. Подобные же аргументы против петрогенетического значения процессов ликвации в более широком аспекте приводятся в книге А. Н. Заварицкого и В. С. Соболева (1961). Авторы утверждают, что «несмотря на многолетние и тщательные поиски, нигде не удалось найти шариков одного стекла в другом. Правда, были утверждения, что такие стекла найдены, но при ближайшей проверке всегда оказывалось, что шарики представляют собой сферолиты, т. е. продукты раскристаллизации стекла» (стр. 299). Далее авторы полагают также, что экспериментальные данные «никак не могут быть доказательством явлений ликвации магмы», ввиду того, что опыты Д. П. Григорьева, получившего две несмешивающиеся жидкости, близкие по составу к природным магматическим расплавам, протекали в присутствии больших количеств фтора (3—5%). Авторы утверждают, что столь высокие содержания минерализаторов не свойственны природным магмам и приводят данные, согласно которым, в частности, растворимость воды в магмах вплоть до самых высоких давлений не превышает 10% и в области, где несмешимость силикатных расплавов отсутствует в сухих системах, она отсутствует и при наличии воды.

Следует, однако, отметить, что последующие данные в значительной мере опровергают перечисленные аргументы А. Н. Заварицкого и В. С. Соболева. Все больше появляется примеров, где стекловатые шаровые образования не могут быть уподоблены сферолитам, а цементирующая их масса также не несет на себе следов расстеклования. Кроме того, имеющиеся данные о химических составах, характере аксессуарных минералов, гидротермальных постмагматических проявлениях и прочих позволяют утверждать, что магма, из которой образовались некоторые кислые шаровые лавы, была исключительно богата летучими, в том числе фтором.

Как известно, одним из наиболее активных сторонников петрогенетического значения процессов ликвации был Ф. Ю. Левинсон-Лессинг (1905, 1933, 1935). По мнению этого автора, подобные процессы привели к образованию вариолитов Ялгубы (Карелия) и Мугоджарских гор (Южный Урал), эти же процессы лежат и в основе образования полосчатых габбро. Вместе с тем Ф. Ю. Левинсон-Лессинг отмечал, что вопрос о механизме магматической дифференциации не разрешен еще ни теоретически, ни экспериментально. В качестве возможных ее причин он, наряду с расщеплением на несмешивающиеся жидкости, выдвигал, в частности, правило Сорэ, в силу которого в более холодных частях раствора повышается его концентрация. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг придавал большое значение явлениям ассимиляции как возможным возбудителям

расщепления силикатных расплавов, полагая, по аналогии с жидкими растворами, что иногда присоединение путем ассимиляции хотя бы незначительных количеств некоторых веществ может привести к подобному расщеплению.

Значительный вклад в изучение процессов, сопровождающих кристаллизацию кислых магм, и в том числе механизма образования сферолитов и шаровых обособлений, был внесен исследованиями Д. С. Белянкина. В 1933 г., сравнивая сферолиты в техническом стекле со сходными образованиями в горных породах, этот автор приходит к заключению, что первые из них являются продуктом девитрификации стекла, а вторые образуются значительно более сложным путем. При этом он отмечает, что кристаллизация сферолитов в техническом стекле сопровождается сложной перегруппировкой окислов, происходящей почти исключительно в пределах самого сферолита, который, таким образом, представляет собой своего рода замкнутую систему. В отношении природных продуктов Д. С. Белянкин допускает участие в процессе их образования явлений ликвации. Вместе с тем, рассматривая результаты химических анализов в упомянутой выше статье Тантона, он подчеркивает сильнейшее обеднение краевых зон шариков глиноземом и обогащение их щелочами, это приводит его к следующему интересному выводу: «Если анализ верен, то дело здесь, очевидно, не в ликвации и не просто в девитрификации, а в причинности совершенно иного порядка. Не может ли иметь здесь место нечто от контактового метаморфизма с привнесением щелочей и пр.» (Белянкин, 1933, стр. 116). Однако в более поздней своей работе (Белянкин, 1949) автор ставит возможность магматической ликвации под сомнение и в споре между Тантоном и Грейгом занимает сторону последнего. Признавая, что происхождение вариолитов, изученных Ф. Ю. Левинсон-Лессингом, не может быть объяснено простой девитрификацией стекла, он в то же время считает, что в данном случае необходимо точно удостовериться, не имеем ли мы в вариолях вместо второго стекла скрытокристаллических конкреционных стяжений, наподобие округлых пятен в спилозитах, и указывает на необходимость их изучения в аншлифах с применением травителей и проведений рентгенографических исследований.

Высказанные Д. С. Белянкиным соображения о значении щелочного метасоматоза в процессе образования шаровых обособлений получили в дальнейшем подкрепление новыми фактами. Так, в частности, Ямагухи приводит описание сферолитовых кварцевых порфиров района Темонкё, образовавшихся при участии калиевого метасоматоза, сопровождавшего внедрение кварцевых фельзитовых порфиров в брекчированные кварцевые порфиры.

Как уже отмечалось во введении, начиная с середины 50-х годов, была опубликована серия новых исследований, посвященных шаровым обособлениям в кислых лавах. Среди них могут быть отмечены статьи И. М. Воловиковой (1955), В. И. Лебединского и Мо Кэ-миня (1958), О. П. Елисейевой (1960), Р. Т. Джрбашяна (1961), И. З. Бурьяновой и М. А. Фаворской (1961) и др. Эти публикации обладают общими чертами, отличающими их от большинства более ранних работ по этому вопросу. Так, в первую очередь, совпадают взгляды авторов на генезис описанных ими шаровых образований, связанный, по их мнению, с процессами ликвации. Вместе с тем приведенный в статьях новый обширный фактический материал в большинстве своем идет в разрез с аргументами противников ликвации. Так, в лавах, описанных В. И. Лебединским и Мо Кэ-минем, так же как и Р. Т. Джрбашяном, шаровые образования и цементирующая масса были полностью изотропными. В других случаях (данные И. М. Воловиковой, О. П. Елисейевой) шаровые образования были частично раскристаллизованы и сохраняли

изотропную внешнюю кайму. В ряде публикаций авторами описывается совместное присутствие продуктов ликвации и сходных с ними шаровых образований иного генезиса и устанавливаются критерии их разграничения. По данным И. М. Воловиковой, в описанных ею эффузивах Чаткальского хребта присутствуют два типа сферолитов со следующими генетическими особенностями: 1) сферокристаллы, образование которых связано с зародышевой формой кристаллизации вещества в условиях определенного переохлаждения пластично-вязкой магматической массы; 2) каплеобразные сферолиты, которые образовались до затвердевания породы в виде эмульсионных капель, впоследствии слившихся в слои. Отмеченные типы резко отличаются друг от друга по форме, неизменно правильной сферической у образований первого типа и приобретающей овальный, как бы расплющенный характер в нижних частях покрова, у образований второго типа. Для каплеобразных сферолитов характерно слипание шаров с образованием слоев, наличие перлитовых трещин и неполная раскристаллизация шаровых обособлений, при которой сохраняется изотропной краевая зона. И. З. Бурьянова и М. А. Фаворская, изучавшие кислые лавы одного из районов Приморского края, пришли к заключению, что шаровые обособления в них произошли в итоге двух последовательных явлений: ликвации в силикатном расплаве и последующего воздействия на уже застывшее стекло-цемент позднемагматических растворов, проникавших по трещинам перлитовой отдельности.

Доказательством того, что образование «коричневых каплеобразных обособлений» произошло в результате застывания эмульсии, служит их слияние с образованием тонких слоев, параллельных плоскости плитчатой отдельности, а также их четкие и ровные поверхности раздела с цементирующей массой. Описанные образования окружены участками стекла с характерной фельзитовой раскристаллизацией, интенсивно обогащенного калием. Эти участки имеют также форму шаров, но отличаются от вышеописанных каплеобразных обособлений расплывчатыми контурами и отчетливой приуроченностью к перлитовым трещинкам.

На явления слияния шаровых обособлений, сопровождающиеся образованием неправильных амебовидных форм или слоев, указывает большинство из перечисленных выше авторов, справедливо считая эти явления доказательством первоначального жидкого состояния подобных образований. Наконец, в большинстве из рассматриваемых публикаций отмечается значительное содержание в исходном расплаве летучих компонентов. Так, касаясь возможных причин ликвации в лавах Курминского хребта, О. П. Елисеева отмечает неравномерное участие в расплаве летучих, в частности фтора, остатки которого в настоящее время находятся в шарах в виде акцессорного флюорита. И. З. Бурьянова и М. А. Фаворская указывают на высокое содержание воды в шаровых лавах р. Иманки, свидетельствующее о богатстве исходного расплава летучими, послужившем одной из причин возникновения ликвации.

В отличие от более ранних работ (Гилярова, 1959; Кашкай и Бабаев, 1958), посвященных вариолитам основного состава, упомянутые авторы в большинстве случаев подчеркивают наземные условия образования шаровых лав и, соответственно, существенно эндогенный характер сопровождающей их воды и прочих летучих компонентов.

Резюмируя все сказанное об отечественных работах последних лет, следует отметить, что позиции сторонников существенного петрогенетического значения ликвации постепенно подкрепляются новыми фактами. Неизменный интерес продолжают проявлять к этой проблеме и зарубежные ученые. В этой связи интересна статья А. Стейнера (Steiner, 1960), посвященная новой концепции о генезисе новозеландских игнимбригов. Автор считает, что магма, из которой образовались игнимбриги, при излиянии на поверхность обладала специфическими свойствами,

способствовавшими ее расщеплению на две несмешивающиеся жидкости. В процессе движения подобного разнородного расплава возникали структуры, свойственные типичным игнимбритам и связанные постепенными переходами с флюидалными риолитами того же происхождения. Автор приводит в подкрепление своей концепции не только детальные петрографические наблюдения над структурами игнимбритов, но и обзор литературных данных, подтверждающих возможность расщепления силикатных расплавов. Все сказанное приводит его к заключению о том, что широкое распространение игнимбритов делает концепцию несмешивающихся жидкостей особенно важной для представлений о вулканическом петрогенезисе.

Одним из наиболее поздних выступлений по вопросу о петрогенетическом значении процессов ликвации является краткое высказывание Д. С. Коржинского, который полагает, что геологические данные не подтверждают заметной роли ликвации в петрогенезисе, поскольку между разными типами магматических пород наблюдаются постепенные переходы вместо резкого расщепления, создаваемого ликвацией. При этом он считает, что образование «неоднородных вулканических стекол» происходит в результате смешения разных струй флюидалной магмы при недостаточном быстром их взаимном растворении в условиях быстрого застывания.

Существенные возражения, которые в настоящее время вызывает эта точка зрения, были отмечены во введении к сборнику.

*К. И. КАРАПЕТЯН***ШАРОВИДНЫЕ И ЛЕНТОЧНЫЕ ОБОСОБЛЕНИЯ
В ТРАХИЛИПАРИТАХ ГЕГАМСКОГО НАГОРЬЯ
(АРМЯНСКАЯ ССР)****ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Летом 1961 г. в процессе геолого-петрографического изучения восточной периферии Гегамского (Агмаганского) нагорья нами были обнаружены вулканические породы с характерными шаровидными и ленточными обособлениями. Образования эти приурочены к трахилипаритам третичной вулканогенной толщи, развитой на западном побережье оз. Севан.

Находки аналогичных образований (особенно в кислых лавах) в последние годы вызвали большой интерес и вновь подняли ряд вопросов, связанных с проблемой ликвации. Это обстоятельство побудило автора в настоящем сообщении привести материалы по изучению указанных обособлений и изложить свои взгляды на их происхождение.

Существенную роль в строении прибрежной части Гегамского нагорья играют четвертичные лавы андезито-базальтового состава, перекрывающие и иногда обтекающие третичный фундамент, сложенный главным образом вулканическими породами. Третичная вулканическая толща образует небольшие выходы; породы толщи наиболее обнажены в районе так называемого «мыса с развалинами» (крайние северные обнажения) и на юге, на широте с. Еранос. С запада область развития толщи ограничена четвертичной взбросовой Гехаркуникской грядой, с востока — берегом Большого Севана. Возраст толщи К. Н. Паффенгольц (1934, 1959) определяет как олигоценовый, другие исследователи относят эти породы к неогену (Асланян, 1949; Милановский, 1956; Габриелян, 1958 и др.)¹.

Геологическое строение толщи довольно сложное; в состав ее входят андезиты, андезито-дациты, трахиандезиты, трахилипариты и трахилипаритовые лавобрекчии. Изолированность выходов и сложность строения не позволяют достаточно удовлетворительно установить взаимоотношение пород толщи; не исключено, что трахилипариты, господствующие в северных выходах, являются наиболее молодыми.

¹ Точка зрения Б. М. Куплетского (1929), согласно которой толща является наиболее молодой в районе, недостаточно обоснована фактическим материалом.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ШАРОВИДНЫХ ОБОСОБЛЕНИЙ

Шаровидные выделения наблюдались в трахилипаритовых породах, обнаженных на «мысе с развалинами» и в окрестностях с. Гехаркуник; во втором пункте, расположенном в 4,5 км к юго-западу от мыса, кроме того, были встречены тесно связанные с «шариками» ленточные образования.

«Мыс с развалинами». Трахилипариты обнажаются на большей части мыса, обрываясь с востока к озеру крутым скальным обрывом. С запада и юго-запада трахилипариты уходят под возделанные поля, и только местами видно, что они перекрываются четвертичными андезитобазальтами.

В скальном карнизе, высота которого достигает 20 м, отчетливо видно зональное строение лавового тела. В нижней части обнажения развита плитчатая отдельность, сменяющаяся кверху глыбовой, причем в верхней части обрыва появляются уже и пористые разности. Все это, а также факт почти горизонтального залегания плит, дает основание считать, что трахилипариты в этой части толщи образуют лавовый поток.

В южной и центральной частях мыса развиты черно-серые и черные трахилипариты, часто пересекающиеся белыми жилками того же состава. На севере и северо-востоке они сменяются розовато-белыми разновидностями, местами переходящими в лавобрекчии. Брекчиевое сложение последних обусловлено высоким содержанием автолитов и ксенолитов. Многочисленны ксенолиты и в восточной части мыса. На отмеченных участках они представлены едва переработанными оскольчатыми обломками пород нескрытого ложа. Главная масса ксенолитов образована лавами базальтового облика; исключительно редки известковистые песчаники. Размеры ксенолитов изменяются от 1—2 см до 1,2—1,6 м.

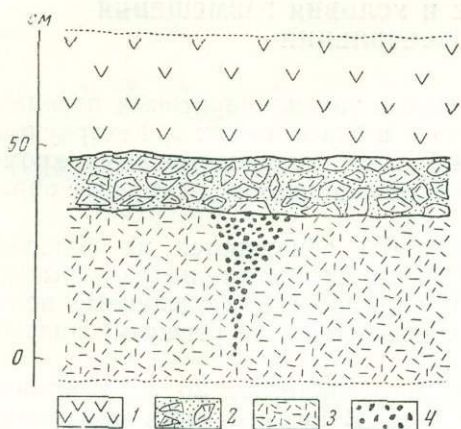
Далее к северу, уже за пределами мыса, трахилипариты уходят под мощный покров четвертичных андезитобазальтов.

Шаровидные обособления пользуются крайне ограниченным распространением; встречены они на небольшом участке в левом борту сухой, почти меридионального направления балки, ограничивающей мыс с севера.

Склон в этом пункте задернован и завален обломками трахилипаритов и глыбами четвертичных лав, коренные выходы которых венчают гребень борта балки. В первичном залегании трахилипариты хорошо обнажены только в верхней части склона, в непосредственном контакте с андезитобазальтами. Здесь под шлаковой постелью четвертичного лавового покрова развит слой (до 20 см) обломков трахилипаритов, слабо сцементированных грязно-белым и бело-желтым известковым веществом. Ниже обломочного слоя следуют светло-бурые монолитные трахилипариты с редкими небольшими (до 4—5 см) ксенолитами базальтового состава. Еще ниже по склону из элювия выступают невысокие (до 4—4,5 м) трахилипаритовые скалы с тонкоплитчатой отдельностью. Плоскости отдельности имеют северо-восточное падение под углом 20—30°. Общая видимая мощность трахилипаритов доходит до 20—25 м.

В верхней, хорошо обнаженной части трахилипаритов глыбового сложения плотно расположенные шаровидные обособления образуют характерную конусовидную «струи», упирающуюся основанием в лежащий выше обломочный слой (фиг. 1). Высота «струи» 30—35 см, диаметр основания 16—20 см.

На общем светло-буrom фоне вмещающей породы обособления едва различимы; цвет их серый и темно-бурий, иногда красновато-бурий.



Фиг. 1. Размещение шаровидных обособлений на «мысе с развалинами» (схематическая зарисовка)

1 — андезито-базальты; 2 — обломочный слой;
3 — трахилипариты; 4 — «струя» шаровидных обособлений

яются у берега небольшого пруда, в вертикальной стенке выемки, пройденной в 80—90 м к северо-северо-западу от холма. Эти два выхода разделены перекрывающими их роговообманковыми андезитами; с трех других сторон трахилипаритовый холм окружен четвертичными андезито-базальтами.

Холм слабо задернован; сравнительно редки свободно лежащие обломки беловатых и розоватых трахилипаритов размером до 1,5 м. В гребневой части глыбы более или менее изометричны, ниже по склонам преобладают обломки плитчатой формы.

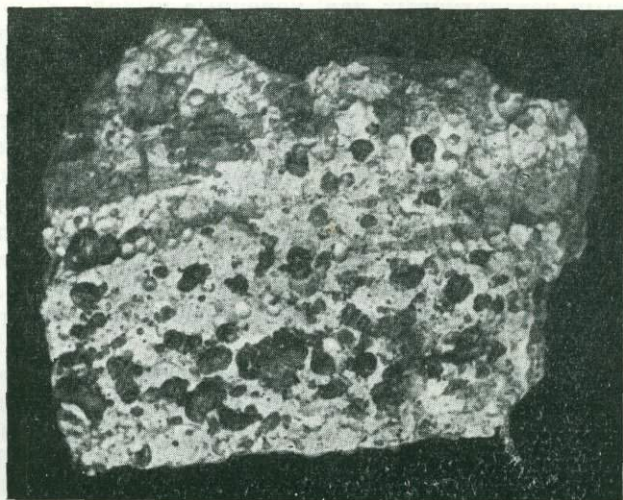
Коренное залегание чаще наблюдается у плитчатых разностей, хорошо развитых в нижних частях склонов. В этих местах плоскости отдельности падают к середине, внутрь холма под углом до 20°. Выше по склонам крутизна падения увеличивается и местами плитки бывают

Форма обособлений шарообразная и бобовидная; соприкасаясь, шарики образуют более сложные почковидные выделения. Размеры обособлений колеблются в пределах 0,5—3 мм, причем определенной закономерности в распределении выделений в зависимости от положения в «струе» не подмечено.

Во вмещающей «струю» породе шаровидные обособления практически отсутствуют; единичные небольшие шарики составляют редкое исключение.

Окрестности с. Гехаркуник.

В этом обнажении трахилипариты слагают невысокий (до 25 м), овальный в плане (120×80 м), холм, вытянутый в северо-северо-западном направлении. Помимо этого, трахилипариты обна-

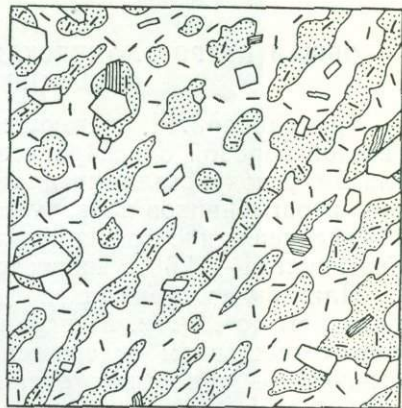


Фиг. 2. Трахилипарит с шаровидными обособлениями.
Нат. вел.

поставлены «на голову». Вертикальная плитчатая отдельность видна и в выемке у пруда, находящейся на продолжении оси холма. Такая закономерность в расположении плит указывает на то, что в данном случае трахилипариты слагают купол веерообразного строения.

В породах купола шаровидные обособления распространены довольно широко. На общем светлом фоне они хорошо выделяются буроватым или серым цветом и своими шаровидно-бобовидными формами. Часто шарики, соприкасаясь, образуют сложные почковидные образования. Размеры обособлений 0,2—8 мм; наиболее распространены выделения диаметром 2—3 мм (фиг. 2).

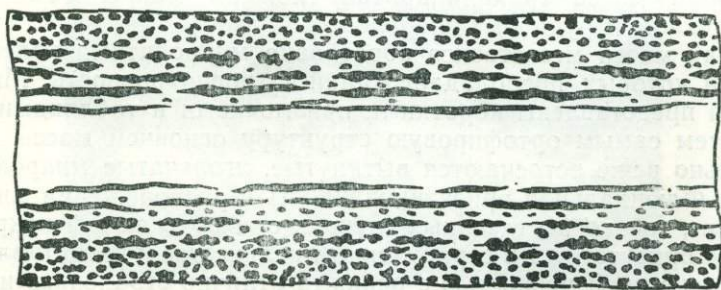
С шаровидными обособлениями тесно ассоциируют своеобразные «ленты», большинство из которых плохо выдержаны и имеют характерные раздувы и бухточками с плавными очертаниями. Цвет ленточек бурый или серый, по составу они не отличаются от шаровидных обособлений. Толщина ленточных обособлений изменяется от 0,5 до 3—4 мм; отклонения от этих величин редки. Протяженность лент невелика (не более 10 см), часто они прерываются и выклиниваются (фиг. 3).



Фиг. 3. Ленточные обособления в трахилипарите. Увел. 2.

Шаровидные и ленточные обособления встречаются главным образом в трахилипаритах с плитчатой отдельностью.

Тонкие плитки (2—4 см) обыкновенно содержат только шарики и почковидные формы, которые распределены в породе более или менее равномерно. В противоположность этому многие толстые плиты (15—20 см), кроме шаровидных обособлений, содержат и ленты, причем в пространственном размещении тех и других во вмещающей породе наблюдается определенная закономерность.



Фиг. 4. Расположение шаровидных и ленточных обособлений в породе с плитчатой отдельностью. Масштаб 1:20

Наибольшее число шариков в толстых плитах бывает приурочено к поверхностям ограничения. Иногда количество обособлений бывает очень велико, поэтому шарики, бобовины и почки соприкасаются так плотно, что цементирующая порода играет уже роль выполняющего цемента.

С удалением от поверхностей плиты наряду с простыми и сложными шариками появляются ленточные обособления. В этих зонах ленты имеют причудливые формы, сложное и прихотливое чередование контуров

образует характерный такситовый рисунок. В общем ленточки остаются параллельными поверхностям плиты.

Еще далее шаровидные обособления исчезают, а ленточки, немного утончаясь, становятся более выдержанными по мощности и протяжению. Осевая зона плиты часто бывает лишена обособлений (фиг. 4).

Между отмеченной зональностью и размерами шаровидных обособлений какой-либо зависимости не наблюдается.

ОБЩАЯ ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАХИЛИПАРИТОВ И ШАРОВИДНЫХ ОБОСОБЛЕНИЙ

Трахилипариты, слагающие купол у с. Гехаркуник, представлены светлой породой однообразного строения с заметными левооруженным глазом фенокристаллами плагиоклаза, анортоклаза и биотита. Количество вкрапленников варьирует в довольно больших пределах. В образце 11406 содержание фенокристаллов оказалось следующим (в объемн. %): плагиоклаза — 4,6%, анортоклаза — 4,2%, биотита — 2,1%.

Плагиоклаз образует таблитчатые и реже лейстовидные кристаллы размером до 1,5 мм. Минерал чист и прозрачен, трещиноват; по некоторым трещинкам отлагается тонкое полуопакое вещество. Хорошо ограниченные кристаллы редки, в образце 1138 плагиоклаз окружен каймой анортоклаза. Состав плагиоклаза 31—35% Ap (4 определения).

Анортоклаз представлен относительно крупными (до 2,5 мм) таблитчатыми выделениями свежего облика. Большинство из них трещиноваты и имеют зазубренные края, отдельные кристаллы слегка оплавлены. В образце 1137 минерал зонален ($2V$ в ядре — 48° , на периферии — 52°). Довольно часто анортоклаз образует мономинеральные гломеропорфировые скопления. По определениям Б. М. Куплетского (1929) и замеру в образце 1137 нашей коллекции константы анортоклаза: $2V = -52^\circ$; $P_{(cot)}Ng - 89^\circ$, $Nm - 8^\circ$, $Np - 82^\circ$.

В меньшем количестве присутствует биотит, образующий удлиненные пластинки размером 0,2—2 мм. Минерал резко плеохроичен и опацизирован. Опацитовая кайма незначительная и прерывистая, часто выражена изолированными кубиками рудного минерала.

Основная масса трахилипаритов сложена микролитами полевого шпата, стеклом и рудным минералом.

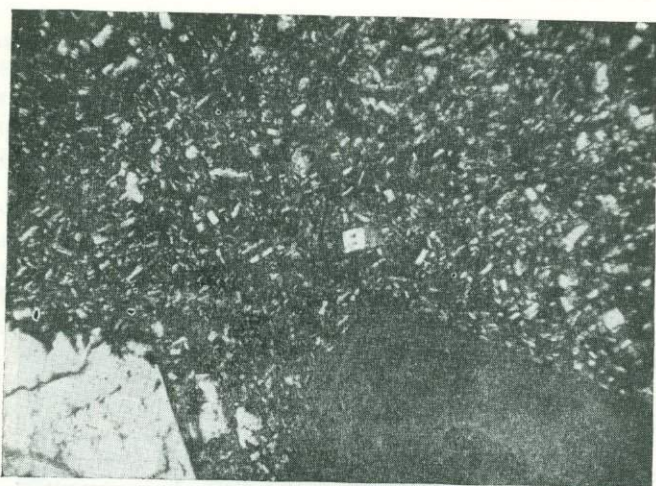
Главная масса мезостазиса образована микролитами полевых шпатов, среди которых преобладает калий-натровая разность. Микролиты последней представлены короткими призмочками и таблицами, предопределяя тем самым ортофиновую структуру основной массы (фиг. 5). Значительно реже встречаются вытянутые, игольчатые микролиты плагиоклаза. Флюидальная ориентированность в расположении микролитов отсутствует, только в отдельных случаях они обтекают фенокристаллы.

Стекло присутствует в ограниченном количестве и представлено прозрачной, бесцветной разностью с редкими отлично ограниченными тонкими (8—10 μ) выделениями рудного минерала. При достаточных увеличениях в стекле заметна перлитовая отдельность. Правильные формы этой отдельности нарушаются около микролитов полевого шпата, вдоль трещинки никаких следов девитрификации не наблюдается. Показатели преломления стекла в пределах $1,480-1,485 \pm 0,002$ (6 определений).

Очень редки аксессуарии, представленные апатитом, сфеном, цирконом. В отдельных случаях вдоль трещинок и обособленных зон отлагаются карбонат и гидроокислы железа.

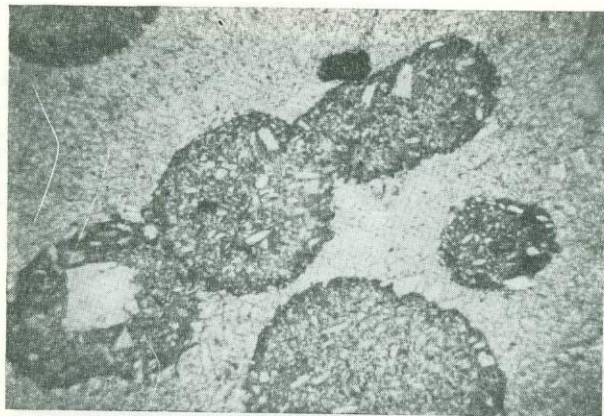
На «мысе с развалинами» вмещающие «струю» породы отличаются от описанных только лишь цветом стекла, принимающего здесь желто-бурую и желтую окраску. В остальной части обнажения трахилипариты характеризуются более разнообразным составом. К вкрапленникам по-

левых шпатов и биотита присоединяется клинопироксен. Б. М. Куплетский (1929) в промежутках между микролитами и в пустотках отмечает наличие таблитчатого кристобалита. При наблюдении под микроскопом



Фиг. 5. Ортопироксовая структура основной массы трахилипаритов. Увел. 46, николи +

можно видеть, что в липаритах окрестностей села Гехаркуник обособления отличаются от вмещающей массы светло-серыми и светло-бурыми цветами; в темных трахилипаритах «мыса с развалинами» различия в



Фиг. 6. Вкрапленник полевого шпата в шаровидном обособлении. Увел. 10, без анализатора

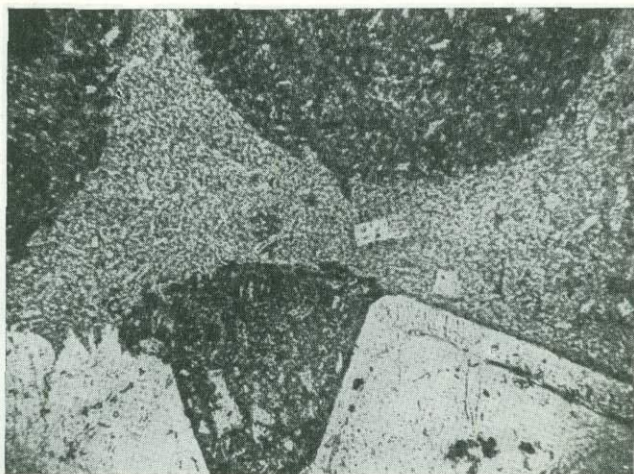
окрасках незначительны. В обоих случаях при скрещенных николях шарики и ленты трудно различимы, что обусловлено главным образом схожими структурами цемента и обособлений.

Во многие обособления включены порфиновые выделения полевых шпатов и биотита, совершенно идентичные вкрапленникам вмещающей породы (фиг. 6). Размещение вкрапленников в обособлениях незаконномерное; нередки случаи выхода фенокристаллов за пределы шарика или ленты. Наблюдаются и несколько иные взаимоотношения шаровидных обособлений и вкрапленников. Довольно обычно, например, выполнение



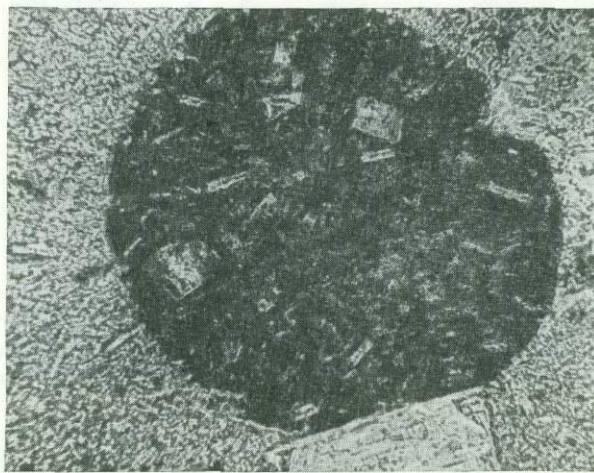
109576
95501
16478

пространства между фенокристаллами (фиг. 7) или «налипание» вещества обособлений на грани кристаллов с образованием округлых форм. Структура основной массы обособлений очень близка к таковой цемен-



Фиг. 7. Выполнение шаровидным обособлением пространства между двумя вкрапленниками. Увел. 20, без анализатора

та, в количестве и составе микролитов разницы нет. Различие структур заключается только в своеобразной раскристаллизации стекла шариков и лент. Важно отметить отсутствие какой-либо закономерности в разме-



Фиг. 8. Беспорядочное расположение микролитов в пределах шаровидного обособления. Увел. 20, без анализатора

щении микролитов в зависимости от формы обособления; распределение микролитов не нарушает общего ортофиривого рисунка всей породы (фиг. 8).

Нет закономерного расположения и у микролитов мезоастазиса в непосредственном контакте с обособлениями. Если они и огибают фенокри-

сталлы, то близость обособлений совершенно не влияет на их ориентировку, очень часто микролиты протыкают поверхности разграничения шариков и лент с цементирующей породой.

Стекловатая часть обособлений в подавляющем большинстве случаев подверглась раскристаллизации, только в единичных случаях в центре крупного шарика или осевой зоне ленты стекло осталось свежим.

Раскристаллизация стекла выражается в образовании тонких волосяных кристалликов (толщиной до 4μ), с низким двупреломлением, заметных только при больших увеличениях. Характерно, что во всех случаях волоски бывают расположены перпендикулярно поверхности шарика или ленты. В шариках такое расположение приводит к радиальной ориентации, причем очень часто волоски образуют небольшие пучки, основания которых обращены к плоскости разграничения обособления.

Менее определенно взаимоотношение пучков с микролитами и вкрапленниками. В первом случае они обычно огибают кристаллики, во втором — «обходят» или же упираются своими вершинами в грани вкрапленников. Во всяком случае можно утверждать, что ни вкрапленники, ни микролиты не являются центрами раскристаллизации.

Между волосками располагаются кристаллиты, большое количество которых придает окраску обособлениям. Приноравливаясь к волоскам, кристаллиты в плотном расположении образуют сложные дендритоподобные фигуры. Аналогичные фигуры образуются проникновением в обособление гидроокислов железа, когда такое вещество развивается по поверхности разграничения.

Общая ориентация волосков несколько нарушается в месте соприкосновения двух или нескольких шариков. Микроскопическое изучение, так же как и условия залегания, совершенно определенно указывает на генетическое родство шаровидных и ленточных обособлений. Однако взаимоотношение этих двух типов выделений не дает ответа на вопрос,

Таблица 1

Химический состав трахилипаритов цемента и шаровидных обособлений (в %)

Компоненты	«Мыс с развалинами», «пустая» порода, обр. 392	Купол у с. Гехаркуник			Характеристика по А. Н. Заварицкому	Обр. 392	Обр. 1143а	Обр. 1140б	Обр. 1140а
		«пустая» порода, обр. 1143а	цемент, обр. 1140б	шарики, обр. 1140а					
SiO ₂	68,61	68,40	67,68	69,30					
TiO ₂	0,41	0,16	0,32	0,19	a	17,4	17,1	18,3	16,7
Al ₂ O ₃	15,11	15,66	15,76	15,81	c	1,0	0,9	0,5	0,5
Fe ₂ O ₃	3,47	1,24	0,93	1,08	b	5,4	6,7	4,7	5,7
FeO	0,18	0,86	1,21	1,00	S	76,2	75,3	76,5	77,1
MnO	0,17	0,07	0,08	0,05					
MgO	0,89	2,13	0,62	0,40	Q	+16,6	+15,5	+15,9	+20,3
CaO	0,81	0,70	0,42	0,42	a/c	17,4	19,0	36,3	33,4
Na ₂ O	5,36	5,49	6,08	5,56					
K ₂ O	4,13	3,91	3,47	3,35	f'	62,0	27,5	42,2	34,1
P ₂ O ₅	0,18	0,17	0,20	0,14	m'	27,8	51,9	21,2	11,8
F	Не опред.	0,28	0,37	0,43	a'	10,2	20,6	36,6	54,1
Cl	» »	0,05	Следы	0,04	n	66,2	68,4	72,5	71,6
S	» »	0,08	0,07	0,10	φ	55,7	14,7	16,9	16,4
H ₂ O-	» »	0,10	0,62	0,10	t	0,4	0,2	0,4	0,3
П.п.п.	0,69	0,84	1,60	1,49					
Сумма	100,01	100,14	99,43	99,46					

образовались ли ленты в результате слияния шариков или, наоборот, шарики обособились вследствие распада лент.

Шаровидные обособления, цемент и «пустая» порода купола у с. Гехаркуник анализировались химически. Результаты этих анализов, а также анализ пустой породы «мыса с развалинами», заимствованной у Б. М. Куплетского (1929), перечислены по методу А. Н. Заварицкого и сведены в табл. I. Анализы произведены аналитиками НИГМИ СХ Арм. ССР и ИГН АН Арм. ССР О. Никитиной и А. Петросян.

Породы, свободные от обособлений, химически и минералогически отвечают трахилипаритам и близки к породам горы Железной (Северный Кавказ).

Из данных табл. I видно, что шаровые обособления отличаются от цемента более высоким содержанием кремнезема и пониженным количеством щелочей (особенно Na_2O), TiO_2 , воды. Разница в других компонентах незначительна. Обращают на себя внимание сравнительно высокие содержания во всех образцах фтора, серы и воды. Спектральные полуколичественные определения (по 5 из каждого образца) показали полную идентичность в содержаниях малых элементов, обычно не превышающих кларковые.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ШАРОВИДНЫХ ОБОСОБЛЕНИЙ

Анализ приведенных данных об условиях залегания шаровидных обособлений и особенно их петрографическая характеристика, дают основание считать, что образование шариков и лент происходило в самые поздние стадии остывания породы, а именно, после кристаллизации микролитов полевого шпата. Об этом говорит отсутствие какой-либо закономерности в расположении микролитов внутри и около обособлений, а также их равные количества в шариках, лентах и цементе. На это же указывают частые случаи пересечений микролитами поверхностей разграничения обособлений.

Считая, таким образом, что место и время образования обособлений в общем ходе формирования породы установлены, перейдем к рассмотрению возможных причин и условий возникновения шариков и лент.

Образование аналогичных шаровых обособлений принято объяснять двумя путями, которые условно можно назвать кристаллизационным и ликвационным. Другие предположения, — а такие, хотя и редко, но встречаются, — обычно бывают мало обоснованными.

Исключение составляет точка зрения Д. С. Коржинского (1962), который считает, что «случаи неоднородных вулканических стекол ...легче объяснить смещением разных струй флюидалной магмы при недостаточно быстром их взаимном растворении в условиях быстрого остывания» (стр. 13).

К нашему случаю, когда обособления образовались после микролитовой стадии кристаллизации, такое объяснение не применимо.

Ниже будут разобраны обе отмеченные точки зрения. Исследователи допускают возможность образования подобных шаровидных обособлений путем раскристаллизации стекла или путем постмагматического замещения, следующего по перлитовой отдельности. Изложенное исключает возможность такого объяснения в рассматриваемом примере, так как вдоль перлитовых трещинок нет ни замещения, ни раскристаллизации, ни даже обычной концентрации кристаллитов, а сами перлы и шарики совершенно «самостоятельны» и независимы. Изменения же, выразившиеся в локальном гипергенном ожелезнении и карбонатизации, происходят вдоль секущих породу трещин и поверхностей разграничения обособлений уже после раскристаллизации стекла.

Не могли, конечно, образоваться шарики и в результате сферолитовой раскристаллизации, которую часто ставят в основу своих толкований некоторые исследователи (Greig, 1928; Белянкин, 1933, 1949; Заварицкий, Соболев, 1961 и др.). По-видимому, сферокристаллы образовались за счет раскристаллизации стекловатых шариков. Это предположение подтверждается почти обязательным сонахождением в палестипных кислых лавах шариков и сферокристаллов и высокой кристаллизационной силой полевых шпатов.

Во-первых, наши обособления далеки от типичных сферокристаллов и сферолитов, а во-вторых, общее радиальное расположение волосков закономерно уже вследствие формы обособления. Ведь не случайно, что расположение волосков в лентах (где не может быть речи о сферолитовой раскристаллизации) тоже строго закономерно. В обоих случаях волоски располагаются перпендикулярно поверхности раздела, без наличия которой ориентация невозможна. На наличие такой поверхности, а следовательно и на существование обособления до девитрификации, указывает резкая граница между свежим стеклом цемента и раскристаллизованным обособлением и сохранность чистого стекла во внутренних частях выделений.

Сказанного уже достаточно для вывода о ликвационном характере образования обособлений. На это же указывают различия в химизме обособлений и цемента, четко выраженные в содержании кремнезема и щелочей. Следует еще добавить, что взаимоотношения лент и шариков, а также условия их размещения указывают, что после образования обособлений они оставались еще жидкими и принимали участие в движении.

Расщепление стекловатого остатка происходило в условиях резкого падения давления, связанного с выходом трахилипаритов на дневную поверхность. Судя по условиям залегания, выделение шариков на «мысе с развалинами» происходило в относительно «спокойной» обстановке, что выразилось в образовании характерной «струи». В значительно более беспокойных условиях протекала ликвация расплава при образовании купола у с. Гехаркуник.

Пространственное размещение обособлений по всему куполу и в пределах отдельных плит показывает, что для ликвационного раздела общего падения давления, связанного с выходом магмы на поверхность, было недостаточно. Вне сомнения, ликвация стала возможной благодаря дополнительным факторам, обусловленным характером экстрюзии.

Известно, что при выжимании магмы, в частях, прилегающих непосредственно к стенкам канала или трещины, движение происходит в неравнозначных условиях. Эти условия, определяемые главным образом неравномерностью сил трения о стенки, могут привести к возникновению в магме «потоков» с различной скоростью перемещения. Вследствие этого и высокой вязкости трахилипаритов, происходит образование своеобразных плоскостей раздела с пониженным давлением. Эти зоны, естественно, служат местом высоких концентраций и следующей затем отдачи летучих компонентов. В таких ослабленных зонах, видимо, и создавались благоприятные условия для расщепления остаточного расплава на две несмешиваемые части. После отделения обособлений движение, вероятно, уже было незначительным. В завершение всего, вдоль тех же зон наметились плоскости отдельности.

Можно считать установленным, что ликвация в куполе произошла в условиях падения давления вдоль определенных плоскостей и связанной с ним благоприятной газовой среды. Значительность роли летучих подчеркивается всеми сторонниками ликвации и экспериментальными данными (Григорьев, Искюль, 1937). На обогащенность трахилипари-

тов летучими в момент экструзии указывают высокие содержания фтора, серы, воды в цементирующей породе и обособлениях.

Если наличие ликвации в нашем примере можно считать доказанным, то не менее очевиден ее локальный характер. Даже в пределах отмеченных небольших выходов обособления развиты на отдельных участках и по объему несравнимы с вмещающими лавовыми телами. Нужно отметить, что случаи локального развития ликвационных обособлений довольно обычны (Толмачев, 1897; Джрбашян, 1961 и др.).

В. С. Соболев (Заварицкий, Соболев, 1961), Д. С. Коржинский (1962) и др., признавая возможность образования в магмах двух несмешивающихся составляющих, подчеркивают редкость явления и незначительность его в процессе дифференциации магмы и образования изверженных пород. Указанные примеры и высказывания этих авторитетов, по-видимому, говорят в пользу локальности и малой роли ликвации в петрогенезисе. Но приводимые доводы вряд ли можно считать достаточно убедительными, а вопрос о роли ликвации решенным.

Обособления, которые пока служат важнейшим индикатором явления ликвации, довольно часто встречаются и в больших количествах, относительно равномерно распределяясь во вмещающих породах (Воловикова, 1955; Бурьянова, Фаворская, 1961 и др.). Кроме того, образование обособлений происходит при исключительно благоприятном стечении обстоятельств, а сама магма, по-видимому, обладает потенциальными возможностями ликвации. Если считать, что большинство шаровых обособлений имеют ликвационное происхождение, то становится очевидным, что ход этого процесса определяется многими причинами, только часть которых нам пока известна.

Благоприятными факторами, по общему признанию, являются газовая среда, падение давления и следствия из этого — процессы ассимиляции и т. д. В то же время ликвации препятствует ряд причин, многие из которых пока неясны. Так, для кислых лав одним из главных «препятствий» является высокая вязкость. Учитывая это, кажется необходимым изучение шаровидных обособлений в основных лавах, развитых достаточно широко; отсутствие фактов нахождения «стекла в стекле» в таких породах, видимо, действует на сторонников ликвации «отпугивающе».

В пользу незначительной петрогенетической роли процессов ликвации В. С. Соболев (Заварицкий, Соболев, 1961) приводит, в основном данные физико-химического порядка. Кроме того, он не допускает возможности наличия в природных магмах таких высоких содержаний фтора, какие были при экспериментах Д. П. Григорьева (3—5%). Нужно, однако, учесть, что условия экспериментов пока еще слишком далеки от природных; что же касается фтора, то, как оговаривается сам В. С. Соболев, роль его сводится к понижению вязкости, и он может быть заменен другими минерализаторами.

Вызывает возражения и высказывание Д. С. Коржинского (1962) о том, «...что геологические данные не подтверждают заметной роли ликвации в петрогенезисе, поскольку между разными типами магматических пород наблюдаются постепенные переходы вместо резкого расщепления, создаваемого ликвацией» (стр. 13). Имеющиеся данные (Левинсон-Лессинг, 1905; Бурьянова, Фаворская, 1961) и рассмотренный в данной статье пример указывают на возможность расщепления магм на близкие по составу расплавы. Вполне вероятно, что в единичных случаях ассоциации пород подобного состава мы обязаны ликвации, происходившей в больших масштабах и на значительных глубинах.

Таким образом, явление ликвации в настоящее время признается почти всеми исследователями. Однако степень участия этого процесса в происхождении изверженных пород остается не вполне выясненной.

ЛИТЕРАТУРА

- Асланян А. Т. О возрасте вулканогенной толщи центральной части Малого Кавказа.— Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 6.
- Габриелян А. А. Корреляция разрезов третичных отложений Армении и смежных частей Малого Кавказа.— Изв. АН Арм. ССР, серия геол. и геогр. наук, 1958, XI, № 2.
- Куплетский Б. М. Геолого-петрографический очерк восточной части Ахманганского вулканического плато.— В сб.: «Басс. оз. Севан (Гокча)», т. I. Изд. АН СССР и Упр. водн. хоз. ССР Армении, 1929.
- Милановский Е. Е. О неогеновом и антропогеновом вулканизме Малого Кавказа.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 10.
- Паффенгольц К. Н. Бассейн оз. Гокча (Севан). Геологический очерк.— Труды ВГРО, 1934, 19, вып. 2.
- Паффенгольц К. Н. Ехегнадзор — гор. Камо (Нор-Баязет).— Севан. Путевод.— Труды I Всес. вулк. совещ. Ереван, 1959.

Р. Т. ДЖРБАШЯН, М. А. ФАВОРСКАЯ

О ШАРОВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ В РАЙОНЕ ПУШКИНСКОГО ПЕРЕВАЛА (АРМЯНСКАЯ ССР)

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Многолетние исследования не дают пока возможности однозначного решения вопроса о происхождении, характере, условиях и формах нахождения лав со своеобразными шаровидными образованиями. В таких случаях каждый новый факт, каждое положение, основанное на анализе этого факта, могут представлять существенный интерес.

Такие факты были нами получены при петрографическом изучении палеогеновых вулканических образований по Базумскому хребту в Степанаванском и Кироваканском районах Арм. ССР. На различных участках исследуемой территории в вулканических породах кислого состава, занимающих довольно определенное положение в ходе геологического развития, были встречены шаровидные образования.

Базумский хребет занимает центральное положение в пределах крупного Севано-Ширакского синклиория. Структура эта вытянута с северо-запада на юго-восток и характеризуется преимущественным развитием продуктов вулканической деятельности среднего и верхнего эоцена.

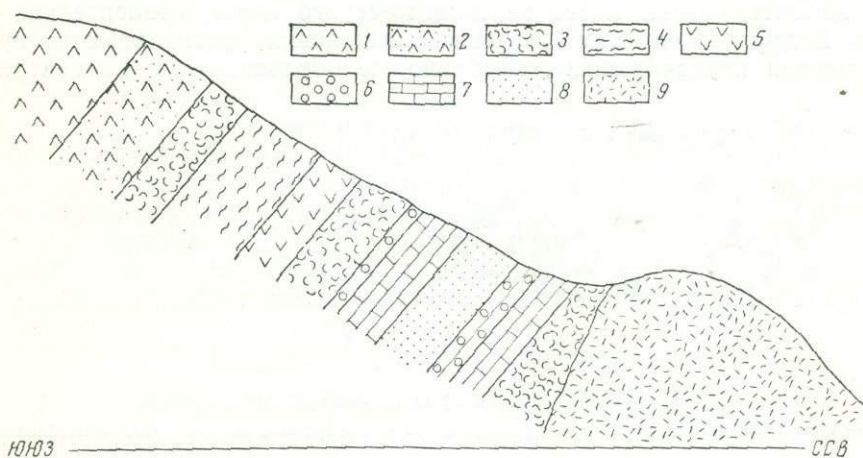
Исключительно широкое распространение в пределах Базумского хребта имеют среднеэоценовые вулканические и вулканогенно-осадочные образования. Мощная серия туфов, туфолав, туфобрекчий и туфопесчаников чередуется с лавами различного состава от базальтов до дацитов, и только в виде отдельных линз и пачек встречаются осадочные породы с примесью вулканического материала.

Продукты верхнеэоценовой вулканической деятельности имеют относительно ограниченное развитие, отличаясь исключительным разнообразием состава — от базальтов до липаритов и пирокластов. Именно к этому этапу вулканической деятельности, скорее к последним стадиям ее активности, относится возникновение вулканических куполов липаритового состава, содержащих интересующие нас шаровидные обособления (район Пушкинского перевала, район с. Вардаблур, район с. Гамзачиман).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ ШАРОВИДНЫХ ОБОСОБЛЕНИЙ

Наиболее интересные из указанных образований были встречены в вулканическом куполе в Степанаванском районе Армянской ССР, у подножья северных склонов Базумского хребта. Район характеризуется развитием мощной (до 700 м) серии вулканических и вулканогенно-

осадочных образований. Туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты преимущественно среднего состава переслаиваются здесь с отдельными потоками андезитов и андезито-базальтов мощностью 5—10 м. Мергели, аргиллиты, туфопесчаники, известковистые песчаники с нуммулитовой фауной слагают отдельные, быстро выклинивающиеся линзы и пачки. Вся эта серия пород падает на юго-запад ($210\text{--}230^\circ$) под углом $40\text{--}55^\circ$ и прорвана липаритовыми экструзиями и дайками различного состава (фиг. 1).



Фиг. 1. Схематический геологический разрез северных склонов Базумского хребта в районе Пушкинского перевала

1 — кварцевые порфиры; 2 — измененные породы; 3 — туфы андезитового состава; 4 — глины, аргиллиты; 5 — андезиты; 6 — конгломераты; 7 — известняки; 8 — туфопесчаники; 9 — липаритовый купол

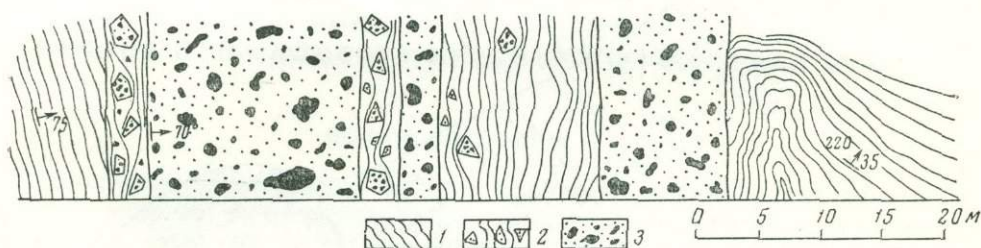
Описываемый липаритовый купол обнажается по борту дороги Степанаван — Кировакан на расстоянии 1 км южнее с. Гергер. Выходы его прослеживаются в меридианальном направлении на протяжении около 300 м. Контакты с вмещающими породами не обнажаются. Купол имеет довольно сложное строение. Породы, слагающие его, представлены желтовато-серыми, зеленоватыми, лиловато-желтыми плотными флюидалными липаритами. На отдельных участках липариты содержат темные округлые включения, размер которых не превышает 1 см в поперечнике.

В северной части купола обнажения лиловато-серые, массивные липариты с резко изменчивыми направлениями флюидалности от вертикальных до пологопадающих (азимут падения 220° , угол 35°) переходят в участки лавобрекчий, в которых угловатые обломки имеют состав, сходный с липаритами, и не превышают 5—7 см в поперечнике. Зона перехода скрыта осыпью.

Центральная и южная часть купола отличаются неоднородным строением с отдельными зонами интенсивного изменения. Участки массивных, флюидалных липаритов контактируют с зонами, переполненными или округлыми шаровидными выделениями, или ксенолитами этих пород, или и теми и другими одновременно. Переходы от одного участка к другому резкие, иногда видны четкие поверхности разграничения. Так, к югу от описанных выше липаритов с изменчивыми направлениями флюидалности выделяется первая сравнительно мощная (мощностью около 10 м, плоскость северного контакта с липаритами падает на северо-запад 345° , под углом 70°) зона, обогащенная шаровид-

ными обособлениями. Последние имеют округлые, эллипсоидные формы, не превышая 1 см в поперечнике. Они отличаются лиловато-зеленой окраской, местами с заметным радиально-лучистым строением, и хорошо выделяются на фоне осветленной, измененной цементирующей массы.

Остальные зоны характеризуются разнообразным строением шаровидных образований и меньшими мощностями порядка 3—4 м. В одних случаях преобладают обособленные (одинокие) шаровидные образования лиловато-серого цвета с радиально-лучистой раскристаллизацией; цементирующая масса зеленовато-серого цвета, относительно свежая. В других случаях шаровые выделения располагаются кучно, напоминая почкообразные, амебовидные образования с концентричес-



Фиг. 2. Схематический разрез липаритового купола

1 — флюидалные липариты; 2 — лавобрекчии; 3 — липариты с шаровидными обособлениями.

ким строением отдельных шаров. Крупные разновидности иногда как бы сливаются в полосы или, в редких случаях, содержат более мелкие «шарики». В центральных частях отдельных обособлений наблюдаются пустотки с горным хрусталем.

Наиболее мощная полоса липаритов с многочисленными округлыми включениями (мощностью 17 м) наблюдается на расстоянии 80 м от южной границы купола. По обеим контактам этого участка липариты содержат угловатые обломки пород с шаровидными обособлениями (размер обломков доходит до 10 см). Обособления имеют 3—4 мм в поперечнике, некоторые достигают до 1 см. На отдельных участках шарики различного размера слипаются, образуя неправильные «лапчатые» выделения, а от них наблюдаются переходы к участкам с полосчатой текстурой. Ширина этих чередующихся полос не превышает 1—2 см. Шаровидные выделения окрашены в серый, местами почти белый цвет и характеризуются отчетливым концентрическим строением. Причем их примерно в два раза больше, чем лиловато-серой, желтоватой, каолинизированной цементирующей массы. В обломках, сцементированных липаритом, шаровидные обособления доходят до 5 мм в диаметре и имеют радиально-лучистое строение. Количество их сильно преобладает над темно-серой цементирующей массой, которая заполняет небольшие промежутки между шариками или совсем отсутствует. Обломки резко отграничиваются от цементирующего их липарита, обнаруживающего на контактах четкую флюидалность.

В самой южной части купола на протяжении 80 м снова обнажаются плотные лиловато-розовые флюидалные липариты с параллельным крутым расположением флюидалных полос (фиг. 2).

Внутреннее строение липаритового купола свидетельствует о сложности его образования. Кислая магма внедрялась здесь два раза. В результате первого внедрения, отличавшегося, по-видимому, меньшими размерами, произошло формирование пород с округлыми, шаровидными выделениями. Позднее по нарушенным зонам, главным образом

в южной части, внедрилась липаритовая магма, частично взломавшая более раннее выполнение и захватившая в виде обломков породу с шаровидными образованиями. Пологая флюидальность в северной части обнажения является, вероятно, следствием образования небольшой апофизы.

Меньший по размерам выход пород с подобными шаровидными образованиями встречен в экструзивном теле верхнеэоценового возраста, расположенном к востоку от описанного выше купола на расстоянии 6 км, в районе с. Бардаолур. Купол имеет веерообразное строение и почти изометричную форму в плане. Массивные лиловые, лиловато-серые липариты с мелкими редкими вкрапленниками плагиоклаза в юго-восточном направлении переходят в осветленные «слоистые» флюидальные разности (азимут падения 150° , угол $65-70^\circ$), характеризующиеся отчетливой плитчатой отдельностью. Розовато-серые липариты с округлыми выделениями вскрыты в небольшом овражке в юго-восточной, близконтактной части купола. Участки с шаровидными обособлениями (величиною до 0,6—0,8 мм в поперечнике) образуют прослои шириной около 10 см. Они отличаются от цементирующей массы более темной окраской и иногда заметным радиально-лучистым строением. Местами центральные зоны «шариков» полые или замещены кварцем.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

В соответствии с геологическими условиями формирования, по своим структурным особенностям и по химическому составу липариты, слагающие экструзивное тело в районе Пушкинского перевала, могут быть подразделены на две группы.

1. Плотные, ясно флюидальные массивные липариты желтовато-серого, лилового цвета, содержащие угловатые обломки липаритов с шаровыми включениями.

2. Липариты со своеобразными округлыми удлинёнными неправильной формы включениями размером до 1 см, более темной окраски без заметной флюидальности.

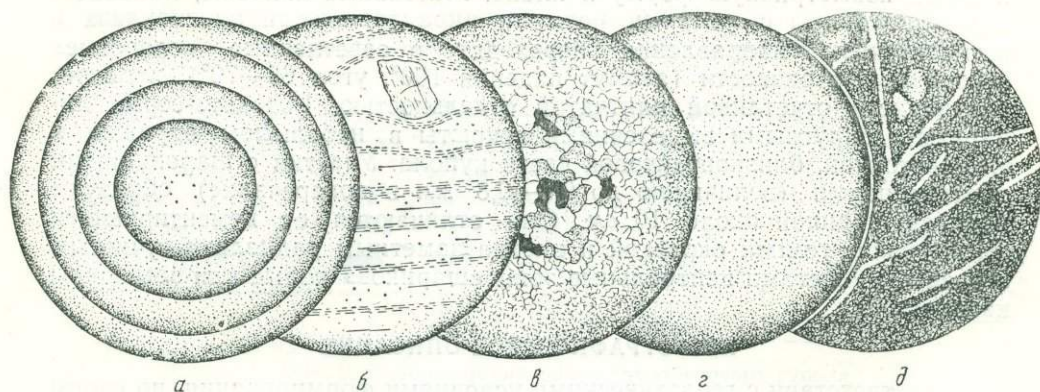
В шлифах липариты первой разновидности обнаруживают порфировую структуру с редкими удлинёнными вкрапленниками плагиоклаза (олигоклаз-андезина № 25—30) величиною до 1,3 мм. Вкрапленники плагиоклаза зональные. По плагиоклазу развиваются альбит и мелкий агрегат серицита, а в лавобрекчиях, наряду с ними, и карбонат.

Основная масса липарита состоит из буроватого, бледно-зеленого стекла и раскристаллизованного кварц-полевошпатового агрегата; в ней в виде удлинённых выделений и мелких зерен присутствует магнетит. Структура основной массы стекловатая, микропйкилитовая, микрофельзитовая, сферолитовая, причем сферолиты размером до 0,03 мм состоят из калиевого полевого шпата во внешней зоне и кварца в центральной. Перлитовая отдельность наблюдается не повсеместно. В лавобрекчиях угловатые обломки величиною до 10 см представлены породами того же состава, что и цементирующая их лава и при скрещенных николях не отличаются от последней. Обломочное строение подчеркивается скоплением мелких кристаллитов магнетита в краевых частях отдельных обломков.

Наибольший интерес представляют липариты второй разновидности: светло-желтые, зеленоватые иногда лиловато-серые породы с четко заметными шаровидными выделениями. Эти выделения имеют шаровую, или вытянутую формы, иногда составляя до 75% от объема породы; размер их колеблется от 3 до 5 мм в диаметре, редко достигая 10 мм. Шаровые образования обособлены друг от друга или образуют скопления с «бордавчатой» бугристой поверхностью.

При изучении под микроскопом можно видеть, что липариты представлены стекловатой или тонко раскристаллизованной массой, в которую погружены шаровидные обособления. «Шары» сложены почти бесцветным или буроватым стеклом, в нем рассеяны маргариты и кристаллиты магнетита. Количество последнего заметно увеличивается в периферийной части шаров.

Не зависимо от шаровидных образований встречаются удлиненные призматические зерна плагиоклаза (олигоклаз № 23—25) величиною до 0,9 мм, иногда замещенного альбитом или карбонатом.



Фиг. 3. Разновидности строения отдельных «шариков»

а — концентрическое; б — параллельно-полосчатое; в — микрофельзитовое пятнистое; г — скрыто-кристаллическое; д — стекловатое

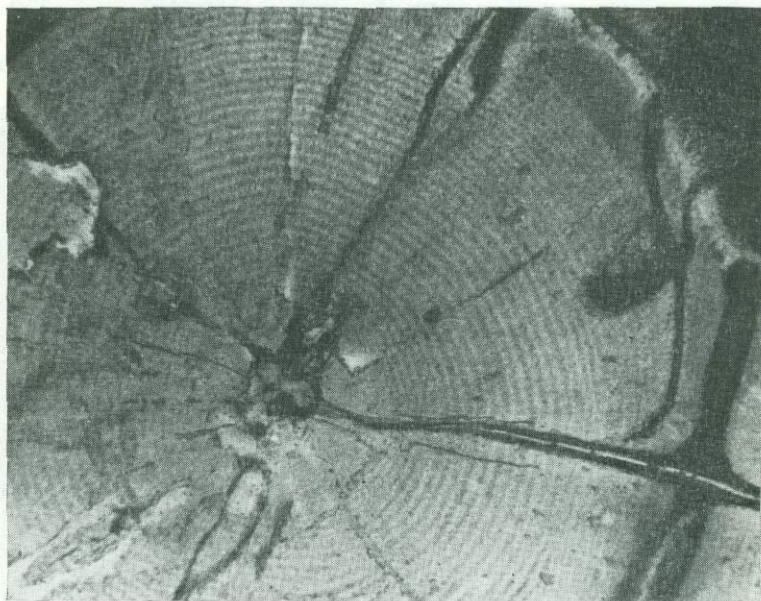
В шлифах можно видеть интересные особенности строения отдельных «шаров» и постепенные переходы их от почти изотропных к значительно раскристаллизованным разностям. Иногда различную структуру обнаруживают отдельные участки одного и того же «шарика». И почти во всех разновидностях внешние зоны являются относительно более стекловатыми, чем внутренние.

Все отмеченные структуры «шаров» можно подразделить на несколько групп (фиг. 3).

а. Концентрическое строение «шаров», обусловленное развитием отдельных концентрических зон шириною до 0,02 мм и имеющее в разрезе вид колец. В одних случаях кольца располагаются по всей площади кругового сечения «шара», тогда их количество доходит до 41—43 (фиг. 4); в других случаях присутствуют всего 5—6 колец той же толщины, которые располагаются совместно в центральной, средней или периферической части кругового разреза. Описанное концентрическое строение обусловлено распределением вышеописанных кристаллитов и маргаритов магнетита. В целом эти шаровидные обособления отличаются значительной раскристаллизацией стекла и имеют показатель преломления $N=1,540 \pm 0,001$, превышающий показатель преломления цементующей массы ($N=1,525 \pm 0,001$).

б. Параллельно-полосчатое строение в шариках встречается реже. Оно подчеркивается субпараллельным расположением кристаллитов и маргаритов рудного минерала, которые имеют единую ориентировку в соседних или слившихся друг с другом обособлениях и резко обрываются на границе с цементом. Местами полосы этих кристаллитов обтекают заключенные в шарик вкрапленники плагиоклаза. Степень раскристаллизации близка к вышеописанной разности. Показатель преломления этих обособлений $N=1,537 \pm 0,001$.

в. Микрофельзитовая структура встречается в преобладающем большинстве шаровидных выделений (фиг. 5) и обнаруживает переходы к микропойкилитовой, пятнистой структуре, однако характер ее здесь менее совершенен, чем в первых двух разновидностях. Образование пятнистой структуры, вероятно, связано с последующей раскристаллизацией, так как отдельные пятна тяготеют к тончайшим трещинкам, как бы нанизываясь на них в виде «бусинок».



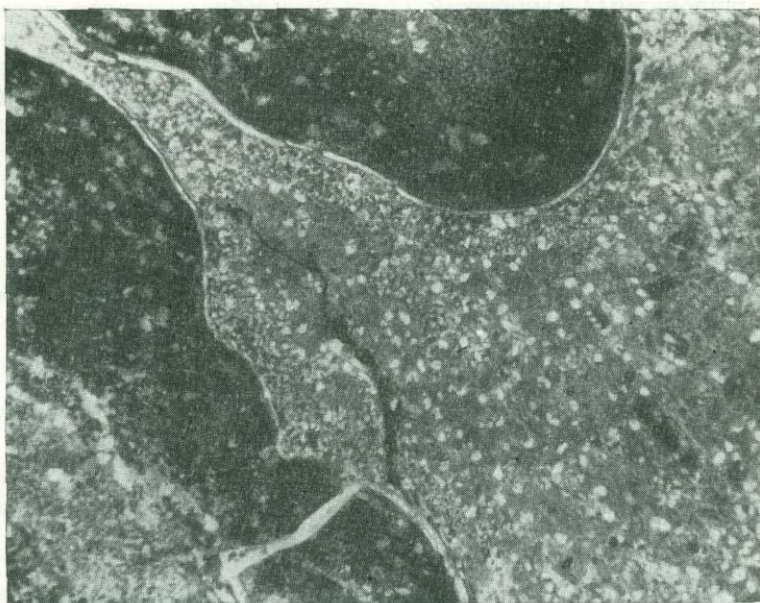
Фиг. 4. Концентрическая структура шара. Концентрические кольца заполняют всю поверхность шара. Вдоль трещинок развиваются окислы железа и вторичные минералы. Увел. 25, без анализатора

г. Скрытокристаллической структурой обладают шаровые обособления буроватого цвета, состоящие из неиндивидуализированной стекловатой массы, едва поляризующей свет (фиг. 6). Изредка в крупных обособлениях скрытокристаллической структуры встречаются более мелкие, величиною до 0,09 мм стекловатые шарики с тоненькой каемкой окварцевания. Последние, как и вкрапленники плагиоклаза, обтекаются кристаллитами рудного минерала. Показатели преломления скрытокристаллических обособлений $N=1,534 \pm 0,001$ (показатель преломления цементирующей массы $N=1,519 \pm 0,001$).

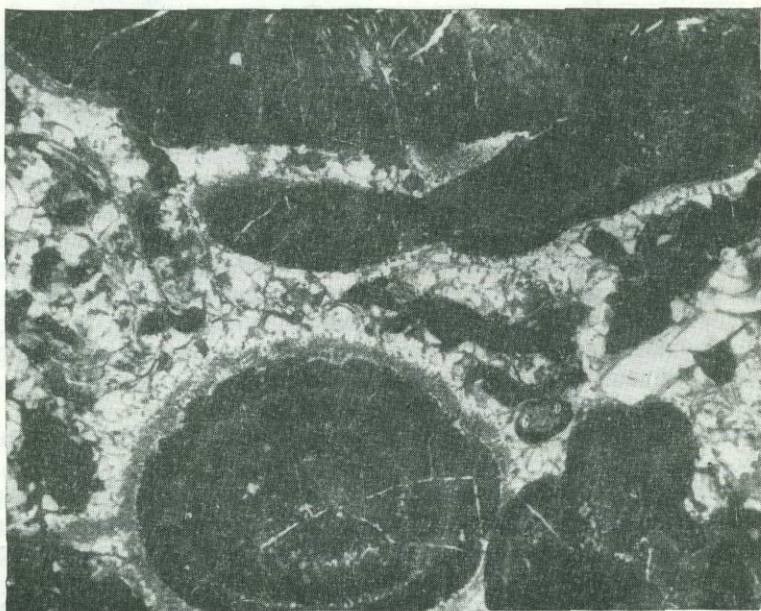
д. В некоторых случаях шаровидные образования представлены совсем изотропным стеклом.

Ряд шлифов, содержащих шаровидные обособления, был окрашен кобальт-нитритом. В результате выяснилось, что все округлые выделения бедны калием, в то время как этот элемент принимает существенное участие в цементирующей массе.

Цементирующая шаровидные обособления масса — стекловатая или раскристаллизованная в кварц-полевошпатовый агрегат. Иногда такая раскристаллизация тяготеет к границе с шариками, где образуется мелкозернистый агрегат, содержащий сферолитовые и неправильные зерна альбита. В других случаях процесс охватывает почти всю цементирующую массу. Структура цемента-стекла микрофельзитовая, микропойкилитовая; перлитовая отдельность подчеркивается расположением



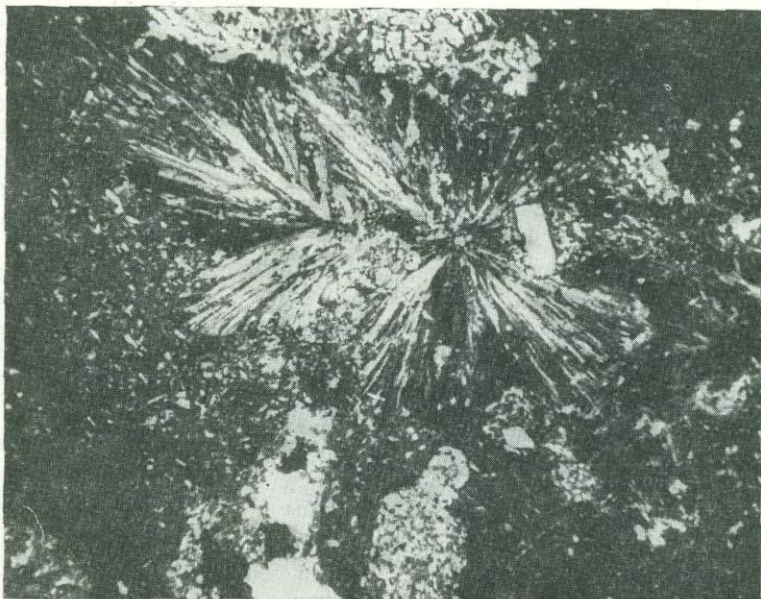
Фиг. 5. Шаровые обособления микрофельзитовой структуры. Внешняя кайма более стекловатая. Увел. 55, николи +



Фиг. 6. Обособления с скрытокристаллической структуры. В шариках и по границам их с цементирующей массой развиваются альбит и карбонат. Увел. 55, николи +

тонкого агрегата хлорита и серицита. Редкие мелкие вкрапленники плагиоклаза представлены олигоклазом № 25—27. В виде аксессуарных минералов в породе присутствуют мелкие кристаллики циркона и апатита и бурые зерна рутила.

Вторичные процессы в породе выразились в окварцевании, карбонатизации, альбитизации отдельных участков. Наблюдается выборочное замещение вторичными минералами: так, окварцевание развивается преимущественно по цементирующей массе, только в отдельных случаях наблюдаются прожилки, выполненные кварцем вдоль стенок и карбонатом или без него — в осевой части. Карбонат вместе с альбитом и кварцем в основном приурочены к шаровидным обособлениям,



Фиг. 7. Радиально-волокнистая раскристаллизация в липарите. Увел. 32, николи +

развиваясь по радиальным и неориентированным трещинкам, заполняя трещинки между «шариками» и цементирующей массой или замещая центральные зоны некоторых шарообразных выделений. Наиболее интенсивно процессы карбонатизации захватывают лавобрекчии.

Строение шаровидных обособлений в липаритах купола близ с. Вардаблур отличается большим разнообразием. Шаровидные образования здесь характеризуются микрофельзитовой, пятнистой структурой стекловатой массы. Иногда встречаются «шары» с радиально-волокнистой раскристаллизацией (фиг. 7). На особенностях радиально-волокнистой раскристаллизации шаровидных обособлений района следует остановиться подробнее.

Как известно, радиально-лучистый характер раскристаллизации служит некоторым авторам аргументом для отнесения подобных образований к сферокристаллам. Однако, в нашем случае мы имеем дело, по видимому, с явлениями, происходящими уже после застывания расплава. Не зависимо от различного строения отдельных шаров, радиально-волокнистая раскристаллизация во всех случаях накладывается на их первичную структуру. Часто можно наблюдать, как в шариках параллельно-полосчатой, пятнистой или другой структуры развивается радиально-волокнистый агрегат, который выделяется при скрещенных николях; в проходящем свете он подчеркивается расположением скопле-

ний окисленного рудного минерала, развивающегося по мельчайшим радиальным трещинкам, приуроченным к периферии «шара». В некоторых случаях центрами подобной раскристаллизации служили включенные в шар зерна плагиоклаза или рудного минерала, местами раскристаллизация продолжалась и за пределы обособления.

Вместе с тем подобный характер раскристаллизации наблюдается и в цементирующем липарите. Интересный случай радиально-лучистой раскристаллизации наблюдается в шлифах из липаритов Вардаблурского купола. Здесь центром радиально-лучистой кристаллизации служило само шаровое обособление. На внешней поверхности «шарика» микрофельзитовой

Таблица 1

Химический состав липаритов (в %)

Окислы	Цементирующая масса	Шаровидные обособления	Липарит
SiO ₂	68,02	67,84	74,60
TiO ₂	0,36	0,35	0,26
Al ₂ O ₃	18,23	17,72	13,86
Fe ₂ O ₃	1,29	1,97	1,35
FeO	0,15	0,56	0,39
MnO	Сл.	0,06	0,03
MgO	1,44	0,14	0,10
CaO	0,15	0,06	0,50
Na ₂ O	0,47	7,99	3,98
K ₂ O	5,40	1,97	4,79
H ₂ O ⁺	2,59	1,45	0,64
H ₂ O ⁻	1,72	0,52	0,32
Cl	Следы	Следы	Следы
F	0,16	Нет	Нет
CO ₂	—	—	0,10
П.п.п.	—	—	—
Сумма	99,98	100,63	100,99

структуры в цементирующей массе развивается радиально-лучистый агрегат с неправильными «зубчатыми» контурами. Местами эти образования нарастают на врапленники плагиоклаза. Типичные сферокристаллы были описаны ранее в породах из липаритового купола на южных склонах Базумского хребта (Джрбашян, 1961).

Шаровидные обособления, цементирующее их стекло и липарит (первой разновидности), были анализированы химически (табл. 1).

Анализы показали относительно невысокое содержание кремне-

кислоты как в шарах, так и цементирующей массе, приближающее рассматриваемые породы к переходным разностям между липаритами и дацитами. В то же время липарит, лишенный шарообразных включений и внедрившийся позднее, отличается высоким содержанием кремнекислоты. Это объясняется, по-видимому, дифференциацией вулканического очага, в основе которой лежала ассимиляция вмещающих известняков. В этой связи следует отметить, что влияние вмещающих карбонатных толщ сказалось и на характере послемагматических процессов и вызвало интенсивную карбонатизацию липаритов. При подготовке материала к анализу нам не удалось полностью освободиться от вторичного кальцита, образующего прожилки и налеты на поверхности шаровых образований. В результате в шарах был определен CaO в количестве 8,74% и CO₂ в количестве 6,80%, а в цементирующей массе CaO — 1,13% и CO₂ — 0,75%, что почти полностью соответствует молекулярным соотношениям в карбонате. В результате количество карбоната было вычтено, а анализы пересчитаны на 100%.

При сравнении состава шаров и цементирующей массы отмечаются примерно равные количества кремнекислоты и глинозема, более высокое содержание суммы Fe₂O₃+FeO в шарах, а также значительное содержание конституционной воды в цементирующей массе. Особенно интересна резкая дифференциация щелочей, в результате которой в шаровых

обособлениях установлено 7,99% Na_2O и 1,97% K_2O , а в цементирующей массе 0,47% Na_2O и 5,40% K_2O . При этом среднее содержание Na_2O , вычисленное для шаров и цемента примерно, соответствует содержанию его в липарите второй фазы внедрения, а соответственное количество K_2O ниже, чем в этом липарите, что вполне согласуется с обычным направлением дифференциации очагов кислой магмы.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ШАРОВИДНЫХ ОБОСОБЛЕНИЙ

Вопросы происхождения своеобразных шаровидных обособлений далеки от окончательного решения, все высказывания на этот счет продолжают оставаться пока гипотетическими.

В настоящее время среди исследователей господствуют две точки зрения на образование шаровидных обособлений. Часть исследователей рассматривает их как продукты кристаллизации из расплава или последующей раскristаллизации. Другие привлекают в качестве объяснения процессы ликвации.

Следует, однако, отметить, что сторонники первой точки зрения (Заварицкий, Соболев, 1961; Коржинский, 1962) в принципе не отрицают возможности ликвации в природе и ставят под сомнение только масштабы проявления и роль ее в процессах порообразования. Не останавливаясь подробно на этой дискуссии, приведем здесь некоторые геологические, петрографические и химические доказательства в пользу участия явлений ликвации в рассматриваемом случае.

По всей обширной территории Базумского хребта шаровидные обособления встречаются только в вулканических куполах верхнеэоценового возраста, возникших как продукт деятельности единого крупного очага (близ с. Вардаблур, южнее с. Гергер, севернее с. Гамзачиман).

Трудно представить, что в экструзивных телах, прорывающих самые разнообразные породы и отстоящих друг от друга иногда на десятки километров, могли бы возникнуть совершенно одинаковые условия для сферолитовой раскristаллизации. Скорее можно допустить, что выделение шаровидных обособлений произошло в магматическую стадию и было обусловлено в первую очередь исходным составом расплава. Дополнительными условиями возможности возникновения процессов ликвации послужили: сохранение летучих и особенно воды в расплаве, резкий спад давления, возможные процессы ассимиляции и др. Представляется, в частности, вероятным, что присутствие в разрезе среднего эоцена карбонатных пород могло привести к обогащению липаритовой магмы углекислотой.

Одним из основных аргументов сторонников отнесения шаровидных обособлений к продуктам раскristаллизации является наличие радиально-лучистых структур, с которыми, по мнению этих авторов, связано перераспределение вещества и концентрация его в виде округлых образований. Но серьезным возражением против такого утверждения является отсутствие указанной структуры в подавляющем большинстве шаров и, самое главное, ее вторичный характер в тех случаях, когда она отмечается. Шаровидные обособления обнаруживают различное строение: концентрическое, параллельно-полосчатое, микрофельзитовое, скрытокристаллическое и иногда изотропное. Наличие же слабо раскristаллизованных обособлений, не имеющих радиально-лучистой кристаллизации, по мнению Д. С. Белянкина (1933), позволяет говорить об их возникновении путем ликвации.

Возможной является и обратная постановка вопроса, что радиально-лучистая раскristаллизация является функцией начального шарообразного строения вещества. Ведь известно, что наибольшая скорость

кристаллизации наблюдается по направлениям, перпендикулярным к поверхности остывания.

О времени выделения шаровидных обособлений в нашем случае можно судить по наличию обтекания их мелкими ориентированными микролитами плагиоклаза, что говорит о существовании обособлений еще до выделения микролитов и даже до внедрения в камеру застывания.

Имеющиеся данные позволяют говорить о том, что шаровидные обособления первоначально были стекловатыми и в настоящее время находятся на различных стадиях кристаллизации. На это, в частности, указывает факт «постепенного перехода» от стекловатых обособлений к раскристаллизованным, выраженный в изменении структур, способности поляризовать свет и в изменении показателей преломления.

Отличия химических составов описанных выделений настолько резки, что позволяют говорить в данном случае о том «типе ликвации», возможность которой доказывается экспериментальными данными (Григорьев и Искюль, 1937) и не вызывает возражений со стороны большинства исследователей.

А. Х. МНАЦКАНЯН

**ШАРОВИДНЫЕ ОБОСОБЛЕНИЯ
В ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОБСИДИАНАХ В РАЙОНЕ с. АЛПАУТ
(АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ССР)**

В последнее время внимание многих исследователей эффузивных пород привлекают своеобразные «шаровые», «сферолитовые» лавы и образования преимущественно кислого состава. Детальное рассмотрение особенностей строения и химического состава означенных образований приводит большинство авторов к объяснению происхождения их путем разделения исходной магмы на две несмешивающиеся жидкости.

В данной статье нами рассматриваются интересные стекловатые лавы (обсидианы) шарового облика в качестве примера подобного явления.

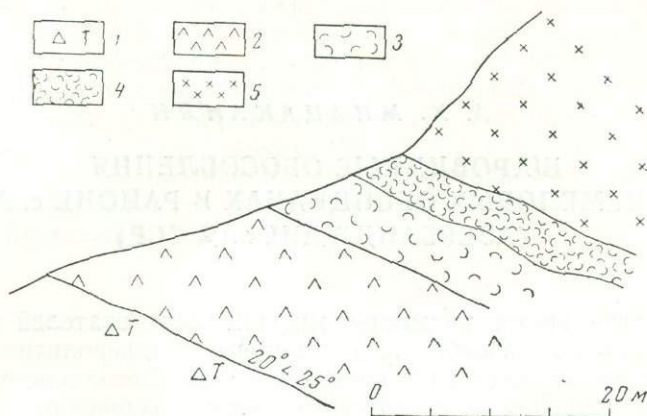
В левобережье р. Джогас, в окрестностях с. Алпаут (Казахский район Азерб. ССР) широко развиты кислые вулканические породы верхнесантонского возраста. Среди них в совместном маршруте с М. А. Фаворской и О. П. Елисеевой были встречены своеобразные обсидиан-перлиты с шаровидными обособлениями буровато-коричневого цвета.

В пределах Иджеванского синклиналичного прогиба извержения кислых продуктов на указанной территории связаны с заключительным этапом верхнемелового вулканического цикла.

Извержения преимущественно основного и среднего состава, отмечаемые в коньяке — нижнем сантоне, почти на всей площади прогиба сменились в верхнем сантоне, в связи с возникновением участков восходящих движений, извержениями кислых пород из отдельных вулканических центров. Кислыми лавами этого типа сложены вершины Гюазан, Гюгарчин и др., представляющие собой денудированные куполообразные вулканические аппараты, возвышающиеся ныне над окружающей холмистой равниной на 250—300 м. Активная жизнь этих вулканов началась с выбросов пирокластического материала (кристаллолитокластические туфы) с последующими излияниями обсидиан-перлитов и, наконец, флюидальных липаритовых порфиров, застывших в жерле вулканов и сохранившихся также в виде мощных потоков на самых высоких гипсометрических отметках местности. Указанный разрез верхнесантонских вулканических образований отчетливо прослеживается на склонах гор Учгюль, Мровул и др. (фиг. 1). Потоки обсидиан-перлитов, которые исследовались нами, обнажаются на южных и юго-западных склонах указанных вершин. Протяженность их около 700—800 м, мощность 8—12 м. В потоках хорошо выражена четырехгранная, призматическая отдельность со сглаженными гранями отдельных призм. Потоки имеют неоднородное строение и сложены смоляно-черными обсидиан-перлитами и буровато-коричневыми стекловатыми обособлениями, распре-

ление которых в теле потока неравномерно. Они крайне редки в основании потока, учащаются в средней его части, но преимущественно локализируются в верхней части, образуя «шариковую» зону мощностью около 5 м, с неровной извилистой нижней поверхностью. Зона протягивается вдоль простираания потока примерно на 500 м.

В самой зоне распределение этих обособлений неравномерное: наряду с единичными шариками присутствуют сростки, которые сливаются в неоднократно чередующиеся полосы и линзовидные тела. Количественные соотношения стекла-цемента и шаровидных обособлений



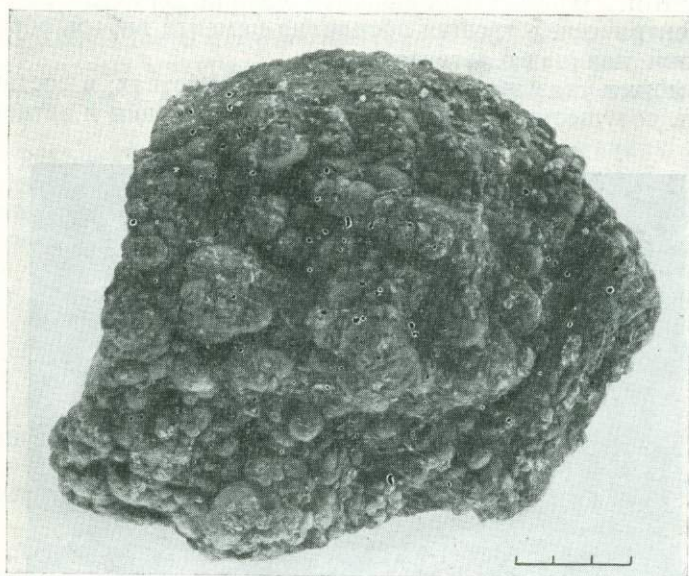
Фиг. 1. Разрез верхнесантонских вулканических образований

1 — туфобрекчии (коньяк — нижний сантон); 2 — кристаллолитокластические туфы; 3 — поток обсидиан-перлитов; 4 — «шариковая» зона потока обсидиана-перлита (верхний сантон); 5 — флюидальные липаритовые порфиры

непостоянны: встречаются участки, сложенные в основном буровато-коричневым материалом с затерявшимся в мелких промежутках цементом, и участки, содержащие до 30—40% от объема породы обособлений. Поверхность шариков бугристая, бородавчатая, размеры их достигают 1—3 см в диаметре (фиг. 2).

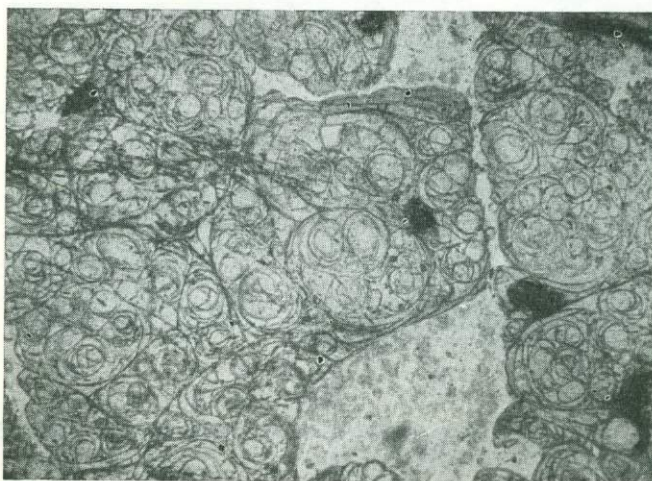
Микроскопические исследования показали, что обсидианы в основании потока и в цементе «шариковой» зоны полностью сходны. Это совершенно чистое изотропное стекло с показателем преломления $1,498 \pm 0,001$. Оно обладает перлитовой микроотдельностью с тонкими концентрическими трещинками сферической формы (фиг. 3). Размеры этих мелких сфер достигают 1,8—2 мм в диаметре. В стекле наблюдаются обильные кристаллиты, которые по форме могут быть отнесены к глобулитам, трихитам и лонгулитам. В нем видны также флюидальные полосы, образованные ориентированными палочками — кристаллитами. По трещинкам перлитовой микроотдельности развивается тонкочешуйчатый хлорит; отмечаются случаи полной хлоритизации внутренних частей перлитовых шариков.

Буровато-коричневые обособления имеют неправильную округлую форму с плавными четкими контурами, не обнаруживающими зависимости от перлитовой отдельности цемента (фиг. 4, а, б). Строение обособлений неоднородно. В них наблюдается совершенно аморфное ярко-желтое стекло ($N=1,492 \pm 0,001$) и буровато-серое анизотропное вещество, обнаруживающее лучистую, волокнистую раскристаллизацию. Соотношения этих веществ внутри отдельных обособлений самые разнообразные: одни из них слагают неправильные пятна на фоне других, но чаще изотропное стекло образует наружную кайму обособлений.



Фиг. 2. Скопление шаровидных обособлений. $\frac{1}{2}$ нат. вел.

В таких случаях отчетливо видно, что образование анизотропного вещества идет за счет раскристаллизации стекла в направлении от периферии к центру обособлений. Как и стекло-цемент, бурые выделения содержат многочисленные кристаллиты — трихиты и маргариты,



Фиг. 3. Перлитовая микроструктура в обсидианах.
Увел. 25

отчетливо видимые в иммерсионном препарате. Часто наблюдается, что крупные обособления образовались в результате слияния мелких, контуры которых подчеркиваются более интенсивной окраской аморфного стекла, слагающего их периферию. Интересно, что трещинки застывания внутри шаровидных выделений по внешнему виду резко отличаются от перлитовых трещин цемента — они образуют неправильную

сеть, иногда длинные ветви, и выполнены, как и в цементе, тонкочешуйчатым хлоритом. Нередко наблюдаются случаи перехода самых внешних из концентрических трещин обсидиана-цемента внутрь обособлений, в которых они начинают ветвиться.

Все это может указывать на различия в свойствах, в составе и вязкости стекол, сосуществовавших в течение охлаждения и затвердевания



а



б

Фиг. 4, а, б. Шаровидные обособления; вид в шлифе. Увел. 25

породы. При внимательном просмотре шлифов можно видеть, как полосы кристаллитов цемента или непосредственно продолжают внутри обособлений, или в некоторых случаях огибают их. Вокруг буровато-коричневых выделений часто заметны хлоритовые оторочки, следовательно, процесс хлоритизации одинаково затрагивает стекло-цемент и обособления и является, несомненно, более поздним.

Обсидиан содержит вкрапленники плагиоклаза и биотита (0,8—1,2 мм), которые встречаются как в стекле-цементе, так и в шаровидных обособлениях и имеют в обоих случаях одинаковый состав. Пла-

гиоклаз образует широкие таблитчатые формы зонального строения и отвечает по составу 27—34% Ап. Биотит наблюдается в виде круглых пластин с тонкой опалитовой оторочкой. Показатель преломления $N_0 = 1,653 \pm 0,001$. Часто отмечаются также микроскопические выделения таких аксессуарных минералов, как циркон, апатит и магнетит, имеющих в стекле-цементе и в обособлениях характерные идиоморфные очертания.

Кроме раскристаллизованных образований, в описаниях аналогичных шаровых пород ряд исследователей (Воловикова, 1955; Джрбашян, 1961) отмечают наличие типичных сферокристаллов, для которых характерны четко видимый центр роста, хорошо развитая радиально-лучистая структура, зубчатые контуры и другие особенности. И. М. Воловикова указывает, что сферокристаллы отличаются от основной массы, в которую они погружены, большим количеством щелочей и меньшим — железа, окиси магния и воды; состав их в основном щелочной полевошпатовый, т. е. преимущественно мономинеральный. Далее, согласно мнению того же автора, сферокристаллы образуются в вязких переохлажденных расплавах и являются кристаллизационной формой, которая требует наименьшей затраты энергии при данных условиях.

В описываемых нами обсидианах типичных сферокристаллов не встречено.

Для установления различий в химическом составе описываемых продуктов нами в химической лаборатории ИГН АН Арм. ССР (аналитик А. А. Петросян) выполнены анализы обсидиана, взятого из основания потока, стекла-цемента и буровато-коричневых шаровидных обособлений (табл. 1). Эти анализы обнаруживают заметные различия в составе обособлений, с одной стороны, и стекла из нижней части потока и цемента — с другой. Различия выражаются, в первую очередь, в соотношениях щелочей, в содержании конституционной воды и кремнекислоты.

Таблица 1

Химический состав обсидианов и шаровидных обособлений (в %)

Окислы				Числовые характеристики по А. Н. Заварцкому			
	1	2	3		1	2	3
SiO ₂	70,47	69,50	72,50	<i>a</i>	15,3	14,0	14,4
TiO ₂	0,21	0,15	0,15	<i>c</i>	1,4	2,0	2,4
Al ₂ O ₃	13,13	15,50	14,50	<i>b</i>	3,0	4,5	1,9
Fe ₂ O ₃	2,08	0,65	0,80	<i>S</i>	80,3	79,5	81,3
FeO	0,44	0,36	0,36	<i>c'</i>	4,5	—	10,3
MnO	0,04	0,03	0,02	<i>a'</i>	—	67,8	—
MgO	0,38	0,32	0,40	<i>m'</i>	22,8	10,70	34,5
CaO	1,29	1,62	2,08	<i>f'</i>	72,7	21,5	55,2
Na ₂ O	3,93	3,30	4,76	<i>n</i>	49,4	52,4	71,0
K ₂ O	4,11	4,52	2,94	<i>t</i>	0,2	0,2	0,2
P ₂ O ₅	—	0,06	0,09	φ	59,0	12,3	34,5
Cl	—	0,10	0,05	<i>Q</i>	18,6	29,0	31,4
S	Не обнар.	Не обнар.	Не обнар.	<i>a/c</i>	10,9	7,0	6,0
H ₂ O ⁺	—	4,24	1,50				
H ₂ O ⁻	4,12	0,16	Не обнар.				
CO ₂	—	Не обнар.	0,08				
П.п.п.	—	—	—				
Сумма	100,20	100,51	100,23				

1 — обсидиан-перлит из основания потока; 2 — цемент; 3 — шаровидные обособления.

При сопоставлении анализов отмечается постоянство суммы щелочей (она во всех случаях заключается в интервале 7,7—8%), однако в буроватых обособлениях и стекло-цементе происходит перераспределение их. Так, в обсидиане из основания потока и в цементе намечается постоянное, хотя и не резкое, преобладание K_2O над Na_2O (отношение $Na_2O : K_2O$ соответственно равняется 0,95 и 0,73), а в шаровидных обособлениях, напротив, в сумме щелочей Na_2O значительно преобладает ($Na_2O : K_2O = 1,97$). Далее интересно отметить, что соотношения суммы щелочей и кремнекислоты постоянны, а средние содержания SiO_2 , K_2O и Na_2O , вычисленные из общего количества их в цементе и в шариках, почти точно отвечают содержаниям этих окислов в обсидиане из основания потока.

При почти равных количествах MgO и MnO , в обособлениях отмечается некоторое возрастание суммарного железа и окиси кальция, а также уменьшение глинозема. В распределении летучих компонентов в указанных продуктах наиболее важна роль воды; содержания P_2O_5 , Cl и S практически не изменяются; углекислота обнаружена только в шаровидных обособлениях. При распределении воды необходимо отметить, что при общем содержании воды в стекле (более 4%) из основания потока в бурые обособления уходит незначительная часть ее; в то же время в цементе роль воды заметно возрастает.

При пересчете анализов по методу А. Н. Заварицкого указанные различия в химическом составе прослеживаются отчетливее. Породы по химическому составу отвечают трахилипаритам, однако стекло-цемент более приближается к липаритам.

Различия в параметрах « a , c и S » основной числовой характеристики наводятся в полном соответствии с отмеченными выше особенностями распределения щелочей и кремнекислоты. Параметр « b » в шаровых обособлениях значительно ниже, чем в стекле-цементе. Далее следует отметить, что шаровые обособления и стекло из основной массы характеризуются избытком извести, а цемент — глинозема, входящих в фемическую составляющую. Изменчивыми являются также избыток свободной кремнекислоты, максимальное содержание которой отмечается в шаровых обособлениях, и отношение a/c .

Отмеченные особенности химического состава включений и стекло-цемента должны свидетельствовать о том, что при разделении исходного расплава шло главным образом перераспределение компонентов и полностью отсутствовали процессы привноса и выноса вещества, следовательно, есть основания считать, что образование шаровидных обособлений не связывается со вторичными процессами.

Спектральные анализы и вычисленные на их основании средние содержания (табл. 2) не обнаружили исключительно резкой дифференциации микроэлементов в обсидиане из основания потока, стекле-цементе и шаровых обособлениях.

Как следует из данных таблицы, такие элементы, как титан, хром, цирконий, свинец и лантан, являются характерными для всех анализированных разновидностей стекол и содержатся в них в одинаковых количествах. Серебро, барий и литий наиболее характерны для шаровых обособлений, в то же время последние в сравнении с цементирующей массой заметно обеднены молибденом, медью, галлием, иттрием, стронцием, бериллием, бором и марганцем. Ванадий и цинк характерны для обсидиан-перлитов и стекла-цемента и не обнаружены в шаровидных обособлениях.

Изложенные факты, на наш взгляд, могут быть легче всего объяснены исходя из представления об образовании описанных шаровых лав, вследствие ликвации магмы в приповерхностных условиях. Разделение шло, несомненно, после того, как были образованы интрателлурические

Таблица 2

Распределение (в %) микроэлементов в обсидианах
и шаровидных обособлениях (среднее из 15 анализов)*

Элементы	Обсидиан из основания потока	Стекло-цемент	Шаровидные обособления
Ti	0,2	0,15	0,15
Mn	0,04	0,03	0,01
V	0,001	0,001	—
Mo	0,0003	0,001	0,0003
Cu	0,003	0,003	0,001
Cr	0,0003	0,0003	0,0003
Zr	0,01	0,01	0,01
Pb	0,002	0,002	0,002
Ag	0,0001	—	0,0001
Zn	0,01	0,01	—
Ga	0,008	0,005	0,002
Y	0,003	0,002	0,001
Sr	0,05	0,07	0,03
Ba	0,1	0,01	0,1
Li	0,003	0,001	0,003
Be	0,001	0,0006	0,0003
B	0,02	0,01	0,0006

* Анализы выполнены в спектральной лаборатории ИГН АН Армянской ССР (аналитик Г. М. Мкртчян).

вкрапленники и магма была исторгнута из очага. Причинами расщепления могли быть резкий спад давления и понижение температуры при подъеме лавы и передвижении ее в вулканическом канале. Застывание шаровидных обособлений или несколько предшествовало застыванию цементирующей массы, или эти процессы шли одновременно, что следует из наблюдения над полосами кристаллитов в стекле-цементе.

Многие исследователи высказывают сомнение или отрицают возможность ликвации в силикатных расплавах (Белкин, 1949; Соболев, Заварицкий, 1961; Коржинский, 1962). Во всех случаях возражения вызваны главным образом наличием в шаровидных обособлениях раскристаллизованного вещества сферолитовой структуры. Обычно образование их связывают с особым течением процесса кристаллизации в однородной жидкой среде (Заварицкий, Соболев, 1961). Д. С. Коржинский (1962) объясняет случаи образования неоднородных вулканических стекол смешением разных струй флюидальной магмы при недостаточно быстром их взаимном растворении в условиях быстрого застывания.

В подтверждение высказанного предположения о разделении магмы на две несмешивающиеся жидкости при образовании шаровых лав р. Джогас можно привести следующие соображения.

1. Отчетливо наблюдается, что в бурых обособлениях раскристаллизация с образованием лучистых и волокнистых агрегатов шла за счет первоначально стекловатого вещества; типичные сферокристаллы в них отсутствуют. Кроме того, отмеченные выше различия между химизмом сферокристаллов и межсферолитовой массы (по И. М. Воловиковой) и сравнение их с полученными данными также исключают возможность образования описанных обособлений путем сферолитовой раскристаллизации из расплава.

2. Исключается также предположение о постмагматическом происхождении шаровидных обособлений, поскольку замещения должны были следовать по перлитовой микроотдельности. Уже сам факт наличия нераскристаллизованного стекла-цемента указывает на то, что порода не подверглась поздним гидротермальным воздействиям, при которых, как отмечает М. А. Фаворская (Бурьянова, Фаворская, 1961; Фаворская, 1956), на месте изотропного стекла развивается слабополяризующий тонкозернистый агрегат минералов (фельзитовое вещество). Единственным процессом, наложенным на цементирующую массу и на обособления, является хлоритизация, действительно следующая по перлитовым трещинкам в цементе и ветвистым — в обособлениях. И, наконец, химические анализы не обнаружили часто отмечаемого во вторичных процессах привноса вещества.

3. Примечателен факт нахождения минералов-вкрапленников и зачаточных кристаллических образований как в цементе-стекле, так и в обособлениях.

4. Имеются доказательства участия шаровидных обособлений в процессе течения и перемещения лавы (слияние их в полосы).

5. Химические особенности пород свидетельствуют о разделении первичного расплава и перераспределении таких его компонентов, как кремнекислота, окиси натрия и калия, некоторых микроэлементов, и, что очень важно, воды. Роль последней в явлениях ликвации особенно подчеркивается в исследованиях Ф. Ю. Левинсона-Лессинга.

Как показывает сопоставление полученного материала с известными в литературе примерами разделения магмы, этот процесс в описанных здесь условиях отличается специфическими особенностями.

С. Г. КАРАПЕТЯН

**ШАРОВИДНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ
В ОБСИДИАНАХ ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ ЗАНГЕЗУРСКОГО
ХРЕБТА (АРМЯНСКАЯ ССР)**

Статья посвящена описанию шаровидных образований в обсидиановых лавах, встреченных нами при совместных полевых работах с К. Г. Шириняном (летом 1961 г.) на западных и юго-западных склонах северной оконечности Зангезурского хребта (в Сисианском районе Арм. ССР).

Морфологически район представляет высокогорную (средняя высота 2500—2600 м) типичную область молодого вулканизма, сложенную толщей вулканогенных пород миоцена и плиоцена, перекрытой четвертичными базальтами, андезито-базальтами и наносами. Из-под них выступают купола Гузгунлу, Большая и Малая Деве-Гезю и т. д., сложенные из липаритов, обсидианов, перлитов и литоидных пемз, отличающихся на темном фоне основных лав своим белым, светло-фиолетовым, местами черным цветом.

Район месторождения изучался В. Н. Котляром, К. Н. Паффенгольцем, А. А. Габриеляном, П. Л. Епремяном, А. Т. Асланяном и А. Т. Вегуни.

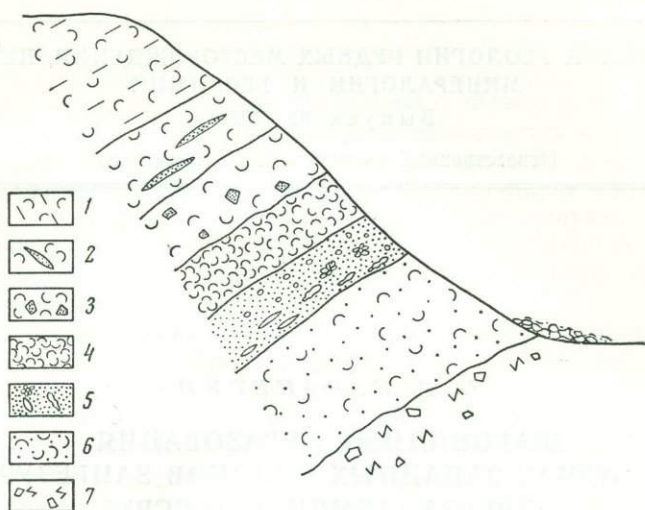
Этими исследователями по-разному трактуется возраст толщи кислых пород. Последняя, мощностью 500—700 м, является верхним членом вулканогенной толщи, возраст которой К. Н. Паффенгольцем считается как олигоценовый, П. Л. Епремяном как мио-плиоценовый. По А. А. Габриеляну, А. Т. Асланяну и А. Т. Вегуни она датируется как верхнеплиоценовая.

Наличие шаровых выделений в обсидианах отмечал А. Т. Вегуни (1958). Породы этого типа описаны также М. А. Кашкаем, А. И. Мамедовым (1961) в соседнем Кельбаджарском районе Азерб. ССР.

Интересующие нас обсидиановые лавы с шаровидными выделениями слагают средние части липарит-перлитовой толщи, разрез которой в массиве горы Гузгунлу¹ (фиг. 1) приводится по данным А. Т. Вегуни и прослежен им на протяжении 1,5 км.

Отсутствие как в разрезе, так и в его основании осадочных пород говорит о том, что толща образовалась в наземных условиях.

¹ С некоторыми определениями пород автор не согласен.



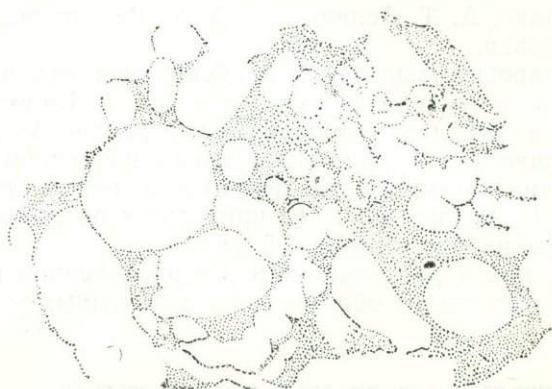
Фиг. 1. Схематический геологический разрез восточного склона горы Гузгунлу

1 — рассланцованная серая вулканическая порода типа перлита, 150 м; 2 — серые перлиты с линзами черных обсидианов, 70 м; 3 — серые плотные перлиты с крупной шаровой отдельностью, местами автобрекчии перлита в липаритовом цементе, 65 м; 4 — серые перлиты с мелкой шаровой скорлуповатой отдельностью, 40 м; 5 — черные, редко темно-серые обсидианы с гнездами перлита, 40 м; 6 — литоидные пемзы и пемзы, к востоку фациально переходящие в липариты; 7 — светло-фиолетовые и розовые санидиновые андезиты и их туфобрекчии, ниже переходящие в темно-серые андезиты с крупными выделениями полевого шпата

В составе ее встречаются два типа обсидиановых пород со сферолизовыми, шаровидными обособлениями: обсидианы с серовато-зеленоватой основной массой и матовым блеском и обсидианы со смоляно-черной основной массой и стекловатым блеском.

1. СЕРОВАТО-ЗЕЛЕННЫЕ ОБСИДАНЫ

Первый тип обсидианов встречается преимущественно на восточном, а также южном склонах горы Гузгунлу, образуя пласты с видимой мощностью 20—30 м, падающие на запад в сторону купола под углом 30—40°.



Фиг. 2. Образец с шаровидными выделениями, деформированными еще в вязком состоянии.
Нат. вел.

Порода представляет собой обсидиан, на серовато-зеленом фоне которого выделяются светло-серые, реже светло-коричневые шаровидные обособления (фиг. 2). Обычно они имеют округлую или овальную форму, часто с бугристой или бородавчатой поверхностью, и располагаются в цементирующей массе поодиночке или гнездами с цепочками, при этом в нижних частях потока они обычно сплюснуты. Некоторые мелкие шарики деформированы от соприкосновения с более крупными и, вероятно, ранее остывшими шарами.

Граница основной массы с шарами резкая; при ударе молотком шарики легко выпадают из породы, чему особенно способствуют трещиноватость и выветрелость обсидиана. Отдельные шаровидные образования величиною от микроскопических до 8—10 см и более имеют в разрезе радиально-лучистое строение и образуют между собой сростания. При выпадении шариков из породы остаются «каверны» с гладкими стенками, изолированные или сообщающиеся, округлой, овальной или вытянутой, линзовидной формы.

Микроскопическое описание

Цементирующая масса. Под микроскопом структура породы гиалиновая, витрофировая; основная масса представляет кислое вулканическое стекло ($N=1,483 \pm 0,001$) с неориентированно разбросанными табличатыми, призматическими и скелетными зернами плагиоклаза — олигоклаза и сферолитами, размером от 0,042 до 0,467 м. Из цветных минералов встречается роговая обманка, нацело опациitized. Все стекло усеяно рудной пылью.

Формы сферолитов разнообразны: имеются полусферические, сферические и овальные, даже прямоугольные и квадратные с зазубренными контурами. Лучи в них группируются не вокруг одного центра как в типичных сферолитах, а вокруг нескольких коротких прямых или изогнутых линий, вследствие чего вместо идеально радиально-лучистой структуры получается волокнистая, линейная или зональная, погасающая по секторам, напоминающая катакластическую структуру; некоторые сферолиты нарастают на зерна полевого шпата.

При больших увеличениях удается определить в их составе альбит, калиевый полевой шпат (санидин, реже адуляр), кварц и халцедон, а иногда и тридимит.

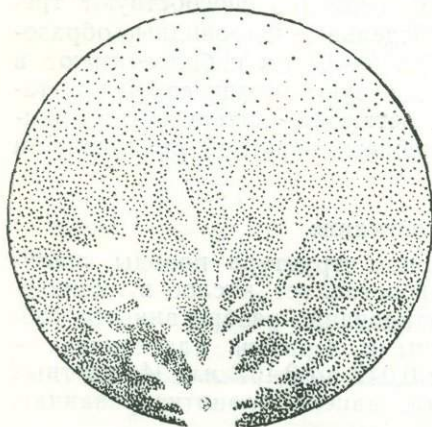
Обилие сферолитов и трещиноватость минеральных выделений указывают, по-видимому, на характерные для вязких лав условия стесненной кристаллизации при выдавливании лавы из очага.

Шаровидные образования под микроскопом содержат подобно цементирующей массе такие же вкрапленники и сферолиты. Вместе с тем в составе «шаров» изотропное стекло ($N=1,495 \pm 0,001$) сохраняется только по периферии, а в центральной части оно раскристаллизовано до фельзитовой, даже частью гиалопилитовой структуры, причем переход между структурами внешней и внутренней части «шара» — постепенный. Местами микролиты как бы обтекают вкрапленники, подчеркивая флюидальную текстуру породы. Минеральные выделения в некоторых шарах почти полностью отсутствуют.

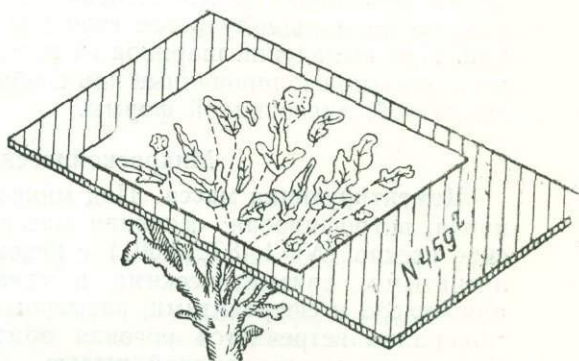
Интересна следующая особенность шаровых образований. На полированном срезе шара, макроскопически, а еще лучше под биноклем, наблюдаются светлые дендритовидные образования (фиг. 3), «стволы» которых начинаются на границе шара, а «ветви» доходят до его центральной части. При этом вмещающее стекло на участке расположения дендрита окрашено темнее и постепенно просветляется по направлению к противоположному краю шара.

Под микроскопом можно видеть, что дендритовидные образования сложены желтовато-бурым трещиноватым стеклом, претерпевшим лу-

чистую раскристаллизацию. В зависимости от сечения, по которому прошел шлиф, дендриты выглядят под микроскопом ветвистыми, перистыми или амебовидными, лапчатыми, с извилистыми и плавными очертаниями (фиг. 4). В соответствии с этим и в скрещенных николях наблюдаются как радиально лучистые агрегаты, так и имеющие характер аксиолитов. Контуры их нередко подчеркиваются скоплениями гидроокислов железа.



Фиг. 3. Дендритовидное образование, наблюдаемое на срезе шарового обособления. Увел. 4



Фиг. 4. Различные сечения дендритовидного образования в плоскости шлифа (схематическая зарисовка)

Характерно наличие включений вкрапленников в дендритовидных обособлениях, а также разрастание в пределы последних сферолитов из основной массы.

При окрашивании шлифа кобальтинитритом ветвистые участки окрашивались более интенсивно, указывая на их существенно калишпатовый состав.

Особенности химизма

Основные химические различия (табл. 1) между шаровыми обособлениями (с ветвистыми включениями) и цементирующей обсидиановой массой сводятся к незначительно большему содержанию в последней суммы окислов железа (с преобладанием закиси) и суммы щелочей. Отмечается также, что в основной массе калий несколько преобладает над натрием, а в шарах натрий над калием, но колебания эти незначительны.

Характерной особенностью данных пород, в отличие от всех шаровых образований, описанных в литературе, является отсутствие как в основной массе, так и в шаровых выделениях воды. Трехкратные анализы на воду (кроме полного силикатного анализа), проведенные А. А. Петросян, В. А. Бабаян и З. Ш. Гаспарян (Химическая лаборатория Института геологических наук АН Арм. ССР), не обнаружили даже потерь при прокаливании.

Спектральными анализами в основной массе и шаровых выделениях обнаружены следующие микроэлементы: Ti, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Zn, Ga, Y, Sr, Ba, Be, В. Особых расхождений в содержании микроэлементов между цементирующей массой и шаровыми выделениями почти не за-

Химический состав цементирующих обсидианов и шаровых обособлений (в %)

Окислы	Цемент, обр. 459	Шар, обр. 459	Цемент, обр. 489	Литофизы, обр. 489	Характеристики по А. Н. Заварицкому	459	459	489	489
SiO ₂	74,46	74,42	76,24	73,90	<i>a</i>	14,9	14,5	14,9	14,9
TiO ₂	0,07	0,10	0,07	0,11	<i>c</i>	0,09	0,9	0,9	1,2
Al ₂ O ₃	13,67	15,34	12,79	13,42	<i>b</i>	2,2	3,3	2,1	2,5
Fe ₂ O ₃	0,41	Не обнар.	1,22	0,61	<i>S</i>	82,0	80,6	82,1	81,4
FeO	1,26	0,90	1,09	1,99	<i>a'</i>	24,3	75,4	—	—
MnO	0,08	0,06	0,01	0,07	<i>f'</i>	75,7	24,6	93,5	100,0
MgO	Не обнар.	Не обнар.	Не обнар.	Не обнар.	<i>m'</i>	2,9	—	—	—
CaO	0,82	0,87	0,94	1,00	<i>c'</i>	—	—	6,5	—
Na ₂ O	4,34	4,25	4,18	4,85	<i>n</i>	59,4	60,7	60,3	68,1
K ₂ O	4,44	4,15	4,15	3,36	<i>φ</i>	18,1	—	45,2	21,1
P ₂ O ₅	0,09	0,09	0,04	0,21	<i>t</i>	0,07	0,07	0,1	0,1
S	Не обнар.	Не обнар.	Не обнар.	—	<i>Q</i>	33,3	31,4	33,5	31,8
H ₂ O ⁺	» »	» »	» »	Не обнар.	<i>a/c</i>	16,5	16,1	16,5	12,4
H ₂ O ⁻	» »	» »	» »	» »					
П.п.п.	» »	» »	0,12	» »					
Сумма	99,64	100,18	100,85	99,52					

мечается. В шаровых обособлениях содержится несколько больше Ti и Ga, чем в цементирующей массе, а в этой последней несколько больше Li.

2. ЧЕРНЫЕ ОБСИДАНЫ

Как второй тип породы, со сферолитовыми или шаровидными выделениями, нами были выделены разности со смоляно-черной блестящей обсидиановой основной массой. Эти породы встречаются на участке северо-западнее горы Гузгунлу на 1,5—2 км, в овраге, прорезанном в седловине между гор. Карахач и Большой Карахач.

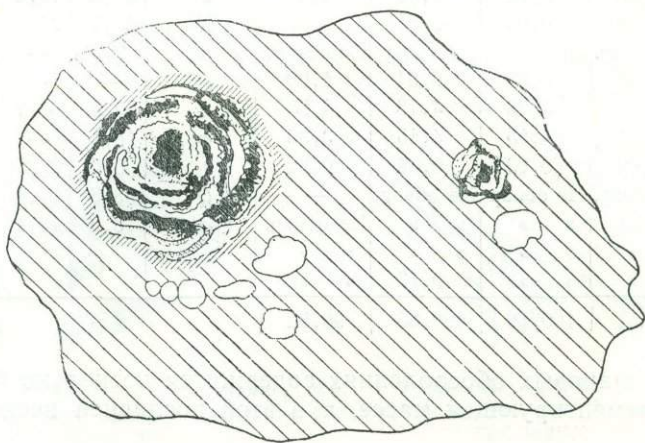
Положение обсидиановых пород в разрезе аналогично описанному выше, но здесь толща кислых эффузивов перекрывается сверху плащом андезито-базальтовых лав, являющихся результатом последнего проявления активности вулкана Большой Карахач. Обсидианы обнажены неравномерно. Мощность их колеблется от 1 до 5—6 м, падение то же, что и у серовато-зеленых разностей (на запад).

Характерно слоистое или полосчатое строение, обусловленное как отдельностью, так и наличием полос и зон из сферолитов и литофиз. В пределах отдельных зон литофизы располагаются поодиночке, в пределах других образуют скопления, тесно соприкасаясь друг с другом.

Они имеют преимущественно белый, светло-серый цвет и бугристую или почковидную поверхность. В случаях тесных скоплений, на внешней стороне выделений виднеется концентрическая корка из сросшихся мелких сферолитов, поверхность которых бывает загрязнена окислами железа. В отличие от серовато-зеленых обсидианов, в этих породах между основной массой и шаровидными выделениями имеется ярко-красная кайма с показателем преломления $1,492 \pm 0,001$ и мощностью от 0,5 до 1—1,5 мм (фиг. 5).

Под микроскопом цементирующая основная масса отличается от вышеописанной разности (первого типа) отсутствием хорошо заметных минеральных включений. Здесь, в кислом стекловатом базисе ($N =$

$=1,486 \pm 0,001$), под анализатором то тут, то там просвечивают игольчатые микролиты, некоторая ориентированность которых указывает на флюидальную текстуру породы. Очень редко попадаются маленькие сферолиты и обломки минералов полевого шпата. При больших увеличениях бесцветное стекло разнообразяет лонгулиты и прозрачные призмочки (размерами до 0,017 мм), усеянные посередине или по краям зернышками рудного минерала. Из-за маленьких размеров их трудно определить, но аналогичные образования, обильно встречающиеся в других районах развития обсидиановых пород (окрестности с. Джрабер), определены В. П. Петровым (1961) как пироксены. Последние часто образуют потоки и струйки в шлифе, но особенно много их на контакте сферолитовых, сферических выделений, которые обтекаются ими.



Фиг. 5. Литофизы в обсидиане; видна окисленная кайма вокруг литофизы (мелкая штриховка). $\frac{1}{3}$ нат. вел.

В шлифе встречаются агрегаты из квадратных зерен рудного минерала — магнетита. В отличие от обсидианов других месторождений Армянской ССР, здесь в основной массе трихиты отсутствуют, но при переходе в красную окисленную кайму они постепенно появляются, а в самой кайме, тесно переплетаясь, образуют войлок. Совершенно отсутствует перлитовая трещиноватость.

Литофизы имеют различные очертания и строение. В поперечном срезе в некоторых из них видны концентрически развитые прерывистые скорлупки или «лепестки» радиально-лучистого строения, то примыкающие друг к другу, то разъединенные небольшими полостями, придающие выделению вид «распустившейся розы» (фиг. 5) по терминологии Г. Розенбуша.

В разностях без лепестков имеется только внешняя кайма, корка, плотно прилегающая к обсидиану, а на ней с внутренней стороны располагаются отдельные (обычно в количестве трех) сферолиты, центры которых находятся на самой корке. В этих случаях сферолиты разрастаются в сторону полости и, соприкасаясь внешними сторонами, лишаются обычного сферического контура.

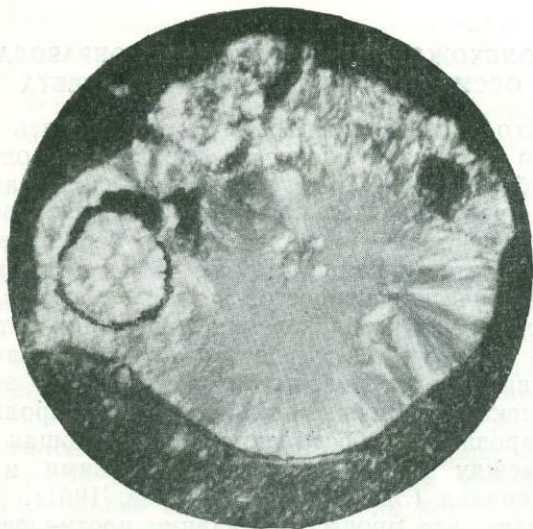
Некоторые исследователи (Кашкай, Мамедов, 1961) этот процесс представляют в обратном порядке, они считают, что «нередко несколько сферолитов в плотной упаковке располагаются в ядре, а вокруг них другой сферолит продолжает свой рост».

Подобные этим образования с концентрически-скорлуповатой, но полый внутренней частью, другие исследователи (Воловикова, 1955) называют полыми сферолитами, что, на наш взгляд, неправильно. По

своему происхождению они полностью соответствуют литофизам и должны так и называться.

Иддингс (Iddings, 1909), впервые описавший литофизы, считает, что они образуются в участках, особенно насыщенных газами, которые способны кристаллизоваться. После улетучивания газов в конце кристаллизации наблюдается сокращение объема массы, образуются трещины поперечной волокнистости, которые соединяются в концентрические полости, раздвигаемые впоследствии устремляющимися в них гидротермами. Последние при охлаждении отлагают на стенках пустот соответствующие вторичные минералы.

По А. Н. Заварицкому также: «В образовании литофиз очевидную роль играли газы. Образование пустот приписывается сокращению кислой вязкой магмы при остывании и выделении летучих веществ. Ли-



Фиг. 6. Крупное шаровидное обособление, включающее более мелкое, раскристаллизованное, в виде сферолита. Увел. 120, николи+

тофизы являются примером перемежающейся (пульсирующей) кристаллизации сферолитов: выделение кристаллического вещества сопровождалось выделением газа, и это обусловило их строение из кристаллических скорлуп с пустыми промежутками между последними» (Заварицкий, 1961).

В нашем случае, вероятно, в поверхностных условиях, в промежутки между основной массой и литофизой, проникал кислород, от которого вокруг литофизы обсидиан окислился в красную кайму.

В основной обсидиановой массе встречаются также стекловатые желто-бурые обособления (как в первом типе пород). Они имеют сферические плавные контуры (которые иногда подчеркиваются окислами железа). Микролиты их обтекают. В шарах развиты радиально вытянутые кристаллиты — трихиты, образующие местами плотные продольные сплетения. Эти обособления лишены минеральных включений и сколько-нибудь заметной радиальной раскристаллизации. В одном шлифе встречено шаровидное обособление, включающее более маленькое (фиг. 6), раскристаллизованное в виде сферолита. Как большой, так и маленький шарик окружены тонкой концентрической каймой радиально-лучистого строения.

Химические анализы основной цементирующей массы и тщательно отобранных шаровидных выделений (литофиз) обнаруживают заметную разницу в содержании окислов: кремнекислота, окиси железа и калия преобладают в основной массе, а окись натрия, глинозема и окись железа — в выделениях. Сумма щелочей в основной массе больше, чем во включениях, но в них преобладание Na_2O над K_2O гораздо больше, чем в основной массе. Содержание микроэлементов в основной массе и в обособлениях почти одинаковое. Разница наблюдается только в большем содержании Ba и Li в основной массе, а Zr и Zn во включениях.

Сравнение наших пород со средними типами таковых по Дэли (анализы пересчитаны по методу А. Н. Заварицкого) обнаруживает близость к щелочным липаритам; только некоторое отличие обнаруживают шаровидные выделения (№ 459, см. табл. 1), приближающиеся к чистым липаритам.

3. О ПРОИСХОЖДЕНИИ ШАРОВИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ОБСИДИАНАХ ЗАНГЕЗУРСКОГО ХРЕБТА

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать некоторые выводы относительно механизма процессов образования описываемых нами шаровидных обособлений. Среди них мы выделили разности, одни из которых можно предположительно считать образовавшимися путем расщепления магматического расплава на две несмешивающиеся жидкости, т. е. в результате ликвации. Другие разности образовались в результате постмагматических процессов в зонах, обогащенных летучими компонентами, приведших к образованию настоящих литофиз.

Известно, что некоторые исследователи высказывают сомнение в возможности ликвации в силикатных расплавах. При этом в качестве аргументов привлекается нередко наблюдаемая сферолитовая раскристаллизация в шаровидных обособлениях, позволяющая якобы ставить знак равенства между шаровидными обособлениями и сферолитами, растущими из расплава (Заварицкий, Соболев, 1961). Д. С. Коржинский (1962) считает, что процессу ликвации противоречат также постепенные переходы между разными типами пород вместо резкого расщепления, создаваемого ликвацией. Согласно мнению этого автора, образование «неоднородных вулканических стекол» происходит в результате смешения разных струй флюидальной магмы при недостаточно быстром их взаимном растворении в условиях быстрого застывания.

Возвращаясь к описываемым породам, постараемся восстановить последовательность событий в процессе их застывания.

Из приведенного описания видно, что вкрапленники выкристаллизовывались еще в интрателлурическую стадию кристаллизации в «спокойном состоянии», о чем свидетельствует их хаотическое, неориентированное расположение. Затем, вероятно вследствие спада давления и температуры (при подъеме), происходило расщепление магмы, подобное тому, как оно было получено экспериментальным путем в опытах Д. П. Григорьева и Искуль (1937). При этом расщепленная часть расплава, образовавшаяся в меньшем количестве, концентрировалась внутри большей, в виде линзовидных выделений и слоев. В дальнейшем внутри последних шло образование дендритовидных обособлений, захватывавших местами вкрапленники и вызывавших ориентировку микролитов (последние как бы обтекают ветви дендрита). Следует отметить, что по данным М. П. Воляровича и А. А. Леонтьевой (1938) для подобной ориентации не обязателен долгий путь движения, так как она может получиться за короткий срок при большом градиенте скорости.

В процессе движения линзы слои расчлениются, образуя комки, которые или застывают до выхода на поверхность, сохраняя неправиль-

ную форму, или, попадая после излияния лавы в спокойную обстановку, «свертываются» под влиянием поверхностного натяжения и приобретают округлую, сферическую форму. Шары охватывают участки дендритов и нередко включают в себя более мелкие шарики. Бывают случаи, когда этот большой шар вместе с маленьким обрастает новой радиально-лучистой корочкой. Вероятно, уже после излияния магмы на поверхность, но до застывания цементирующего расплава и шаров, произошло их сплющивание в нижних частях покрова, а после окончательного затвердевания — раскристаллизация дендритовидных обособлений и некоторых шаров, появление гидроокислов железа и красной окисленной каймы вокруг литофиз. Описание литофиз нами уже частично дано выше; генезис их особых сомнений не вызывает. Они образовались в обсидановой лаве, в участках, богатых газами и другими летучими компонентами, способствующими кристаллизации и т. д.

Мы видели, что и в первом типе пород, и во втором (с литофизами) имеются случаи шаровидных обособлений стекла, причем разные шары обладают разной степенью кристалличности: одни полностью стекловатые, другие — с трихитами, а третьи — с начинающейся сферолитовой раскристаллизацией. Имеются также шарики с концентрической зоной закалки.

Наличие разнородных образований (литофизы и стекловатые шары) в одной и той же породе говорит о сложности процессов, связанных с консолидацией магмы, и осторожности, с которой необходимо подходить при интерпретации генезиса подобных образований.

Близость химических особенностей, присутствие почти одинаковых микроэлементов в описываемых породах указывают на существование родоначальной, единой магмы и последующее расщепление ее с неравномерным перераспределением отдельных окислов. Вместе с тем особенности химизма описанных здесь пород, а именно практическое отсутствие летучих компонентов, не соответствуют главнейшему условию возникновения процессов ликвации. Из описания подобных явлений, из опытов Д. П. Григорьева следует, что роль летучих и в особенности фтора весьма существенна. В работах ряда других исследователей особо подчеркивается значение воды для понижения вязкости расплава. С другой стороны, в рассматриваемом нами случае, в отличие от многих других примеров, расщепление расплава в процессе образования шаровых лав привело к незначительной разнице между составом шаров и цемента. Наконец, по данным ряда авторов, в том числе М. П. Воларовича и А. А. Леонтьевой (1938), А. А. Леонтьевой (1940), для понижения вязкости силикатных расплавов большое значение наряду с летучими компонентами имеют титан и щелочи. Последние в нашем случае и способствовали, по-видимому, понижению вязкости расплава.

В заключение кратко резюмируем основные выводы:

1. Изучение исследуемых пород подтверждает существование, в основном, двух типов шаровидных обособлений — стекловатых (в разной степени раскристаллизованных) и литофиз.

2. Вкрапленники полевого шпата и роговой обманки, рудные зерна образовались в интрателлурическую стадию кристаллизации, а шаровидные обособления и сферолиты — в более позднюю (в процессе поднятия лавы и ее застывания на поверхности).

3. Различные химических составов и морфологии (резкая граница, а также цвет и др.) цементирующей стекловатой массы и шаровидных обособлений может быть объяснено явлениями ликвации, а литофиз — позднемагматическими процессами.

4. Шаровидные обособления участвовали в движении лав; в верхних частях потока они круглые, изометричные, а в нижних — сплющены в полосы.

5. Радиально-лучистая раскристаллизация дендритовидных образований происходила уже в твердом или почти твердом состоянии.

*М. А. ФАВОРСКАЯ***ШАРОВЫЕ ЛАВЫ БАССЕЙНА Р. КЕНЦУХЕ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

В статье приводится описание своеобразных шаровых лав липаритового состава, распространенных в верхнем течении р. Кенцухе (Кавалеровский район Приморского края) недалеко от перевала в верховье р. Нежданки.

В геологическом отношении участок располагается в пределах крупной антиклинальной структуры северо-восточного простирания — так называемой Кенцухе-Горбушинской антиклинали, в ядре которой выходят карбонатные и песчано-сланцевые толщи карбона и перми. Образование антиклинали произошло в середине мелового периода, после чего в течение верхнего мела и палеогена описываемый участок вместе со всей территорией восточного Сихотэ-Алиня был захвачен интенсивными проявлениями дизъюнктивной тектоники, свойственной молодым платформам и сопровождавшейся бурной вулканической деятельностью.

Липариты описываемого участка принадлежат широко распространенной в пределах восточного склона Сихотэ-Алиня формации олигоцен-миоценовых кислых эффузивов, включающей покровы, дайки, некки и туфы и выделенной Е. В. Быковской под названием брусиловской свиты. Шаровые образования в липаритах этой формации отмечались раньше и были кратко описаны автором настоящей статьи в составе некка в устье р. Топауза и в ближайшем соседстве с описываемым участком, в липаритовых дайках Кенцухинского рудного поля. Некоторыми исследователями шаровые образования подобного типа принимались за вулканические бомбы.

Среди всех отмеченных ранее выходов этих образований участок в верховьях р. Кенцухе отличается наибольшим разнообразием описываемого типа пород, изучение которых позволило, как нам кажется, пролить некоторый свет на их происхождение. Прежде чем перейти к описанию, приведем краткую характеристику липаритов междуречья Кенцухе и Тетюхе, принадлежащих к брусиловской свите.

**ОЛИГОЦЕНОВЫЕ ЛИПАРИТЫ МЕЖДУРЕЧЬЯ КЕНЦУХЕ
И ТЕТЮХЕ**

Покровные липариты с линзами обсидианов и пепловые туфы этой свиты приурочены здесь к возвышенным частям рельефа и отличаются пологим залеганием. Мощность свиты 100—200 м.

Липариты белые, обычно флюидалные, на контакте с обсидианами обладают зоной закалки.

В неизменных флюидалных липаритах вкрапленники составляют 30—50% породы. Среди них преобладает кварц, затем следует альбит; вкрапленники калиевого полевого шпата встречаются в небольшом количестве. Размеры вкрапленников колеблются в широких пределах — от 0,2 до 6 мм. Вкрапленники кварца оплавлены и корродированы основной массой. Нередко они раздроблены и растащены. Плагиоклазы идиоморфны или обломаны и отличаются свежестью. Вкрапленники калиевого полевого шпата представлены микроклином $pNm=14-18^\circ$, $2V=80^\circ-85^\circ$. Обычно они более крупные, чем вкрапленники альбита, и частично замещены цеолитами, иногда также гидроокислами железа. Характерны гломеропорфировые сростания полевых шпатов, а также случаи обрастания кристаллов альбита калиевым полевым шпатом, свидетельствующие о том, что альбит начал кристаллизоваться несколько ранее калишпата. Последний нередко несет на себе следы более поздней альбитизации в виде пертитов замещения.

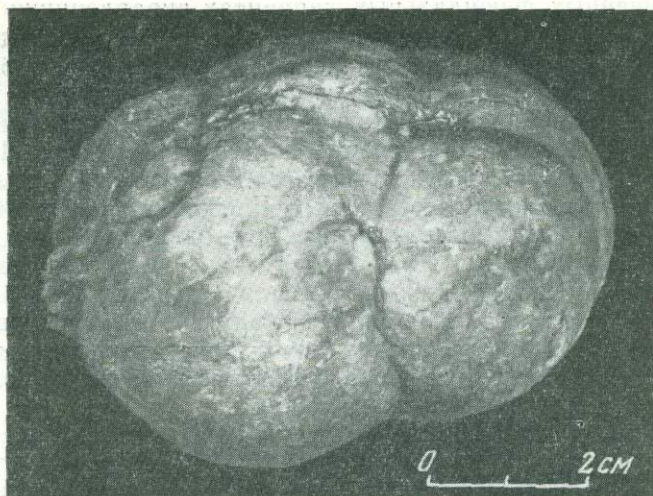
Основная масса флюидална и отличается фельзитовой структурой. В состав ее входят альбит, калиевый полевой шпат и местами встречаются также мельчайшие кристаллики гексагонального облика с очень низким двупреломлением, принадлежащие, по-видимому, тридимиту. Флюидалность обусловлена наличием полос с различной степенью раскристаллизации. Полевые шпаты основной массы нередко идиоморфны (чаще это калиевый полевой шпат). Между ними отмечены также выделения минерала сферолитового строения с показателем, близким к канадскому бальзаму, и двупреломлением, сходным с кварцевым. По-видимому, это халцедон. Местами халцедон слагает линзовидные агрегаты. В небольшом количестве в породе присутствуют чешуйки слабоокрашенного хлорита, образующие вместе с гидроокислами железа псевдоморфозы по какому-то полностью разрушенному минералу. В шлифе флюидалного липарита, окрашенном кобальтинитритом, можно видеть, что калиевый полевой шпат составляет около 50% основной массы.

О СОСТАВЕ И СТРОЕНИИ ШАРОВЫХ ЛАВ БАССЕЙНА Р. КЕНЦУХЕ

В пределах участка, описываемого в данной статье, липаритовые лавы с характерной шаровой отдельностью обнажаются в дорожной выемке на старом Кенцухинском шоссе на протяжении около 3 км. Обнажение ориентировано меридионально. К северу и югу от него наблюдаются выходы липаритовых туфов и туфолав.

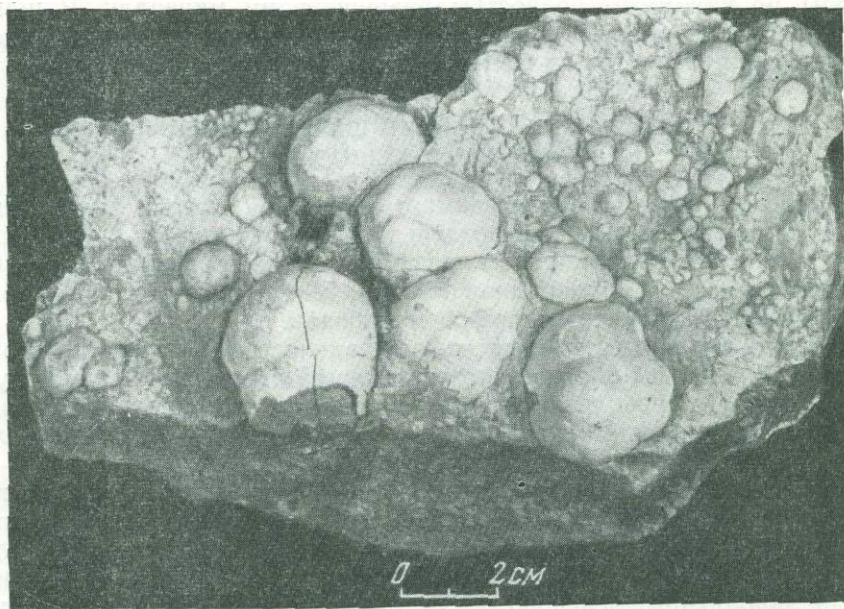
Липаритовые лавы отличаются флюидалностью, плоскости которой ориентированы таким образом, что в северной части описываемого участка обозначается небольшой купол, подобный антиклинальной складке широтного простирання с углами падения крыльев до 45° и размахом крыльев в несколько десятков метров.

Округлые обособления окрашены в белый или светло-серый цвет и концентрируются в определенных плоскостях, параллельных плоскостям флюидалности. На отдельных участках они сливаются, образуя слои. Мощность подобных слоев достигает местами 30 см, а промежутки между ними, заполненные зеленоватым фельзитом с вкрапленниками белого полевого шпата и кварца, равняются по мощности 30—50 см. Размер шаров колеблется от нескольких миллиметров до 10—15 см в диаметре, причем наиболее крупные шары концентрируются по преимуществу на тех участках, где, судя по характеру флюидалности, лава образует куполовидные вздутия. Характерны формы шаровидных образований, уплощенные в соответствии с плоскостями флюидалности, а также налипание мелких полушарий на поверхность крупных «шаров» или частичное слияние двух или трех крупных шаров (фиг. 1).



Фиг. 1. Два «шара», слившиеся вместе

В пределах вышеописанного антиклинального вздутия в большом количестве присутствуют обособления, имеющие форму полусфер и располагающиеся на обеих поверхностях разделяющего их слоя фельзита (фиг. 2), а также шары, опоясанные по экватору отчетливо выступающим «швом».



Фиг. 2. Налипание полушарий на поверхность разделяющего их слоя

В слоях, сложенных преимущественно «шарами», цементирующая их фельзитовая масса составляет не свыше 15% всей породы, причем и этот фельзит не свободен от мелких (0,1—0,5 см в поперечнике) шаровидных включений.

В крупных целых шарах, имеющих в поперечнике 10 см и выше, в отличие от полушарий, обычны пустоты, частично выполненные гидро-

окислами железа и карбонатами. Несмотря на то, что характер обнаженности не позволяет с уверенностью говорить о форме залегания описываемых шаровых лав, наличие упомянутого антиклинального вздутия трудно объяснить иначе, чем выжиманием вязкой лавы из подводящего канала в пределы свободного пространства, т. е. непосредственно на земную поверхность или в неглубоко расположенную полость.

Под микроскопом описываемые шаровые лавы отличаются своеобразными и причудливыми структурами.

Основными элементами этих структур являются:

1. Обособления неправильной, обычно линейно-вытянутой, формы с тонкой и различно ориентированной перистой раскристаллизацией или почти изотропные. Для них особенно характерно образование «слоев» в результате слияния нескольких обособлений (фиг. 3, а).

2. Стекловатые, почти не раскристаллизованные шаровые обособления (фиг. 4), местами слившиеся между собой с образованием цепочек.

3. Сферолиты различной формы и различного происхождения (фиг. 5).

4. Шаровые образования с микропйкилитовой структурой, нарастающие на изотропные «шары» и обособления с перистой раскристаллизацией (см. фиг. 3, б и в).

5. Различные структуры замещения.

Цементом всех перечисленных обособлений является фельзитовый липарит, в большинстве случаев имеющий флюидальную текстуру, обусловленную различиями в степени раскристаллизации стекла. Наблюдается чередование полос фельзитового и микрофельзитового строения. По флюидалности ориентируются также цепочки шариков и сферолитов. Участки микрогранитного строения сложены по преимуществу кварцем и альбитом с подчиненным количеством калиевого полевого шпата. Характерна перлитовая отдельность, разбивающая породу на участки округлой или неправильной формы (фиг. 6), по границам которых проникают вторичные минералы.

Перейдем к описанию характерных особенностей перечисленных образований.

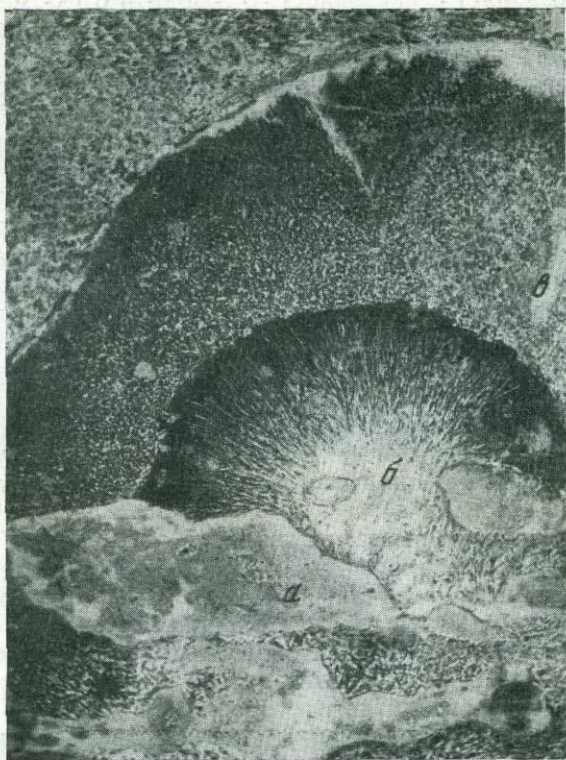
1. Обособления неправильной формы, характеризующиеся перистой раскристаллизацией, отграничиваются в разрезе от основной массы резкими и плавными линиями. Среди них может быть выделен непрерывный ряд от слабо до полностью раскристаллизованных выделений (фиг. 6 и 7), причем степень их раскристаллизации нередко уменьшается от центра к периферии.

Для представителей этой группы характерно слияние нескольких обособлений вместе, в результате чего в разрезе шлифа преобладают неправильные нередко линейно-вытянутые, полукруглые, грибовидные и червеобразные выделения (см. фиг. 3). Они имеют в поперечнике по преимуществу не свыше 1—2 мм и группируются в виде субпараллельных слоев мощностью 2—4 мм, разделенных участками фельзита шириною от 0,5 мм и выше.

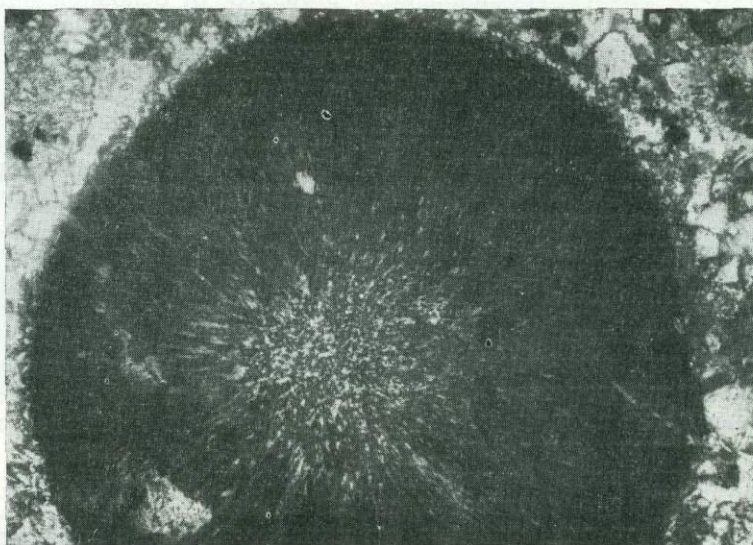
При раскристаллизации подобных обособлений образуются тонковолокнистые агрегаты, имеющие в разрезе характер неполных сферолитов, или ориентированные веерообразно от «корня гриба» к его шляпке, или вытянутые параллельно удлинению (см. фиг. 7). Выделяющийся при раскристаллизации тонковолокнистый минерал обладает отрицательным удлинением и показателями преломления $N_g = 1,538 \pm 0,002$ и $N_p = 1,524 \pm 0,002$, т. е. соответствующими альбиту.

Характерно, что при попытках окрашивания шлифов кобальтинитритом, обособления этого типа совершенно не затрагиваются окраской.

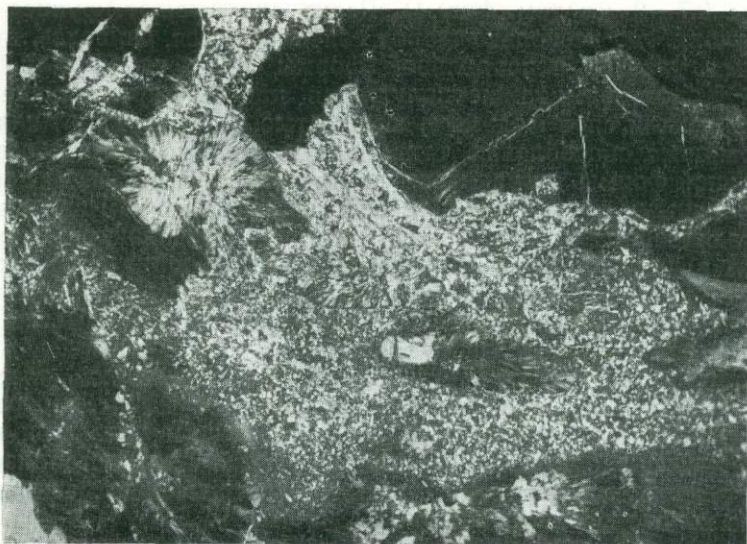
2. Слабо или почти совсем не раскристаллизованные «шары» занимают обычно не свыше 10—20% площади шлифа. Большинство из них



Фиг. 3. «Слой», сложенный ранними обособлениями неправильной формы (а) и нарастающие на них полшария (б и в). Увел. 30. без анализатора



Фиг. 4. Стекловатое шаровое обособление. Увел. 150, николи +



Фиг. 5. Изотропный участок неправильной формы, образовавшийся в результате слияния нескольких шаров. В цементирующей массе видны сферолиты. Увел. 45, николи +



Фиг. 6. Слабо раскристаллизованное раннее обособление; в основной массе видна перлитовая отделимость. Увел. 10, николи +

имеет более или менее правильную округлую форму и достигает в поперечнике 0,7—2 мм (см. фиг. 4). Редко они бывают крупнее — 7 мм. В тех случаях, где несколько шаров соприкасаются, сливаясь, в разрезе получаются участки неправильной формы (см. фиг. 5) или цепочки (фиг. 8). Характерны также полушария, как бы нарастающие с двух сторон на тонкий слой фельзита, мощностью в сотые доли миллиметра.

Шаровидные обособления, также как описанные выше обособления, неправильной формы, отграничены от окружающей основной массы резкими и плавными контурами. Большинство из них в той или иной мере раскристаллизовано в центральной части с образованием сферолитов. При этом в каждом шаре образуется один сферолит с центром, приуроченным к центру шара. Периферическая часть «шаров» обычно изотропна, иногда при очень больших увеличениях в ней заметны отдельные тонкие слабополяризующие волоконца.

Показатель преломления стекловатой периферической части шара $N=1,520 \pm 0,002$. Наблюдаются все переходы от почти изотропных к полностью раскристаллизованным, но обладающим плавными контурами, шаровым обособлениям. В некоторых уже раскристаллизованных шариках в проходящем свете заметны концентрические трещинки, пересекающие волоконца сферолитов.

При окрашивании шлифов кобальтинитритом шаровые обособления этого типа окрашиваются слабо и неровно.

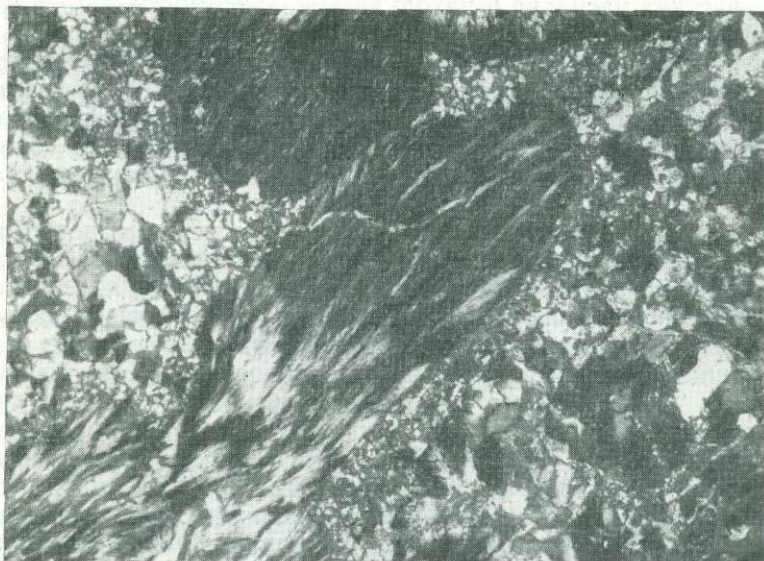
Некоторые факты свидетельствуют о том, что обособления первого и второго типа образовались неодновременно и, в частности, что первые являются более ранними. Так, в одном из шлифов удалось наблюдать «налипание» крупного (6—7 мм в поперечнике) изотропного «шара» правильной формы на вытянутые согласно с флюидальностью выделения первого типа. При этом цепочка подобных выделений продолжается за пределами шара в основной массе.

Есть основания утверждать, что обособления первого и второго типов отличаются между собой и по составу, о чем свидетельствует различие в их поведении при окрашивании шлифа кобальтинитритом, а также и тот факт, что агрегаты тонковолокнистого минерала, образующегося при раскристаллизации обособлений первого типа, представлены исключительно альбитом.

В некоторых участках обособления первого типа первоначально были, по-видимому, полыми, о чем свидетельствует наличие обломков их периферической каймы в пределах центральных частей подобных обособлений, выполненных впоследствии, вероятно в позднемагматическую фазу, альбитом и кварцем. Вдоль внутренней границы каймы в ней наблюдается местами стекловатая, закаленная полоска. Наконец, отмечены разности, где обособления первого типа образуются вокруг вкрапленников, приобретая округлую или бисквитообразную форму.

3. Наряду с перистыми агрегатами альбита, имеющими плавные очертания и образующимися за счет раскристаллизации обособлений первого типа, в породе присутствуют и собственно сферолиты, обладающие характерными занозистыми контурами.

Подобные сферолиты беспорядочно распределены в основной массе или образуют цепочки и достигают в поперечнике до 1 мм. Образование их, по-видимому, началось в ранний период кристаллизации, непосредственно вслед за выделением вкрапленников, на которые они местами нарастают. Интересно, что цепочки подобных сферолитов существуют в некоторых шлифах совместно с цепочками, образованными изотропными «шарами». В некоторых «шарах» отмечаются включения сферолитов, расположенные до половины в их пределах и продолжающиеся в основной массе.



Фиг. 7. Перистые агрегаты альбита, образовавшиеся при раскристаллизации ранних обособлений. Увел. 10, николи +



Фиг. 8. Шаровые обособления, образующие цепочки. В цементирующей массе видна перлитовая отдельность. Увел. 45, николи +

Таким образом, богатые натрием обособления первого типа и альбитовые сферолиты возникали, по-видимому, почти одновременно в различных участках расплава и находились в зависимости от местных условий кристаллизации.

Следует вместе с тем отметить, что в отдельных случаях картина эта значительно усложнялась более поздними процессами альбитизации, в результате которых происходило разрастание обособлений первого типа с переходом их в сферолиты с зазубренными контурами и «врастание» этих сферолитов в обломки фельзита, включенные в основную массу лиларита.

4. Специального рассмотрения заслуживают крупные шары от одного до нескольких сантиметров в диаметре, характеризующиеся своеобразными микропойкилитовыми структурами. Большинство из них отличается наличием «пояса» или «шва», выступающего над поверхностью шара и опоясывающего его по экватору. У некоторых из этих шаров отмечаются небольшие «пережимы» по линии подобного шва. На полированной поверхности разреза такого шара с «пережимом» под бинокулярном отчетливо видно, что шар состоит из двух полушарий, нарастающих на слой белых округлых обособлений, достигающих в поперечнике около 1 мм каждый. Мощность слоя колеблется в разных шарах от 2 мм до 1 см. При попытке окрасить эту поверхность после травления плавиковой кислотой кобальтинитритом полушария частично окрасились, а разграничивающая их плоскость осталась не затронутой окрашиванием.

Под микроскопом видно, что обособления, слагающие пограничный слой, относятся к характерным представителям первого типа подобных образований.

Полушария отличаются микропойкилитовой структурой и состоят из неправильных, иногда удлинённых, зерен кварца с поперечником по удлинению 0,2—0,5 мм и включенных в них мелких прямоугольничков полевого шпата, имеющих в длину менее 0,01 мм. Местами расположение полевых шпатов отличается радиальной направленностью. Внутри полушарий отмечаются вкрапленники кварца и полевого шпата. Микропойкилитовая структура крупных шаров сохраняется и в тех случаях, когда несколько подобных образований сливаются вместе.

В некоторых шарах прямоугольнички полевого шпата сливаются между собою, образуя ветвистые агрегаты. Иногда наблюдается также увеличение количества полевого шпата по направлению от центра шара к периферии, в отдельных случаях количество полевого шпата превосходит количество кварца.

Наконец, установлены такие разности, где на слой с обособлениями первого типа нарастают крупные полушария с микропойкилитовой структурой, а на те в свою очередь нарастают еще более крупные (см. фиг. 3, б и в). Граница между этими полушариями, при наблюдении без анализатора, резкая, а при скрещенных николях она неотчетлива, что связано с положением зерен кварца, пересекающих границу между полушариями. При окрашивании описываемых шлифов кобальтинитритом удалось обнаружить, что некоторые из них содержат по преимуществу калиевый полевой шпат, однако отмечены и такие шары, в которых по периферии преобладает альбит, а по направлению к центру увеличивается количество калиевого полевого шпата.

При окрашивании «двойных» полушарий можно подметить, что внешнее более крупное полушарие содержит в своем составе преимущественно калиевый полевой шпат, а внутреннее — преимущественно альбит, среди которого калиевый полевой шпат сохранился в виде островков. В то же время участки, сложенные альбитом, пересекают границу, внедряясь во внешнее полушарие в виде отдельных языков.

Из приведенных фактов следует, что первоначально состав крупных шаров был существенно калиевый и что позднее они подверглись воздействию альбитизирующих растворов, причем во втором из описываемых случаев эти растворы поступали из пределов слоя, разграничивающего полушария.

О значительной роли поздней альбитизации говорят упомянутые факты переходов от обособлений первого типа к альбитовым сферолитам, а также наличие подобных же переходов от шаров с пойкилитовыми структурами, у которых дендритовидные сростки альбита продолжают за пределы шара в виде отдельных лучей.

Следует также сказать несколько слов о характере породы, цементирующей мелкие обособления первого типа в пределах слоя, разграничивающего полушария. В некоторых слоях этот цемент сложен существенно альбитовым фельзитом, в других он характеризуется пойкилитовыми структурами и является прямым продолжением полушарий. В одном из шлифов было установлено, что брусочки полевого шпата, заключенные в кварце, ориентируются параллельно границе с ранними обособлениями первого типа.

5. Наряду с описанными процессами альбитизации, имеющими, по видимому, позднемагматический характер, в породе широко развиты послемагматические гидротермальные изменения. Из их числа характерно развитие серицита и кварца по перлитовым трещинам в фельзитовой основной массе, а также серицитизация, хлоритизация и пелитизация полевых шпатов в составе микропойкилитовых агрегатов и вкрапленников. В породе наблюдаются кварцевые, кварц-альбитовые и хлоритовые прожилки, секущие как основную массу, так и шаровидные обособления. Местами прожилки кварца оконтуривают изотропные «шары». Характерна значительная свежесть перистых агрегатов альбита, слагающих обособления первого типа.

Для изучения аксессуарных минералов описываемых пород нами были взяты пробы для протолок из «шаров» и из цемента весом по 10 кг каждая.

Основным различием этих проб оказалось значительное содержание в протолочке, полученной из шаров, флюорита, в то время как в протолочке из цементирующего липарита этот минерал отмечен в виде единичных зерен. Обломки флюорита крупные — до 0,5 мм, бесцветные или очень слабо лиловатые. В протолочке из «шаров» присутствует также большее количество пирита, чем соответственно в цементе. Кроме того, в «шарах» установлено таким путем присутствие единичных зерен касситерита, молибденита, халькопирита и галенита, которые не были отмечены в протолочке из цемента. С другой стороны, турмалин, пироксен, роговая обманка и мусковит отмечены только в протолочке из цемента.

Кроме того, в обеих пробах установлены: биотит, бесцветный или слабо-розоватый циркон, апатит, сфен, лейкоксен, рутил, анатаз, магнетит и ржаво-бурые корки гидроокислов железа.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ШАРОВЫХ ЛАВ БАСЕЙНА Р. КЕНЦУХЕ

Подводя итоги петрографического изучения шаровых лав бассейна р. Кенцухе, можно следующим образом резюмировать некоторые основные особенности процесса их кристаллизации.

1. На ранних стадиях кристаллизации происходило выделение вкрапленников кварца и альбита, после чего началась кристаллизация альбитовых сферолитов, местами нарастающих на вкрапленники, и образовались обособления первого типа, в том числе и внешние оболочки полых шаров, характеризующиеся существенно альбитовым составом

и обычно неправильной формой в плоскости шлифа. Эти процессы сопровождались, по-видимому, движением магмы, о чем свидетельствуют вытянутые согласно с флюиальностью формы каплевидных альбитовых обособлений и слияние их в слои также параллельные плоскостям флюиальности.

Возможно, что перечисленные ранние процессы происходили еще в подводящем канале до излияния магмы на поверхность. Первоначально упомянутые обособления были, по-видимому, изотропными, о чем свидетельствуют отдельные почти не раскристаллизованные образования этого типа. К какому моменту приурочена их раскристаллизация, трудно судить с определенностью. Вместе с тем представляется вероятным, что упомянутые обособления существенно альбитового состава застыли раньше, чем окружающий их близкий к эвтектике расплав.

2. Вслед за тем на слои, состоящие из застывших ранних обособлений и небольшого количества цементирующего их расплава, произошло «налипание» полушарий, состав которых был обогащен калием. Вероятно, что мелкие изотропные «шары» с показателем преломления, близким к калиевому полевому шпату, и крупные шары с микропойкилитовой структурой имеют одинаковое происхождение. Последние имеют большое сходство с шаровыми образованиями из лав Кураминского хребта, описанных О. П. Елисеевой (1960). Этот автор рассматривает образование подобных структур как результат раскристаллизации стекла. В пользу такого предположения в нашем случае говорит, наряду с плавными и резкими границами «шаров», тот факт, что отдельные зерна кварца, включающие калиевый полевой шпат, пересекают границы двух полушарий, из которых большее нарастает на меньшее. Интересно наличие концентрических трещинок в изотропных «шарах», напоминающих перлитовую отдельность, а также отдельные случаи ориентировки «брусочков» полевого шпата микропойкилитовых шаров вдоль границ ранних обособлений. Наряду с этим неоднократно наблюдалось радиально-лучистое расположение «брусочков» с центром, находящимся на упомянутой границе, при этом локальная ориентация такого рода возможно возникает в тех случаях, когда при раскристаллизации стекла расположение брусочков ориентируется вдоль скрытых трещинок перлитовой отдельности. Подобные явления наблюдались нами ранее в шаровых лавах Южного Сихотэ-Алиня (Бурьянова, Фаворская, 1961), где иголки рудного минерала, выделявшиеся при разрушении стекла, у границ шаровых образований ориентировались по перлитовой отдельности.

Следует особо отметить формы описываемых богатых калием обособлений, среди которых отчетливо преобладают правильные полушария. Эти формы свидетельствуют о том, что в отличие от ранних, существенно натриевых, обособлений, более поздние шаровые образования возникали в спокойной обстановке, после того как движение магмы прекратилось или во всяком случае значительно замедлилось. Одновременно с образованием богатых калием шаров происходило нарастание каемок калиевого полевого шпата на вкрапленники альбита и, вероятно, кристаллизация некоторых его вкрапленников, также как и замещение существенно альбитовых внешних оболочек полых шаров калиевым полевым шпатом.

3. В заключительную стадию собственно магматического процесса происходило нарастание альбитовых сферолитов на шаровые обособления первого и второго типа, выделение фельзита существенно альбитового состава, а также, по-видимому, выделение кварца, альбита и некоторых более низкотемпературных минералов в замкнутых полостях отдельных шаров. Вслед за тем на все перечисленные образования произошло наложение послемагматических процессов: альбитизации, сери-

цитизации, окварцевания и т. п., преимущественно приуроченных к трещинкам в породе.

4. Из сказанного видно, что в процессе застывания шаровых лав соотношение калия и натрия в расплаве менялось два раза: после выделения неправильных обособлений первого типа ведущая роль в расплаве перешла от натрия к калию, а после кристаллизации «шаров» второго типа расплав снова обогатился натрием.

О ХИМИЗМЕ ШАРОВЫХ ЛАВ БАССЕЙНА Р. КЕНДУХЕ

Приведем теперь некоторые данные по химизму описываемых образований. В табл. 1 приведены полные силикатные анализы, произведенные отдельно для шаровых обособлений второго типа, по размеру не превышающих 1 см в поперечнике, и анализ цементирующего их липарита. К сожалению, в нашем распоряжении не оказалось анализа типичного липарита брусилловской свиты из участка, близкого к описываемому обнажению, и для сопоставления мы вынуждены воспользоваться

Таблица 1

Химический состав обсидианов и липаритов
(шаров и цемента)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	75,06	75,14	Не опред.	Не опред.	75,72	76,82	81,20	80,76	85,04
TiO ₂	0,17	0,18	То же	То же	Следы	Не опред.	Следы	Не опред.	Не опред.
Al ₂ O ₃	13,20	13,02	» »	» »	13,94	То же	10,11	То же	То же
Fe ₂ O ₃	1,65	2,33	» »	» »	0,73	» »	0,01	» »	» »
FeO		0,29	» »	» »	0,05	» »	0,29	» »	» »
MnO	0,05	0,03	» »	» »	0,03	» »	Следы	» »	» »
MgO	0,14	0,27	» »	» »	0,02	» »	0,05	» »	» »
CaO	0,17	0,45	» »	» »	0,14	» »	0,09	» »	» »
Na ₂ O	2,46	2,66	3,26	3,52	5,60	3,81	3,32	4,88	2,47
K ₂ O	5,20	4,78	4,72	2,08	3,26	4,18	3,57	1,32	1,40
H ₂ O ⁻	0,38	0,35	Не опред.	Не опред.	0,24	Не опред.	0,20	Не опред.	Не опред.
H ₂ O ⁺	1,16	1,07	То же	То же	0,55	То же	0,77	То же	То же
CO ₂	0,34	Не опред.	» »	» »	Нет	» »	Нет	» »	» »
Cl	Не опред.	То же	» »	» »	0,03	» »	0,04	» »	» »
F	То же	» »	» »	» »	Нет	» »	Нет	» »	» »
Сумма	99,98	100,57			100,31				

1 — липарит из района Синанчинского перевала (из материалов В. А. Кигай). Аналитик Т. В. Решетина; 2 — липарит из района озера Топауза. Аналитик Н. И. Забавникова; 3 — липарит из района месторождения перлитов г. Нежданки. Аналитик Л. М. Крутецкая; 4 — обсидиан из того же месторождения. Аналитик Л. М. Крутецкая; 5 — липарит из цемента шаровых лав бассейна р. Кендухе. Аналитик М. С. Гусева; 6 — то же. Аналитики Л. М. Крутецкая и Н. Н. Никольская; 7 — липарит из состава шаров с размером поперечника около 1 см (бассейн р. Кендухе). Аналитик М. С. Гусева; 8 — то же. Аналитики Л. М. Крутецкая и Н. Н. Никольская; 9 — липарит из шара диаметром 8 см, на расстоянии 1 см от поверхности. Аналитики Л. М. Крутецкая и Н. Н. Никольская.

соответственными анализами пород этой свиты, образцы которых взяты на расстоянии около 30 км.

Как видно, липарит из цемента отличается составом, близким к нормальному типу этих пород. Характерно общее высокое содержание щелочей, достигающее около 9% при резком преобладании натрия над калием, а также незначительное количество конституционной воды.

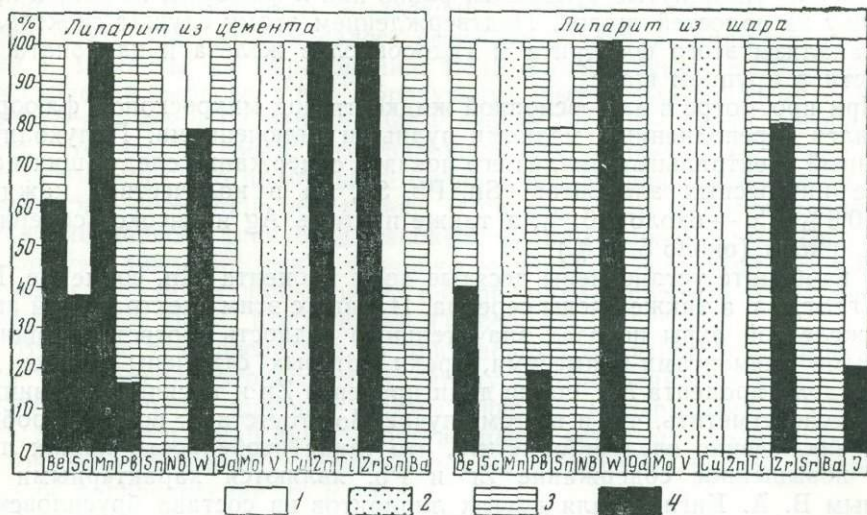
В липарите из «шарика» привлекает внимание большое количество кремнекислоты и несколько меньшее, чем в цементе, количество глинозема и щелочей, причем калий и натрий присутствуют в примерно равных количествах.

Приведенные анализы типичных липаритов брусилловской свиты по содержанию кремнекислоты соответствуют цементу шаровых лав или уступают ему. Характерно также высокое содержание щелочей, причем соотношения калия и натрия не одинаковы для липаритов различных участков.

Возвращаясь к вопросу о составе самих шаровых лав, нельзя не отметить, что приведенные химические анализы позволяют судить о нем со значительной долей приближенности. Мы видим из петрографического описания, что состав шаровых образований подвержен значительным колебаниям и находится в зависимости от наложенных позднемагматических процессов. Кроме того, при отборе «шариков» для анализа под биноклем их невозможно было полностью освободить от более ранних и более мелких обособлений существенно альбитового состава. Значение этих приводящих причин отчетливо видно при сопоставлении данных полных силикатных анализов с частными определениями кремнекислоты и щелочей, произведенными повторно для цемента и мелких «шариков» и дополнительно для внешней зоны крупного шара. По-видимому, устойчивым признаком является содержание кремнекислоты, повышенное в шарах и особенно во внешней зоне крупного шара и близкое к нормальному липариту в цементе, в то же время содержание и взаимоотношение щелочей подвержено значительным колебаниям, хотя сумма их во всех случаях ниже в составе шаров, чем в составе цемента, и достигает минимума во внешней зоне крупного шара. Эти данные находятся в полном соответствии с высказанным ранее предположением о том, что пойкилитовое строение некоторых шаров является следствием раскристаллизации стекла, в результате которого образуется мостовидный агрегат кварца с включенными в его зернах «брусочками» щелочного полевого шпата, количество которого в различной степени увеличивается под влиянием позднемагматических процессов. Интересно отметить, что особенности химизма шаровых лав бассейна р. Кенцухе во всех деталях повторяют особенности уже упоминавшихся аналогичных образований Кураминского хребта (Средняя Азия), описанных О. П. Елисейевой. В обоих случаях отмечается высокое содержание кремнекислоты в шарах с микропойкилитовой структурой, в особенности в их краевых зонах (свыше 90% в лавах Кураминского хребта и свыше 85% в Кенцухинских лавах), сопровождающееся пониженным содержанием глинозема и суммы щелочей. Различия в содержании кремнекислоты во внешней и внутренней частях шаров (Кураминский хребет) и соответственно в мелких шарах и внешней зоне крупных шаров (бассейн р. Кенцухе) в сочетании с микропойкилитовыми структурами заставляют предполагать наряду с влиянием позднемагматических процессов наличие первичной зональной неоднородности крупных шаровых обособлений.

Нами была также предпринята попытка изучения распределения в шаровых лавах элементов примесей. С этой целью в спектральную лабораторию ИГЕМ АН СССР были переданы на анализ пять образцов мелких «шариков» (около 1 см в поперечнике) и соответственно пять

образцов цементирующего липарита, а также по одному образцу карбоната и рудной охры из полости одного крупного шара и образец флюорита из искусственного шлиха. Анализы произведены Ф. И. Суминой, причем определялись 37 элементов и в некоторых образцах дополнительно La, Ce, Y, Th. В результате, помимо обычных элементов, входящих в состав силикатов, как в шарах, так и в цементирующей массе были установлены следующие акцессорные элементы: Be, Sn, Nb, W, Zr, Pb, Zn, Cu, Mn, V, Ti, Sc, Ga, Sr, Ba и Y. При сравнении с кларком для кислых изверженных пород по А. П. Виноградову установлено



Фиг. 9. Диаграмма содержаний элементов-примесей

1 — содержания ниже чувствительности метода; 2 — содержания ниже кларка; 3 — содержания равные кларку; 4 — содержания выше кларка

в обоих случаях повышенное содержание Be, W, Zr в цементирующей массе Zn и в отдельных образцах Sc. В одном из образцов из шара установлено повышенное содержание иттрия.

Кроме того, в количествах равных кларку установлены в обеих группах пород: Sn, Nb, Pb, Mn, Ga, Ba. Стронций содержится в некоторых образцах в кларковых количествах, в других он не обнаружен. Характерно пониженное содержание Cu и V. Результаты анализов изображены на диаграмме¹ (фиг. 9).

Для проверки полученных результатов в той же спектральной лаборатории был произведен повторный анализ образцов (по три из каждой группы пород) на специальном автомате, значительно повышающем обычную точность анализов данной лаборатории. Точность определений на автомате для элементов, определенных повторно: Sn — $1 \cdot 10^{-4}$; Nb — $7 \cdot 10^{-4}$; W — $2-3 \cdot 10^{-4}$; Zn — $1 \cdot 10^{-3}$. В результате в обеих группах пород во всех образцах без исключения были установлены кларковые содержания ниобия и вольфрама и содержания цинка не только в цементе, но и в шарах в количествах выше кларка. Содержание олова оказалось ниже кларка. Кроме того, были дополнительно установлены во всех образцах Ni в количестве, соответствующем кларку для кислых пород, и серебро также в соответствии с кларком во всех образцах липарита цемента и в одном из образцов шара. Интересно,

¹ Проценты на диаграмме отражают отношение количества проб, содержащих данный элемент, к общему их количеству.

что несмотря на высокую чувствительность метода на молибден, ни в одном из образцов обеих групп он опять не был установлен.

Приведенные данные спектральных анализов шаров и липарита — цемента указывают на значительную близость состава их аксессуарных элементов, среди которых господствует литофильная группа. Необходимо отметить, что, несмотря на указанное выше содержание сульфидов тяжелых металлов в протолочках, сделанных из шаров, и отсутствие этих сульфидов в протолочке из липарита цемента, содержание рассеянных Pb, Zn, Cu в обеих породах одинаково. Это заставляет предполагать, что упомянутые сульфиды, равно как и флюорит, попали в протолочку из полостей шаров. Подтверждением этому служат спектральные анализы этого флюорита и гидроокислов железа и карбоната из полости в крупном шаре.

При просмотре в иммерсионной жидкости под микроскопом флюорит оказался переполненным мелкими рудными включениями. Полуколичественный спектральный анализ его показал содержание следующих наиболее интересных элементов: Sn, Pb, Sb, Zn в количествах каждый 0,2—0,5%, Cu — около 0,01%, а также примесь Ag и высокое содержание циркона (около 5—7%).

В карбонате установлены десятые доли процента Mn, сотые Be, Pb, Sr, Zr, Sr, Ba, а также следы серебра. Наряду с этим спектральный анализ железной охры показал значительную бедность соответствующими рудными элементами-примесями, среди которых отмечены только десятые доли процента Mn, сотые доли процента Zn и тысячные — свинца. Интересно отметить, что и в этом случае Mo отсутствует во всех пробах.

В заключение следует отметить, что такие особенности наших лав, как повышенное содержание Zr и Pb, являются характерными по данным В. А. Кигаи и для других липаритов из состава брусилловской свиты Тетюхинского района. Вместе с тем в 20% из числа анализированных В. А. Кигаи образцов были установлены кларковые содержания молибдена.

К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ ШАРОВЫХ ЛАВ БАССЕЙНА р. КЕНЦУХЕ

Приведенное описание шаровых лав бассейна р. Кенцухе в Приморье, как можно видеть, во многом напоминает описание сходных образований в кислых лавах, приводившихся за последнее время различными исследователями (И. М. Воловикова, О. П. Елисеева, И. З. Бурьянова и М. А. Фаворская и др.).

При этом генезис подобных образований во всех случаях объяснялся участием процессов ликвации. В качестве доказательства приводились следующие наиболее существенные особенности:

1. Различия в химическом составе шаровых обособлений и цементирующего липарита.

2. Наличие ровных и четких поверхностей раздела между «шарами» и цементом, причем отдельные кристаллики, слагающие шары, нигде не выходят за пределы их округлых контуров.

3. Изотропный характер отдельных шаровых образований, исключаяющий возможность их толкования в качестве сферолитов или участков поздней раскристаллизации в стекле, и наличие постепенных переходов от изотропных разностей к разностям, в различной степени раскристаллизованным.

4. Характер раскристаллизации не полностью изотропных обособлений с образованием сферолитов в центральной части «шаров» и сохранением изотропной зоны по периферии.

5. Постоянно наблюдаемые «слияния» шаровых обособлений с образованием в отдельных случаях слоев соответствующего состава.

Как видно из содержания данной статьи, все перечисленные доказательства ликвационного происхождения в равной мере применимы как к существенно натровым обособлениям первого типа из лав бассейна р. Кенцухе, так и к кварцево-калишпатовым обособлениям второго типа, что позволяет нам, в свою очередь, привлечь для объяснения их образования упомянутые процессы. Вместе с тем наблюдения над составом и строением шаровых лав рассматриваемого участка позволяют отметить и некоторые специфические особенности, имеющие, как нам кажется, значение для объяснения механизма этого процесса и фиксирующие отдельные его этапы.

Формы шарообразных выделений первого и второго типа свидетельствуют, как уже отмечалось выше, о различиях динамических условий в моменты их образования. Если в отношении наиболее ранних обособлений первого типа, образующих вытянутые согласно с флюидальностью формы с переходами к слоям, можно с уверенностью говорить, что они до своего затвердевания участвовали в движении лавы, то несомненно, что правильные шары и полушария второго типа образовались в спокойной обстановке. В связи с этим происхождение обособлений первого типа с одинаковым правом можно приписывать как процессам ликвации, так и явлениям, связанным с разрывом струй различного состава в движущейся вязкой магме, подобно тому, как это предполагает Д. С. Коржинский (1962).

Вместе с тем последнее из приведенных объяснений не применимо для обособлений второго типа. Этому противоречат их крупные размеры, правильные шаровые формы, никогда не переходящие в вытянутые, линзовидные или иные, свойственные текстурам течения, также как и зональное строение, «налипание» одного шара на другой и неравномерное распределение их в лаве.

Большинство авторов, привлекающих для объяснения генезиса шаровых лав гипотезу ликвации, указывают на высокое содержание в магме летучих. Этим свойством обладали, по-видимому, и описываемые лавы. Приведенные факты позволяют предполагать, что шары, содержащие отдельные пустоты, выполненные впоследствии кварцем, карбонатом, флюоритом и продуктами окисления сульфидов, образовались, возможно, вокруг «пузырей» паров и газов H_2S , F , H_2O , заключенных в магме. К подобному предположению приводит нас приуроченность аксессуарных сульфидов и флюорита с включениями последних к шарам и отсутствие их в цементирующем липарите, что было бы совершенно необъяснимо, если бы эти минералы носили наложенный характер. Кроме того, и самое существование полых шаров легче всего объяснить наличием в вязкой магме газовых пузырей, как это делает, например, Иддингс (Iddings, 1909), описывая полые сферокристаллы из обсидианов Йеллоустонского национального парка.

Заслуживает внимания и то обстоятельство, что в случаях, когда мы имеем дело с полушариями, они сосредоточиваются в определенных плоскостях, как бы налипая на слои, обогащенные ранними обособлениями первого типа. Это наводит на мысль, что обособлению богатого калием и кремнекислотой расплава способствовало присутствие поверхностей раздела с твердыми или газообразными участками неоднородной смеси.

Наконец, сделанные нами наблюдения, свидетельствующие о процессах замещения, сопровождающих явления предполагаемой ликвации, полностью подтверждают высказанную ранее Д. С. Белянкиным (1933) мысль, что наряду с дифференциацией немалое значение имели процессы метаморфизации, сопровождающиеся приносом щелочей.

М. А. ФАВОРСКАЯ

**ШАРОВЫЕ ЛАВЫ БАСЕЙНА р. МАЛАЗЫ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Шаровые липариты бассейна р. Малазы (Сучанский район Приморского края) представляют собой совершенно уникальные образования с шарами, достигающими в поперечнике до 80 см и разнообразной гидротермальной минерализацией в полостях шаров.

Выходы этих пород по ключам Медвежьему и Каменистому (левым притокам р. Малазы) были осмотрены нами в 1960 г. в течение однодневного маршрута, совместно с сотрудницей Приморского геологического управления — И. З. Бурьяновой.

Следует также отметить, что описываемый район отличается исключительно плохой обнаженностью и шаровые лавы удалось наблюдать только в отвалах и канавах, пройденных с целью разведки на перлитовое сырье.

Поэтому материал, которым мы в настоящее время располагаем, является недостаточно полным. Однако даже предварительные данные по этим своеобразным породам представляют несомненный интерес в свете рассматриваемой в данном сборнике проблемы.

**1. О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ
И СТРОЕНИИ ШАРОВЫХ ЛАВ**

Бассейн р. Малазы, левого притока р. Сучан, в структурном отношении располагается в пределах Малазовского синклиналичного прогиба, имеющего северо-восточное простирание и представляющего собой структуру второго порядка в пределах более крупного Сучано-Судзунского антиклинория. В ядрах антиклиналей выходят терригенные отложения верхнего палеозоя, а в синклиналиях также терригенные триасовые и меловые отложения. На размытой поверхности осадочных образований залегают кислые эффузивы, в свою очередь перекрытые мощными покровами мио-плиоценовых андезитов и базальтов, излияния которых связаны с крупными северо-западными разломами, поперечными к господствующей складчатости.

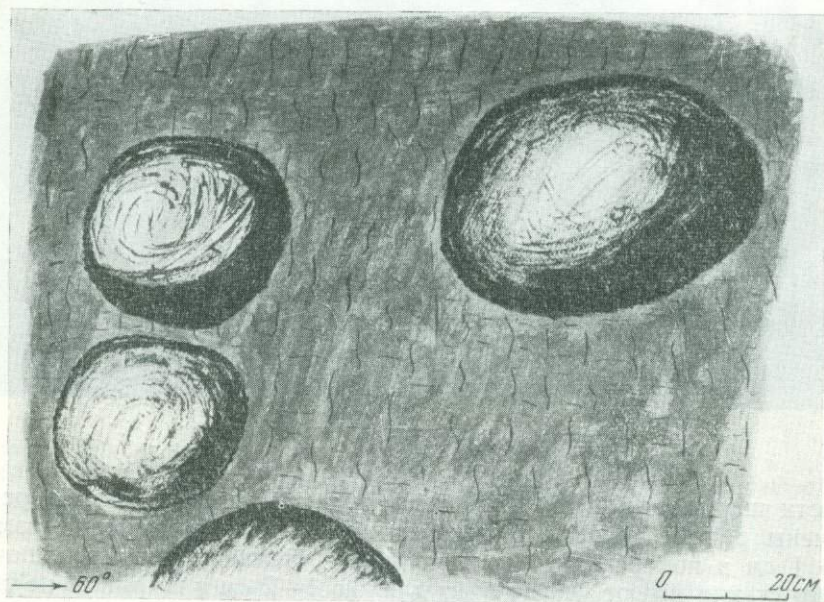
Липариты и обсидианы бассейна р. Малазы принадлежат, по-видимому, к аналогам так называемой брусилловской свиты и по возрасту относятся к олигоцену.

Перейдем к описанию обнажений.

1. На 200 м выше по склону левого штока ключа Каменистого, в расчистке обнажаются трещиноватые, разрушенные обсидианы с включенными в них круглыми и овальными обособлениями, сложенными коричневым липаритом и достигающими в поперечнике до 80 см (фиг. 1).

Вулканическое стекло на контакте с шарами обесцвечено и частично ожелезнено или превращено в желтую глину. Неизмененное стекло окрашено в черный цвет.

2. На расстоянии 1,5 км к юго-востоку от устья ключа Медвежьего, в забое канавы, расположенной выше дороги, в коренном залегании видны черные обсидианы, местами одресвелые и рассыпающиеся в порошок. В нижней части забоя, у полотна канавы, в обсидиан вцементирован шар, имеющий 20 см в поперечнике и сложенный коричневым

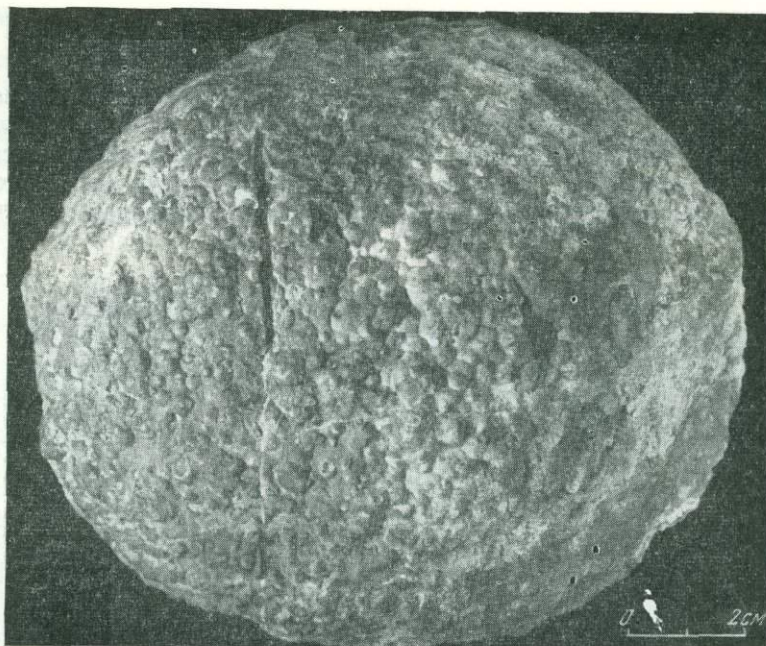


Фиг. 1. «Шары» в обсидиане

липаритом. Выше по склону на продолжении канавы обнажается черный обсидиан с раковистым изломом, лишенный шаров. В нем присутствуют вкрапленники полевых шпатов размером 0,5—1 мм и обломки коричневого стекла в несколько миллиметров, а также более мелкие обломки измененных пород. Характерны также миндалины, выполненные цеолитами и достигающие 5 мм в поперечнике.

В отвалах этой канавы встречены многочисленные шары, сложенные коричневым липаритом. Среди них преобладают разности, достигающие в поперечнике 50 см. Максимальный их размер 70 см — минимальный 12 см. Поверхность шаров бугристая, как бы облепленная при застывании мелкими каплями вязкого расплава (фиг. 2). Некоторые из них опоясаны по максимальной окружности выпуклым ободком шириною 0,5 см. На поверхности наблюдаются примазки белого цеолита, в виде корочек мощностью 2—3 мм. Все без исключения шары имеют замкнутые полости, выполненные гидротермальными образованиями. Эти полости не везде приурочены к центральной части шаров, а местами локализуются по периферии, на небольшом (1—2 см) расстоянии от поверхности шара и обычно имеют форму неправильных, изогнутых линз.

Липарит, слагающий шары, светло-коричневый с раковистым изломом и многочисленными вкрапленниками прозрачного белого полевого шпата около 0,5 мм в длину. Некоторые шары сложены коричневаточерным липаритом и по периферии окружены каймой коричневой



Фиг. 2. Шар с бугристой поверхностью

разности шириною в 1 см. Переход между обеими разностями резкий. Отмечены редкие угловатые обломки более темного стекла размером около 1 см в поперечнике в коричневом стекле. Местами включения темного стекла имеют форму линз длиною 1—2 см и шириною не свыше 0,5 мм. Они располагаются субпараллельно, но под углом к поверхности шара и изгибаются около вкрапленников.

В некоторых шарах отмечены также обломки измененного туфопесчаника, обломки фельзита, кварца, альбита и калишпата.

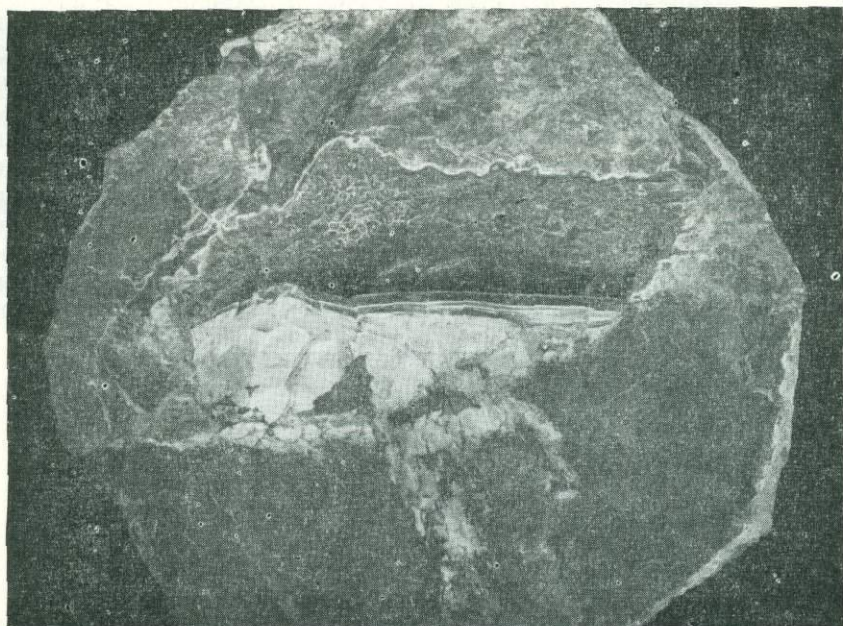
3. ОПИСАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

При изучении низкотемпературных минеральных агрегатов, заполняющих полости шаров, удалось определить следующие минералы: кварц, халцедон, несколько разновидностей опала, отличающихся между собой окраской и количеством инородных включений, флюорит, сидерит, гидроокислы железа и два различных цеолита.

Характер их взаимоотношений указывает на сложный ход процесса их выделения, сопровождавшегося почти одновременным выпадением некоторых разновидностей, образующих тонко переслаивающиеся агрегаты, растворением, переотложением и т. п. В крупных шарах формирование минерального агрегата шло более сложным путем и приводило к большему разнообразию минерального состава, чем в мелких. Последние нередко бывают заполнены горным хрусталем, нарастающим на узкую фестончатую каемочку желтого опала.

Приведем описание некоторых наиболее интересных образцов.

1. Образец 63/XX представляет собой осколок от шара, имеющего в поперечнике около 30 см и содержащего в центральной части линзовидную полость длиною 20 см и шириною в самом широком месте около 8 см. Около половины этой полости заполнено опалом, принадлежащим к так называемой «пламенной» разности. Опал оранжево-желтый,



Фиг. 3. На «пачке» плоскопараллельного агрегата опала, халцедона и цеолита под углом 60° располагается более поздняя «пачка», частично растворенная и покрытая натечным агрегатом тех же минералов

полупрозрачный и ирризирующий в тонких сколах¹. От второй половины полости, в которой сохранилось пустое пространство, его отделяет тонко переслаивающийся агрегат желтого опала и розового прозрачного халцедона. Эта слоистая «пачка» ограничена сверху и снизу ровными плоскостями. Мощность ее 0,5—0,7 см.

На «площадке», образованной этими отложениями под углом около 60° к ее поверхности, располагаются, в виде параллельных между собой гребней, три выступа такой же слоистой породы, покрытой снаружи охряно-желтым натечным агрегатом, определенным в иммерсии как чередование тончайших слоев халцедона, цеолита и опала. Подобный же натечный агрегат покрывает стенки сохранившейся части полости, образуя на них корку мощностью в 2—3 мм (фиг. 3).

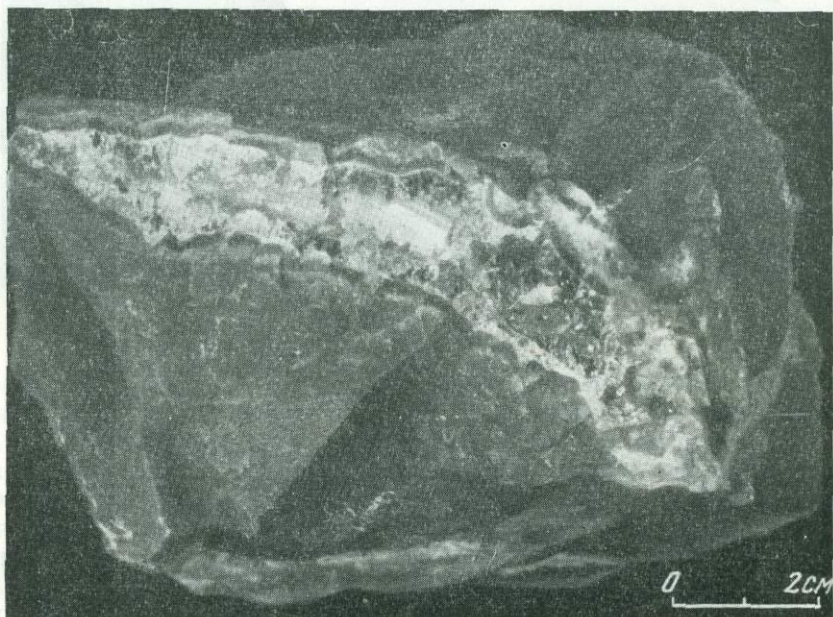
Описанные выступы представляют собой реликты слоистой «пачки», подобной той, которая сохранилась полностью, но располагавшейся по отношению к первой под крутым углом. Эта вторая «пачка» оказалась впоследствии частично растворенной. Сохранившиеся от нее участки «гребни» отстоят друг от друга на расстоянии около 0,5 см. Растворению подвергалась, по-видимому, и поверхность первой «пачки», в настоящее время покрытая белесоватым тонкозернистым налетом. В иммерсии он определяется как опал с показателем преломления более низким, чем у пламенной разности. Он бесцветен, лишен включений и, по-видимому, является переотложенным. От участка, заполненного пламенным опалом, в липарит отходят прожилки светло-желтого опала и, постепенно делаясь тоньше, достигают местами поверхности шара.

2. Образец 63/XVII представляет собою осколок шара, заключающий краевую часть полости линзовидной формы. На поверхности полости отлагается слой светло-желтого опала шириною 1—5 мм. Далее по

¹ Показатели преломления всех описываемых минералов сведены в табл. 1.

направлению к центру располагается каемка темно-серого полупрозрачного халцедона шириною 1 мм. Халцедон и опал местами тонко переслаиваются. Центральная часть полости выполнена прозрачным, бесцветным кварцем и темно-лиловым флюоритом.

3. Образец 63/XIX также представляет собою осколок от небольшого (не свыше 20 см в поперечнике) шара. В сечении, проходящем через его центр, находится полость, длиною немного уступающая диаметру шара и имеющая максимальную ширину 5 см. На поверхности полости имеется прерывистый тонкий слой желтого опала. Иногда он переходит в почковидные, полукруглые в разрезе выделения, сложенные в центральной части молочно-белым и серым халцедоном, а снаружи



Фиг. 4. Растворение плоскопараллельного агрегата халцедона и опала флюоритом

желтым опалом. На одном из участков, непосредственно на этих фестолах, в небольшом количестве выделяется лиловый флюорит. Далее по направлению к центру на флюорит или непосредственно на опал, или на халцедон нарастают прозрачные ограненные кристаллы кварца. Пространство между ними заполнено молочно-белым халцедоном и местами буроватым сидеритом, на отдельных участках разрушенным с образованием гидроокислов железа.

Интересно, что в образце 63/VI, в основном аналогичном описанному, в центре скопления зерен флюорита установлен островок, сложенный полосчатым халцедоном (фиг. 4).

4. Образец 63/IV представляет собой осколок крупного шара, сложенного черным липаритом, переходящим на расстоянии 2 см от поверхности в коричневую разность. Шар достигает в поперечнике около 25 см. Полость в нем расположена асимметрично вблизи от его поверхности и имеет форму неправильной линзы с отдельными заливами-ответвлениями. Длина линзы около 20 см, максимальная ширина — 6 см. На стенках полости наблюдается порошок бурый налет гидроокислов железа. На нем, или непосредственно на стенках полости, фестончато нарастает халцедон, чередующийся с полосками, существен-

но сложенными сидеритом. Фестоны имеют в поперечнике 1—2 см, ширина отдельных полосок в их составе 1—3 мм. Центральная часть полости выполнена прозрачным, местами молочно-белым кварцем (фиг. 5).

Помимо описанных здесь образцов нами была изучена гидротермальная минерализация на примере еще шестнадцати осколков от полых шаров.

Приведем дополнительно описание нескольких наиболее интересных взаимоотношений между минералами.



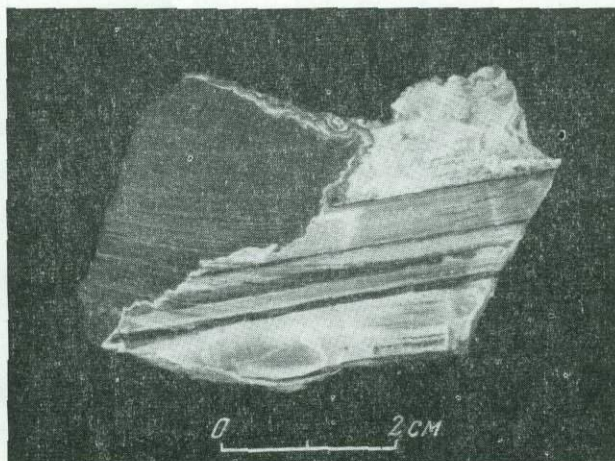
Фиг. 5. Полосчатый агрегат халцедона и сидерита

Расположение пачек полосчатого халцедона и опала под различными углами наклона друг к другу, помимо образца 63/XX, наблюдается еще в двух других.

В образце 63/V характер этого расположения выражен особенно отчетливо. Анализируя эти взаимоотношения, можно следующим образом реконструировать порядок минералообразования: вначале на стенках полости шло отложение белого опала, образовавшего корочку толщиной в 1 мм, на ней отложился полупрозрачный серый халцедон слоем мощностью 2—3 см; затем шар был разбит трещинами, по которым местами произошло смещение. Далее в этих трещинах, в их раздувах и на дне полости отлагались переслаиваясь белый и зеленоватый опал и серый (внутри полости красноватый) халцедон. Положение плоскостей полосчатости этого агрегата в полости и в трещинах было в этот период одинаковым. Затем происходило частичное растворение этого агрегата в полости и переотложение его с ориентировкой полосчатости, перпендикулярной к первоначальной. Ориентировка изменялась постепенно, о чем свидетельствует веерообразное расположение некоторых пачек полосчатого агрегата. Вновь наступившее растворение закончилось отложением на поверхности описываемого агрегата желтых натечных образований, подобных отмеченным в обр. 63/XX.

Интересные явления растворения, переотложения и замещения отчетливо наблюдаются также в некоторых других образцах. Так, в образце 63/V полость имеет неправильную удлиненную форму с многочисленными V-образными заливами.

В углублении одного из таких заливов расположен небольшой участок полосчатого халцедона, с ориентировкой плоскостей полосчатости, перпендикулярной стенкам полости. Над халцедоном располагается почти не заполненный участок полости, внутренняя поверхность которого покрыта мелкими кристалликами горного хрусталя. Этот участок образовался в результате растворения какого-то материала (по-видимому полосчатого халцедона), так как наблюдаются крупные кристаллы горного хрусталя, рост которых происходил от контура описываемого пустого участка наружу. Из этого следует, что в момент кристаллизации кварца на месте пустоты находился какой-то минеральный агрегат. Кроме того, в пределах пустого пространства отмечены



Фиг. 6. «Решетки» переотложенного опала на месте растворенного плоскопараллельного агрегата опала и халцедона

прикрепленные к стенкам и расположенные наподобие полочек друг над другом своеобразные «решетки», сложенные мелкими ажурными выделениями опала (фиг. 6). В иммерсии при больших увеличениях они выглядят как шарики или палочки с халцедоновыми сердцевинами. Этот образец, кроме того, интересен также тем, что наряду с бесцветным кварцем в составе его отмечен аметист.

В образцах 63/VII и 63/XIV липарит и заполняющий полости зеленовато-бурый непрозрачный опал содержат прожилки и примазки желтого непрозрачного минерала с отчетливой отдельностью по ромбоэдру. Судя по показателю преломления и по тому, что минерал изотропен, можно заключить, что это опал. Отчетливая отдельность в его агрегатах заставляет предполагать, что он образует псевдоморфозы по какому-то иному минералу, возможно по карбонату. Это подтверждается также наблюдаемой в иммерсионных препаратах значительной загрязненностью этой разновидности опала многочисленными темными включениями.

Большой интерес для интерпретации описываемых образований имеет характер выполнения прожилков, секущих липаритовые шары. Все они имеют наибольшую мощность в местах их сообщения с полостями, а по направлению к периферии шара делаются тоньше, ветвятся и иногда выклиниваются. Все же нередко случаи, когда прожилки достигают поверхности. По своему отношению к минеральному агрегату, выполняющему полости, прожилки подразделяются на два типа. К первому отно-

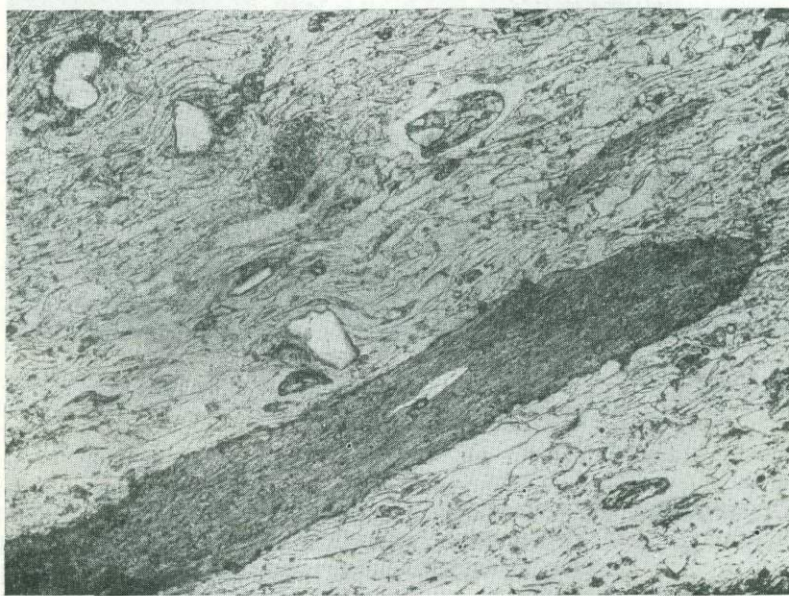
сятся прожилки, выполненные опалом или опалом и халцедоном, а также с халцедоном по периферии и кварцем в осевой части прожилков. Эти прожилки отходят от соответствующих минеральных агрегатов, выполняющих полости. Ко второму типу относятся прожилки позднего цеолита, секущего как липарит шаров, так и продукты выполнения полостей. Подобные же цеолиты образуют примазки на внешней стороне шаров по контакту их с вмещающим обсидианом и отлагаются по трещинкам в этом обсидиане. Из числа других минералов, выполняющих пустоты шаров, на внешней их стороне отмечаются только небольшие примазки опала в тех местах, где прожилки его сообщаются с поверхностью шара.

4. НАБЛЮДЕНИЯ ПОД МИКРОСКОПОМ

Под микроскопом изучались как сами липариты, из состава шаров и цементирующей их лавы, так и гидротермальные минералы, выполняющие пустоты.

Липариты

Липарит, слагающий цемент в наименее измененных частях на контакте с шарами, представлен совершенно изотропным, вулканическим стеклом. Количество вкрапленников составляет около



Фиг. 7. Флюидальное стекло-цемент с линзой темного стекла. Увел. 20, без анализатора

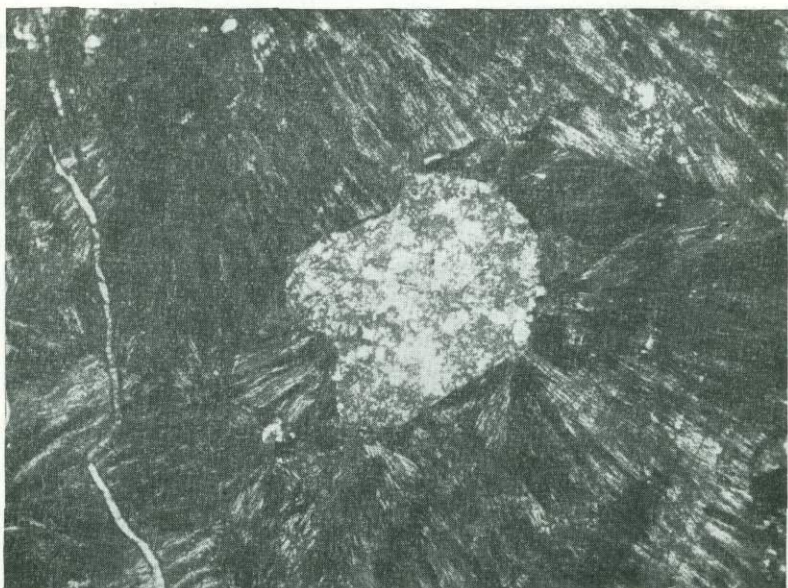
10% от породы. Размер их по длинной оси — 0,5—1 мм. В составе вкрапленников альбит и калиевый полевой шпат встречаются примерно в равных количествах. На основании замеров, произведенных на Федоровском столике, калиевый полевой шпат отнесен к санидину ($2V=34^\circ$, $\rho Nm=90^\circ$). Для липарита характерно обрастание и замещение плагиоклаза калиевым полевым шпатом.

Стекло основной массы отчетливо флюидальное. Флюидальность выражается в смене серых и бесцветных полос в стекле, они огибают вкрапленники и обломки и образуют причудливые петли (фиг. 7).

К темным полоскам приурочены скопления мельчайших чешуек зеленого минерала (хлорит?) и зернышки цеолита, который также образует в породе прожилки и оконтуривает вкрапленники.

Показатель преломления стекла $N=1,499\pm 0,02$. Среди аксессуарных минералов отмечены циркон, окисленные рудные зерна и ортит. Обломки, включенные в липарит, представлены фельзитом, измененным туфопесчаником, состоящим из кварца, полевых шпатов и хлорита, и коричневым стеклом с флюиальностью, ориентированной под углом к флюиальности вмещающей лавы.

Описанные ранее линзовидные включения стекла под микроскопом обнаруживают резкие границы со стеклом-цементом, вытянуты согласно с флюиальностью и изгибаются на контакте с вкрапленниками. Изме-



Фиг. 8. Перистая раскристаллизация липарита, слагающего шар вокруг обломка фельзита. Увел. 70, николи +

ненные обсидианы из цемента под микроскопом выглядят интенсивно цеолитизированными. Изменения приурочены к трещинкам перлитовой отдельности. Цеолит представлен натролитом и местами образует агрегаты радиально-лучистых скоплений. По обсидиану развиваются также очень мелкие зернышки изотропного цеолита, который не удалось определить точнее, и редкие чешуйки хлорита. Никаких других изменений не отмечено. Вкрапленники альбита и калиевого полевого шпата раздроблены и по трещинкам развиваются цеолиты, среди которых преобладает изотропная разновидность.

Обсидиан, лишенный шаров, встреченный в канаве на втором из описанных обнажений, отличается от обсидиана-цемента отсутствием флюиальности и ровной зеленовато-коричневой окраской стекла. Отмечены линзы темно-коричневого стекла длиной 1,5 мм, содержащие мельчайшие миндалины халцедона.

Липарит из шара, имеющего в поперечнике около 30 см, и взятый на расстоянии нескольких сантиметров от его поверхности, сложен отчетливо флюиальным светло-коричневым стеклом.

Флюидальность подчеркивается чередованием нераскристаллизованных и раскристаллизованных участков в виде перистых агрегатов. Показатель преломления стекла $N_{20}^{\circ} = 1,499 \pm 0,002$.

Вкрапленники ничем существенным не отличаются от описанных в обсидиане цемента. Из числа аксессуарных минералов в большом количестве присутствует циркон и отмечены зерна сульфидов.

Характерно присутствие мелких (0,2—0,3 мм в поперечнике) обломков фельзита, кварца, калишпата и альбита. Флюидальность в стекле огибает вкрапленники и обломки, а перистые структуры ориентируются перпендикулярно их границам (фиг. 8).

В стекле отмечены также многочисленные мелкие миндалины, выполненные кварцем и опалом или изотропным цеолитом, в редких случаях также карбонатом. Упомянувшиеся ранее линзовидные включения под микроскопом выглядят как участки бурого нераскристаллизованного стекла, обладающие четкими границами. В тех случаях, когда шары сложены почти черным стеклом с узкой коричневой оболочкой, в шлифе можно видеть, что переход между этими разностями постепенный, но первая из них равномерно окрашена в светло-серый цвет, а стекло краевой зоны содержит многочисленные причудливо изогнутые петли и полосы темноокрашенного стекловатого вещества, на более светлом коричневом фоне.

Минералы, выполняющие пустоты

Под микроскопом описанные выше явления совместного выделения, растворения и переотложения минералов прослеживаются еще более отчетливо.

На основании изучения около сорока шлифов и сопоставления этих данных с макроскопическими наблюдениями, процессы минералообразования в пустотах в наиболее сложных случаях представляются следующим образом.

1. В минеральных агрегатах, в которых не участвуют флюорит и сидерит, первым выделяется в большинстве случаев опал. Обычно это буровато-зеленая разность, богатая посторонними включениями. Вслед за тем в отдельных случаях наблюдается выделение пламенного опала, почти лишенного посторонних включений. Под микроскопом видны многочисленные трещинки усыхания, разбивающие зерна опала на многогранники.

Более обычны разности, в которых на стенку полости, сложенную липаритом, нарастает тонкий слой (мощностью 1—3 мм) буровато-зеленого опала, сменяющийся натечным фестончатым агрегатом, состоящим из чередующихся тончайших прослоев опала и халцедона, иногда также опала, халцедона и цеолита (фиг. 9).

Нередко удается наблюдать, что халцедон неравномерно развивается по опалу в отдельных участках. Местами, в слоистых агрегатах, перистые выделения халцедона нарастают навстречу друг другу, от поверхностей разделов с прилегающими прослоями опала. Это дает возможность считать, что известная часть халцедона образовалась путем раскристаллизации более раннего опала (фиг. 10).

Вслед за выделением описанных фестончатых агрегатов происходит образование слоистых плоскопараллельных «пачек», состоящих в некоторых разностях из кварца и опала, или из опала, халцедона и цеолита, или, наконец, из бесцветного и розового халцедона. В шлифах хорошо видно, что слоистый агрегат этого типа как бы упирается в стенку полости, создавая такое впечатление, будто отложение его шло из водного раствора, наполнявшего часть полости как чашу, стенки которой были покрыты более ранним фестончатым минеральным агрегатом



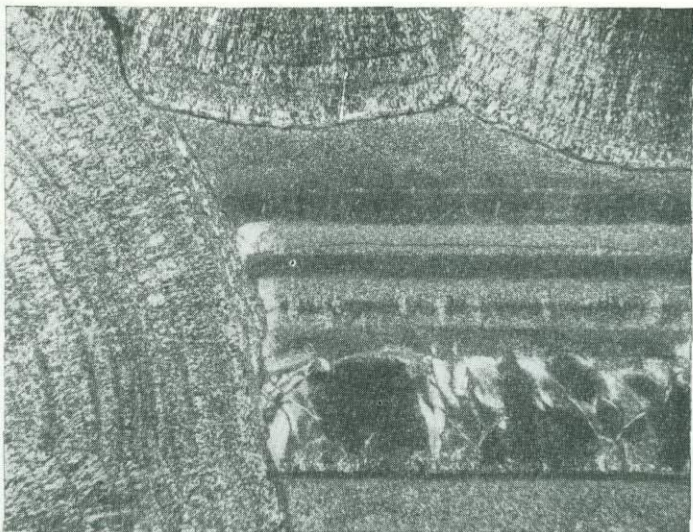
Фиг. 9. Нарастание фестончатого агрегата опала, халцедона и цеолита на стенку полости, сложенную липаритом. Увел. 46, без анализатора

(фиг. 11). В дальнейшем происходило частичное растворение плоскопараллельного агрегата и переотложение кремнекислоты на его поверхности в виде мелких кристалликов горного хрусталя или в виде мелких



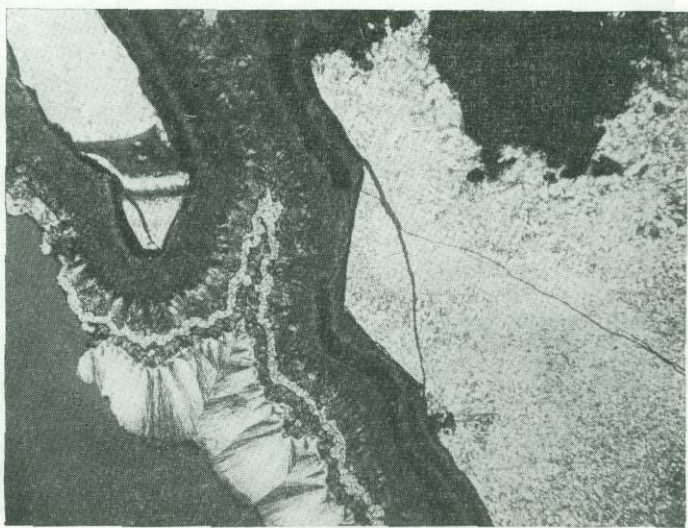
Фиг. 10. Развитие халцедона по опалу. Увел. 46, николи +

округлых выделений опала, нарастающих на каркас не полностью растворенного халцедона. Характерно также отложение на частично растворенной плоскопараллельной разности охряно-желтого натечного агрегата, состоящего из тонких чередующихся прослоев опала, халцедона и цеолита.



Фиг. 11. Взаимоотношение фестончатого и плоскопараллельного агрегата. Увел. 10, николи +

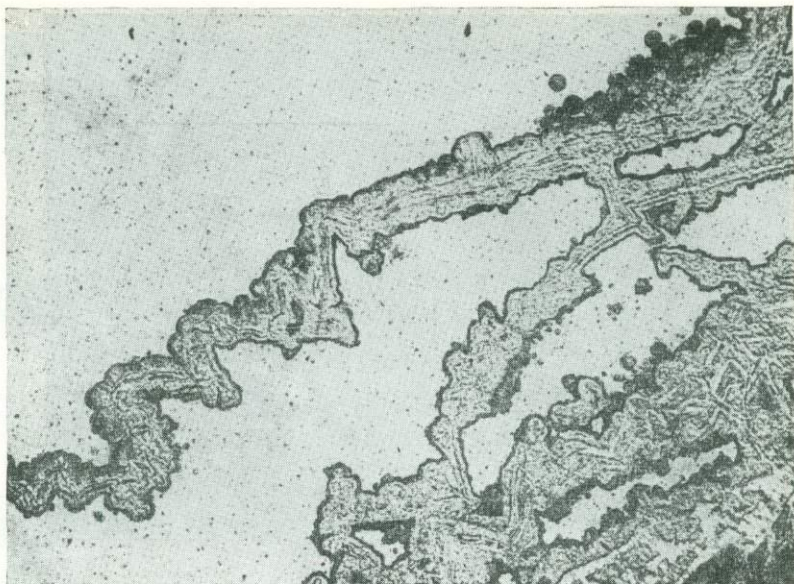
В шлифе 663 (фиг. 12) чрезвычайно эффектно видно, как плоскопараллельный агрегат халцедона растворяется упомянутым желтым агрегатом. Островки плоскопараллельной породы окружены опалом и



Фиг. 12. Растворение плоскопараллельного агрегата опала, халцедона и цеолита и обрастание его натечным агрегатом тех же минералов. Увел. 10, николи +

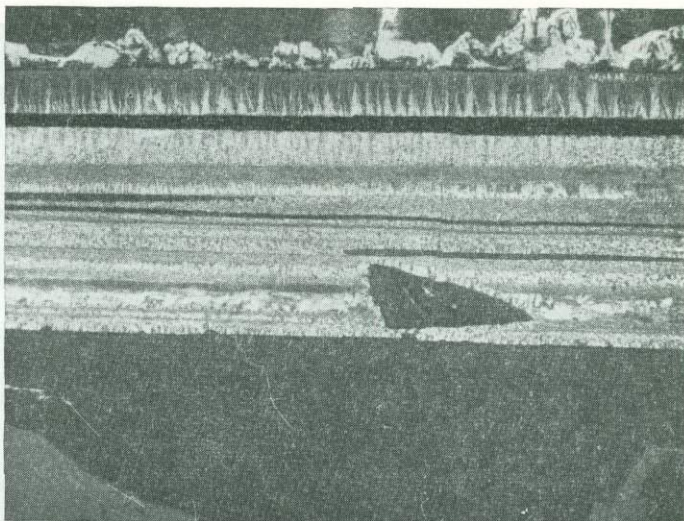
фестончато-нарастающим халцедоном и цеолитом. В тех образцах, где плоскопараллельная разность отсутствует, на фестончатый агрегат, покрывающий стенки полости, нарастают кристаллы горного хрусталя.

Наблюдения над описанными минералами, выполняющими полости в шарах, и над прожилками в липарите позволили установить, что



Фиг. 13. Развитие опала по спайности флюорита. Увел. 46, без анализатора

цеолит представлен двумя генерациями, из которых более ранний — почти изотропный (анальцим?), а более поздний — соответствует по своим константам натролиту.



Фиг. 14. Обломок липарита в полости, заполненной гидротермальными минералами. Увел. 10, николи +

Изотропный цеолит выделяется раньше поздних генераций опала и халцедона, а натролит является наиболее поздним образованием, наложенным как на липариты шаров, так и на цементирующие их обсидианы.

2. В разностях, содержащих сидерит и флюорит, этот последний выделяется в ходе кристаллизации в различные моменты. В обр. 63/XIX образование его происходило непосредственно после выделения

раннего фстончатого агрегата халцедона и опала и до выделения кварца. В середине полости в этом образце пространство между кристаллами кварца, растущими друг другу навстречу, частично заполнено молочно-белым халцедоном, сидеритом и гидроокислами железа.

В обр. 63/VI флюорит выделяется в раннюю стадию в виде хорошо ограненных кристаллов и замещается опалом преимущественно по спайности (фиг. 13). В заключительную стадию он образуется вновь вместе с опалом и сидеритом и замещает агрегат линейно-полосчатого халцедона, переполненного мельчайшими темными включениями.

В описанном выше обр. 63/IV под микроскопом устанавливается, что фстончатый агрегат халцедона и сидерита характеризуется постепенными переходами между полосами, сложенными этими минералами. В то же время перистые агрегаты халцедона внутри полосок растут друг другу навстречу, а промежутки между ними заполнены кварцем и флюоритом. Местами от полосок халцедона проходят прожилки, секущие сидерит, что, наряду с отмеченными псевдоморфозами опала по сидериту, указывает на замещение сидерита кремнистыми минералами.

Сидерит, слагающий полосы, представлен мелкими (около 0,2 мм в длину) кристаллами, которые имеют в разрезе форму вытянутых ромбов и окрашены в светло-коричневый цвет, замаскированный резкой шагреновой поверхностью. Интенсивные реакции, протекающие в полостях шаров, несомненно, захватывают и вмещающие липариты. Минералы, отлагающиеся непосредственно на стенках полостей, по-видимому, образуются при воздействии паров и газов на липариты. Этим объясняется, например, тот факт, что среди различных генераций опала наиболее ранняя является и наиболее загрязненной посторонними включениями. Об этом же свидетельствует, по-видимому, и наличие в полостях мелких остроугольных отторженцев липарита, окруженных каемками того же состава, что и наиболее ранние выделения на стенках пустот (фиг. 14).

Так, в обр. 63/XVI на стенках полости образуется фстончатый агрегат из чередующихся прослоев опала, халцедона и флюорита, на него нарастают перистые выделения халцедона, а пространство между ними заполнено опалом и флюоритом. Отторженцы липарита расположены в зоне халцедона, но, несмотря на это, окружены той же каймой опала, халцедона и флюорита, которая нарастает на стенку полости.

В обр. 63/I в липарите присутствует участок, имеющий форму остроугольного обломка и сложенный опалом, цеолитами и кварцем, образующими причудливо изогнутые петли и полосы, напоминающие контуры флюидальности в стекле, которое они, по-видимому, заместили. Последнее подтверждается присутствием в пределах этого участка многочисленных зерен циркона, нигде не встречающегося среди минералов, выполняющих пустоты.

Для диагностики отдельных минералов они были переданы на термический анализ в лабораторию А. И. Цветкова (ИГЕМ АН СССР).

В результате зеленато-бурый опал, охренно-желтый натечный агрегат и пламенный опал дали характерные для этого минерала кривые с эндотермическим эффектом на промежутке между 100 и 150° и потерей в весе от 2,13 до 3,77%.

Карбонат с примесью гидроокислов железа, взятый из списанного выше образца 63/IV, по характеру термической кривой определяется как сидерит с примесью гетита. На кривой отчетливо обозначен экзотермический эффект при 500°, связанный с разложением сидерита. Последнее подтверждается также большой потерей веса, равной 19,02%.

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

В лаборатории ИГЕМ АН СССР были произведены два полных силикатных анализа липаритов. При этом был взят изотропный, почти не затронутый цеолитизацией, обсидиан из цементирующей массы и коричневый липарит из шара, имеющего размеры в поперечнике около 30 см, на расстоянии около 1 см от его поверхности.

Кроме того, липариты из тех же образцов были дополнительно сданы для контроля на определение кремнекислоты и щелочей. Такие же определения были сделаны для липарита, взятого из центральной части шара с диаметром 15 см, а также из липарита, слагающего мелкие полушария, налипающие на поверхность шара с диаметром около 30 см. Результаты анализов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Показатели преломления минералов, замеренные в иммерсионных жидкостях

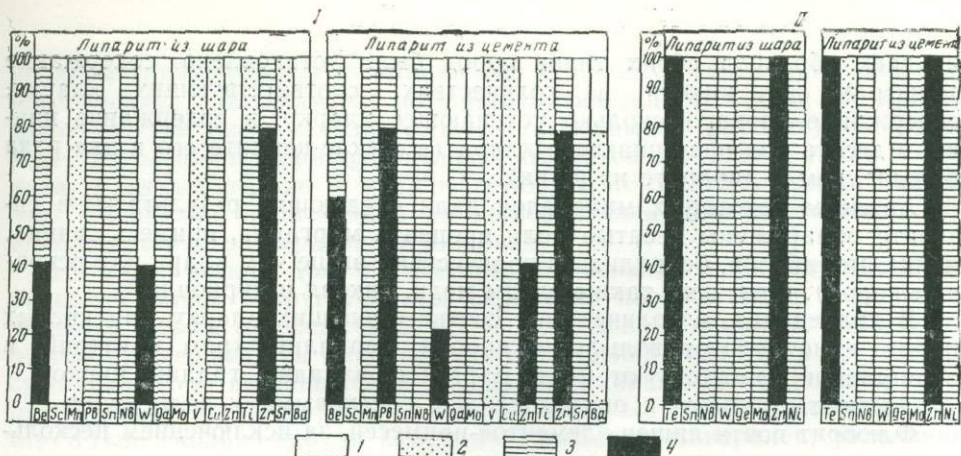
№ образца	Минерал	N_{20°	Ng_{20°	Np_{20°
63/X	Буровато-зеленый опал (ранняя генерация)	1,451—1,457±0,002	—	—
63/XIV	Пламенный опал	1,436±0,003	—	—
63/XV	Опал (по сидериту?)	1,448±0,002	—	—
63/XX	Белый, полупрозрачный опал	1,440±0,002	—	—
63/XIII	Цеолит с поверхности шара	—	1,486±0,002	1,430±0,002
63/XII	Халцедон (белый, розовый и лиловый)	—	—	1,535±0,002
63/IV	Сидерит	—	1,873	1,625±0,001

Таблица 2

Химический состав пород (в %)

Окислы	Обр. 57	Обр. 57/2	Обр. 55	Обр. 55/2	Обр. 63/III	Обр. 63/IV
SiO ₂	71,92	71,72	78,00	78,68	75,38	78,82
TiO ₂	Следы	Не опред.	Следы	Не опред.	Не опред.	Не опред.
Al ₂ O ₃	12,61	» »	11,77	» »	» »	» »
Fe ₂ O ₃	0,83	» »	0,52	» »	» »	» »
FeO	0,09	» »	0,02	» »	» »	» »
MnO	0,04	» »	Следы	» »	» »	» »
MgO	0,10	» »	0,09	» »	» »	» »
CaO	0,38	» »	0,32	» »	» »	» »
Na ₂ O	2,16	2,06	3,55	3,46	3,58	2,83
K ₂ O	5,62	5,47	4,32	4,26	3,40	3,87
H ₂ O ⁻	1,04	Не опред.	0,80	Не опред.	Не опред.	Не опред.
H ₂ O ⁺	2,36	» »	0,53	» »	» »	» »
Cl	0,08	» »	0,04	» »	» »	» »
F	0,18	» »	Нет	» »	» »	» »
CO ₂	Нет	» »	»	» »	» »	» »
П.п.п.	2,44	» »	»	» »	» »	» »
Сумма	99,85		99,96			

Обр. 57 — обсидиан из цементирующей массы. Аналитик М. С. Гусева; обр. 55 — липарит из крупного шара. Аналитик М. С. Гусева; обр. 57/2 и 55/2 — дубликаты; обр. 63/IV — липарит из центра небольшого шара; обр. 63/III — липарит с поверхности крупного шара; дополнительные определения SiO₂ произвела Н. Н. Никольская, дополнительные определения щелочей — Л. М. Крутецкая.



Фиг. 15. Диаграмма содержаний элементов-примесей

I — определения, произведенные на приборе ИСП-28; II — определения, произведенные с применением автомата: 1 — содержания ниже чувствительности метода; 2 — содержания ниже кларка; 3 — содержания равные кларку; 4 — содержания выше кларка

Из приведенных анализов видно, что липарит из шаров и цемента различается, в первую очередь, по содержанию кремнекислоты, более высокому в шаре, а также по значительному количеству конституционной воды и большой потере при прокаливании в обидиане цемента. Пониженное содержание конституционной воды в липарите из шара возможно объясняется потерей ее при девитрификации.

Имеются и некоторые различия в содержании Al_2O_3 , более высоком в анализе цемента, по сравнению с анализом шара.

Интересно также, что наибольшая разница в содержании кремнекислоты наблюдается между цементом и центральной частью маленького шара, в то время как мелкие полушария, налипающие на поверхность большого шара, отличаются от цементирующей массы менее существенно.

Сумма щелочей близка для цемента и шаров, но в цементе калий преобладает над натрием отчетливее. В липарите из центра небольшого шара сумма щелочей несколько пониженная.

С целью изучения элементов-примесей в спектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР были произведены спектральные анализы липаритов из шаров и цемента, а также некоторых минералов: флюорита, опала, халцедона и сидерита. Анализ производился на сорока элементах. В дальнейшем обычные элементы породообразующих минералов не рассматривались.

Для сравнения липаритов проделаны анализы шести проб, взятых из цемента, и стольких же из шаров. В результате было установлено, что существенной разницы в элементах-примесях шаров и цементирующего обидиана не наблюдается.

Результаты анализов изображены на диаграмме¹ (фиг. 15, I), из которой видно, что как в шарах, так и в цементе в количествах, равных кларку по Виноградову, для кислых пород присутствуют молибден, ниобий и галлий. В количествах ниже кларка в обоих типах пород присутствуют: ванадий, медь, марганец. Как в шарах, так и в цементе присутствует большое количество циркония (0,1—0,2%). В то же время в пяти из шести проб липарита из цемента присутствует свинец в количествах равных и выше кларковых.

При проверке полученных данных по некоторым элементам на автомате с более высокой чувствительностью (фиг. 15, II) в каждом

¹ Проценты на диаграмме показывают отношение количества проб, в которых обнаружен данный элемент, к общему их количеству.

из трех образцов обоих типов пород было установлено: содержание вольфрама и никеля в количествах, соответствующих кларку, содержание олова, несколько уступающее кларку, и содержание цинка, в десять раз превышающее кларк (в стекле-цементе его в два раза больше, чем в липарите из шара).

Анализы некоторых минералов дали следующие результаты: в сидерите обнаружены десятые доли процента марганца, примесь свинца, цинка, молибдена, бериллия (в количествах выше чем кларк для основных пород). Отмечены также следы меди, никеля и циркония.

В халцедонах, в количествах, соответствующих кларку для кислых пород, присутствуют вольфрам, ниобий, бериллий, хром и иттрий; в виде следов присутствуют медь, марганец, ванадий, галлий, циркон.

Элементы-примеси в опалах сходны с таковыми у халцедонов.

Флюорит почти лишен элементов-примесей, за исключением несколько повышенного содержания иттрия.

Резюмируя, следует подчеркнуть богатство липаритовой магмы цирконием, а также присутствие в ней аксессуарных редких металлов: бериллия, вольфрама, молибдена и в меньшем количестве олова. Наблюдается несколько повышенное содержание рудных элементов и, в частности, свинца и цинка в липарите-цементе, по сравнению с липаритом из шаров. В то же время свинец и цинк накапливаются в минеральных выполнениях внутри шаров, входя в состав сидерита.

ВЫВОДЫ

Приведенные описания шаровых лав бассейна р. Малазы позволяют наметить следующие основные положения, существенные для их генезиса.

1. Скопления «шаров» в обсидианах приурочены к отдельным участкам, возможно представляющим собою жерловины.

2. На участках распространения шаровых лав исходная магма отличалась высоким содержанием паров и газов, о чем свидетельствует состав гидротермальной минерализации в полостях шаров, а также наличие Si , F и воды в липарите-цементе.

3. Ряд фактов, несомненно, свидетельствует о том, что шары застывали раньше, чем цементирующий их расплав. Одним из прямых доказательств является расположение отдельных пачек плоскопараллельного агрегата халцедона, опала и цеолита под различными углами друг к другу. Наблюдаемые при этом взаимоотношения близки к взаимоотношениям в «сложных миндалинах», описанных Шроком (1950). Однако, если упомянутый автор объясняет наклонное положение плоскости разграничения между различными минеральными агрегатами сложных миндалин последующими тектоническими нарушениями, в нашем случае такое объяснение не применимо, так как в одном и том же небольшом обнажении углы наклона более поздних пачек, по отношению к более ранним, колеблются в разных шарах от 20 до 90°.

Таким образом, единственно приемлемым является предположение о том, что уже застывшие шары с заключенными в их полостях гидротермальными растворами медленно поворачивались, участвуя в движении не успевшего еще застыть вязкого расплава. Подтверждением служит причудливо-изогнутая флюидалность в обсидианах, цементирующих шары, и отсутствие ее там, где обсидиан лишен шаровых обособлений. В первом случае создается отчетливое впечатление, что остаточный расплав выдавливался в узкие промежутки между успевшими затвердеть многочисленными шаровыми обособлениями.

4. Приведенные факты столь же однозначно свидетельствуют о том, что процесс гидротермального минералообразования не является более

поздним (наложенным) по отношению к процессу застывания силикатного расплава, но является позднемагматическим и в ходе его принимают участие пары и газы, свойственные самому расплаву. В самом деле, отложение плоскопараллельных агрегатов халцедона, опала и цеолита, а следовательно и предшествующих им фестончатых агрегатов этих минералов, происходило до затвердевания цементирующего расплава, но после затвердевания шаров.

Не менее веским доказательством образования и последующего застывания шаров вокруг участков скопления паров и газов в расплаве является форма прожилков опала и халцедона — широких в месте их отхода от внешних зон минеральных выполнений полостей и постепенно суживающихся, ветвящихся и иногда выклинивающихся по направлению к поверхности шара. Наконец, об этом же говорит, по-видимому, отсутствие сколько-нибудь заметных скоплений минералов, заполняющих полости шаров на их поверхности, вдоль ослабленных контактов с цементирующим их обсидианом¹.

5. Наблюдаемые в полостях шаров результаты процессов растворения и переотложения минералов позволяют предполагать, что по крайней мере некоторая часть материала, входящего в их состав (кремнекислота, щелочи и т. д.), могла быть заимствована при растворении стенок липаритового шара.

Причину упомянутых процессов следует искать скорее в изменении термодинамических условий внутри полости шара во время формирования низкотемпературных гидротермальных агрегатов, чем в повторных поступлениях в полости шаров более агрессивных летучих компонентов из окружающего шары расплава. Последнему предположению противоречит тот факт, что в прожилках, секущих шары и достигающих их поверхности, мы нигде не встречаем тех минералов, которые отлагаются в полостях последними, в частности, например, флюорита. Не отлагаются эти минералы и на поверхности шаров вдоль их ослабленных контактов с цементирующим липаритом.

6. Подводя итог всем вышеприведенным частным выводам, касающимся условий формирования шаровых лав Малазы, мы приходим к единственно возможному предположению, что описанные шары образовались в магматическую стадию в результате дифференциации богатого летучими расплава. Обособление их происходило вокруг участков скопления летучих в магме, но механизм его остается еще недостаточно изученным. Интересно отметить, что кольцеобразные выступы, опоясывающие некоторые шары, сходны с аналогичными образованиями на шарах из вышеописанных лав бассейна р. Кенцухе, где они образуются, по-видимому, при налипании «капель» отделившегося при ликвации расплава на поверхности его раздела с более ранними обособлениями.

К сожалению, отмеченные в начале этой статьи обстоятельства не позволили нам провести достаточно детальное наблюдение над геологическим положением шаровых образований Малазы, что препятствует более уверенным выводам по этому вопросу.

Приведенные химические анализы дают возможность предположить, что мелкие полушария налипают на поверхность крупных шаров, являясь в свою очередь продуктами повторной ликвации цементирующего расплава. При этом состав маленьких полушарий получается более близким к составу этого последнего, чем состав больших шаров.

В заключение необходимо подчеркнуть принципиальную важность установленных, пусть даже небольших, примесей ряда рудных элементов (молибдена, вольфрама, цинка и др.) в составе гидротермальных образований, выполняющих пустоты в шарах.

¹ Исключение составляет, по-видимому, только натролит, слагающий поздние прожилки, образующий примазки на внешней поверхности шаров, а также развивающийся по трещинам в обсидиане-цементе.

Е. П. ЗАЙЧЕНКО

**ШАРОВЫЕ ЛАВЫ РАЙОНА
НИЖНЕТЮПСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(СЕВЕРНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)**

При изучении вулканических пород района Нижнетюпского полиметаллического месторождения, объединенных нами в субвулканический комплекс, встречены весьма оригинальные породы — шаровые лавы, в которых «шары» различной величины цементируются кварцевым фельзит-порфиром¹.

В возрастном отношении шаровые лавы являются самыми молодыми образованиями комплекса. Процесс формирования всего субвулканического комплекса очень сложный и обусловлен, на наш взгляд, следующими причинами:

1) субвулканический комплекс размещается в подвижной зоне на стыке двух структурно-фациальных зон (каледонской — Северо-Тянь-Шаньской и герцинской — Чаткало-Нарынской). Начало его формирования парагенетически связано с ранними фазами герцинского цикла тектогенеза;

2) становление комплекса происходит в приповерхностной (ультрагипабиссальной) фации (в понятии Ю. А. Кузнецова и В. К. Мониц);

3) история его развития связана с геосинклинальным режимом, наступившим в пределах описываемого района в конце ордовика.

Процесс формирования всего комплекса, являясь в целом длительным, отчетливо разделяется на ряд этапов — субфаз:

а) первая субфаза — сильно измененные риолиты (альбитизированные, серицитизированные и т. д.), сохранившиеся в виде остатков небольшого потока;

б) вторая субфаза — лейкократовые среднезернистые граниты, гранит-порфиры, мелкозернистые граниты и риодациты. Породы второй субфазы распространены наиболее широко (фиг. 1) и слагают сравнительно «крупный» экструзивный купол, поверхностные части которого сложены эффузивными породами (риодацитами), а внутренние и глубинные — породами дайкового и интрузивного обликов: гранит-порфирами, микрогранитами и лейкократовыми среднезернистыми гранитами;

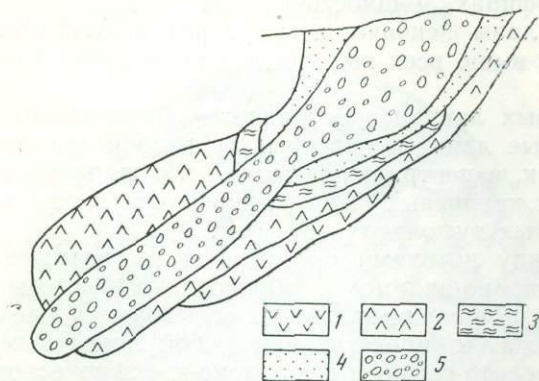
в) третья субфаза — риолитовые дациты, они образуют два потока и содержат в своем составе многочисленные ксенолиты риолитов, риодацитов, гранит-порфиров, лейкократовых гранитов и т. д., то есть пород ранних субфаз;

¹ Зайченко Е. П. Петрохимические и петрологические особенности субвулканического комплекса района Нижнетюпского месторождения (Сев. Тянь-Шань). — Труды Фрунзенского политехн. ин-та, 1962, вып. 10.

г) четвертая субфаза — дайки и жилы аплитов, пегматитов и щелочных гранит-порфиров¹;

д) пятая субфаза — туфолавы, ленточные кварцевые фельзит-порфиры, кварцевые фельзит-порфиры и шаровые лавы.

Все выделенные субфазы не только связаны пространственно, но и генетически, и имеют общие структурно-текстурные признаки и общий



Фиг. 1. Схема соотношения шаровых лав с более ранними лавами пятой субфазы

1 — буро-красные туфолавы; 2 — серые туфолавы;
3 — ленточные кварцевые фельзит-порфиры; 4 — красные фельзит-порфиры; 5 — шаровые лавы

химико-минералогический состав (Зайченко, 1962). Для химизма всего субвулканического комплекса характерна эволюция от более ранних субфаз к более поздним в сторону увеличения SiO_2 , уменьшения Al_2O_3 , CaO , MgO , щелочей, особенно Na_2O .

Входящие в состав пятой субфазы шаровые лавы являются наиболее поздними дифференциатами субвулканического комплекса и по своему строению и генезису несколько отличаются от описанных в литературе шаровых лав.

Цель настоящей статьи — детально охарактеризовать шаровые лавы района Нижнетюпского полиметаллического месторождения и выяснить их генезис.

ГЕОЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ ШАРОВЫХ ЛАВ

Породы пятой субфазы (в том числе и шаровые лавы) вскрываются по западной окраине субвулканического комплекса. Они обнажаются или в виде огромных, часто отвесных скал с причудливой столбчато-скорлуповатой отдельностью, или в виде элювио-делювия.

Все породы субфазы имеют потоковую форму залегания с наложением потоков друг на друга и образованием пачки мощностью около 300 м, которая к северу и югу уменьшается до нескольких десятков метров. Отчетливо видны следы течения лавы в потоках, с азимутом падения ЮЗ 265° и $\angle 16-18^\circ$.

Разрез всей пачки снизу вверх в общих чертах следующий:

1. Буро-красные туфолавы, залегающие частично на риодацитах второй субфазы, а частично на гидротермально измененных туфолавах риодацитов, мощностью 100—150 м.

¹ Вряд ли правильно относить аплитовые и пегматитовые жилы к самостоятельной субфазе, равноценной гранитной субфазе. (Прим. ред.).

2. Серые туфолавы, согласно залегающие на буро-красных туфолавах, мощностью 25 м.

3. Флюиодальные лавы или ленточные кварцевые фельзит-порфиры, покрывающие серые туфолавы, мощностью 25 м.

4. Ярко-красные и буро-красные кварцевые фельзит-порфиры. Они образуют короткий, но толстый поток, лежащий на ленточных кварцевых фельзит-порфирах, мощностью 50 м.

5. Шаровые лавы венчают весь разрез и, как правило, залегают гипсометрически выше всех выделенных разностей, мощность их около 50 м.

Поток шаровых лав распространяется значительно дальше на юг, чем все остальные лавы, и перекрывает разновозрастные потоки данной субфазы. Так, в центральной части поля шаровых лав он залегают на ярко-красных кварцевых фельзит-порфирах, а на юге — на серых и даже буро-красных туфолавах (см. фиг. 1).

Границы между потоками часто нечеткие, затушеванные, как бы спекшиеся, и это, по-видимому, обусловлено быстрым последующим излиянием новой порции расплава на еще горячий предыдущий поток.

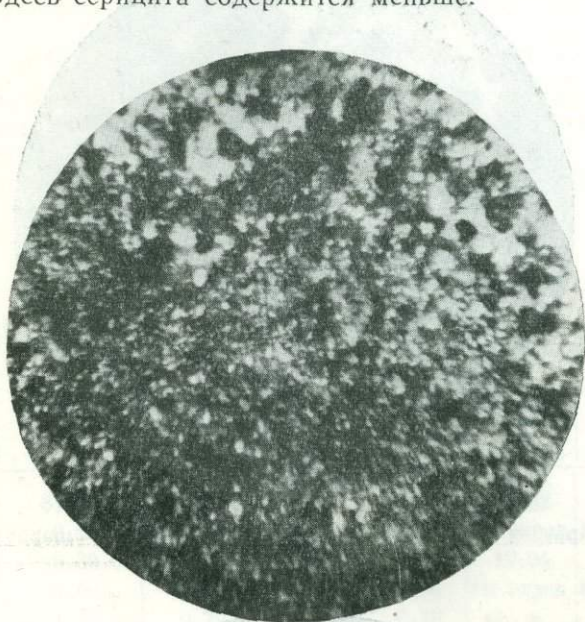
Шаровые лавы представляют собой породы пестрой окраски, у которых в буровато-серую или бордово-красную основную массу погружены светлые (грязно-белые или слегка розоватые) «шары», овальной и округлой формы. Распространение шаров по потоку подчинено определенной закономерности: у жерловой части они крупные (достигают 20—30 см в диаметре) и количество их в породе составляет 20—30% от всей ее массы. В направлении на запад и на юг от жерловой части количество шаров в породе возрастает до 40—50% от ее массы, но размеры их резко уменьшаются (до 3—2 см в диаметре). Иногда шары соприкасаются друг с другом, слипаются по два, по три вместе, но чаще располагаются изолированно. Строение шаров различное. В шарах размером в 2—3 см имеется закаленная корочка и центр, заполненный кварцево-серицитовой мелкозернистой или даже тонкозернистой массой. В шарах размером свыше 3 см тоже отчетливо видна закаленная корочка с порфировой структурой (в тонкозернистую массу погружены вкрапленники кварца), которая к центру постепенно переходит в мелко- и среднезернистую массу светло-розового цвета. Центр нередко заполняется пегматитообразной массой с кристалликами горного хрусталя до 0,5 см длиной, имеющими призматически вытянутый габитус и повернутыми «головками» внутрь шара. Интересно, что крупные шары легко выветриваются и на их месте образуются округлые или овальные пустоты.

Микроскопическому изучению подвергались шары всех размеров, кроме того, из крупных шаров делались шлифы — отдельно из «корки», из средней и центральной частей. На основании макроскопического и микроскопического изучения в шаровых образованиях можно выделить следующие разновидности:

1. Шары диаметром 10—30 см приурочены к более глубинным частям потока, обнажающимся в виде отвесных скал, и имеют или правильную округлую, или овальную, слегка сплюснутую сверху и снизу форму, или же форму капли, повернутой «хвостом» вверх. Вокруг этих шаров видна в цементирующей массе флюиодальная текстура. Сами шары, группируясь иногда по 2—3 штуки, слипаются вместе. Выбить целиком такой шар не удалось, но отбитый кусочек из корки показал при микроскопическом изучении состав кварцевого фельзит-порфира.

2. Шары от 1 до 10 см в диаметре имеют отчетливо видимое (и макро- и микроскопически) зонарное строение. Внешняя зона — корка для всех шаров указанных размеров одинакова — это кварцевые фельзит-порфиры со стекловатой или фельзитовой основной массой. Внутрен-

ние же зоны различны. В шарах диаметром 1—3 см внутренняя зона представлена мелкозернистой массой, состоящей из кварца и серицита (фиг. 2). В шарах диаметром от 3 до 10 см внутренняя часть заполнена хорошо раскристаллизованной массой, изменяющей свою структуру от крупнозернистой в центре до мелкозернистой к корке. В центре иногда имеются пегматитовые прорастания кварца и калиевого полевого шпата. Здесь серицита содержится меньше.

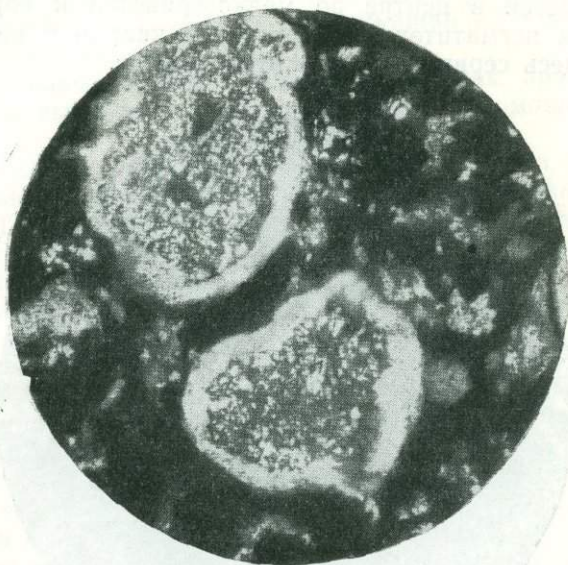


Фиг. 2. Внутреннее строение шара размером 1—3 см. Более крупнозернистая масса — центральная часть, точечная — краевая оторочка из микрофельзита. Увел. 72, николи +

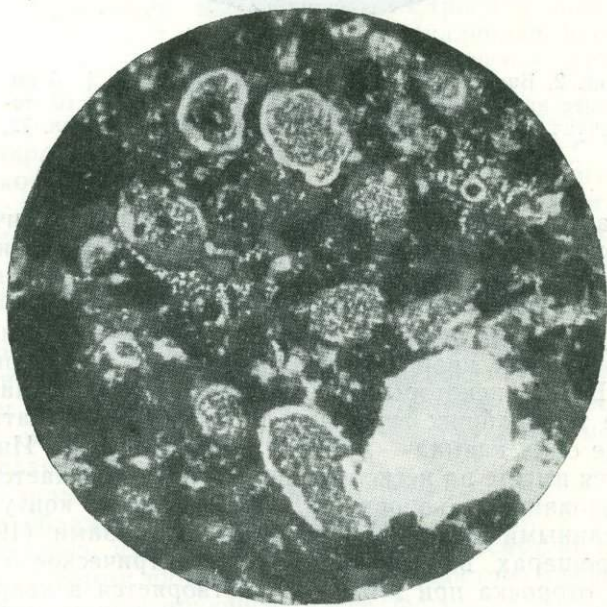
3. Микрошары невооруженным глазом часто не различаются. Под микроскопом прекрасно видно их зонально-концентрическое строение, внешняя оторочка — калишпатовая (фиг. 3), следующая внутренняя — кварцевая. Центр шаров заполняется по-разному. В более мелких видны отчетливо угловатые обломки стекла. В шарах покрупнее центр заполняется серицитовой, кварцево-серицитовой или тонкозернистой кварцевой массой. Вокруг некоторых микрошаров в основной массе происходит скопление мельчайших зернышек и «иголочек» гематита, так что образуется еще одна каемка — рудная, но прерывистая. Иногда микрошары сливаются вместе по несколько штук, тогда получается вытянутое, овальное образование с неровными, фестончатыми контурами, очень схожее с описанными И. М. Воловиковой литофизами (1955). В этих сложных микрошарах выдерживается концентрическое строение, но калишпатовая оторочка при этом или растворяется в кварце, или, напротив, утолщается, приобретает радиально-лучистое (сферолитовое) строение с ориентировкой зерен калиевого полевого шпата перпендикулярно стенке шаров.

Микроскопическое изучение лавы, цементирующей шары, показало, что это кварцевые фельзит-порфиры, у которых порфириновые выделения кварца и серицитизированного нацело плагиоклаза погружены в основную массу, местами стекловатую или микрофельзитовую с переходом в микроаллотриоморфнозернистую (фиг. 4). Последняя возникает

при скоплении мелких зерен калиевого полевого шпата. Причем в разных участках эти структуры осложняются присутствием микрошаров и вытянутых, линзовидных обособлений, также имеющих концентриче-



Фиг. 3. Зонарно-концентрическое строение шаров.
Увел. 160, николи+



Фиг. 4. Цементирующая масса с шаровыми обособлениями. Увел. 72, николи+

ское строение: внешняя оболочка состоит из радиально-сросшихся зерен калиевого полевого шпата, внутренняя — из кварца, а иногда из кварца с серицитом или микрозернистой кварцево-серицитовой массы. Нужно сказать, что серицита в основной массе рассеяно много, также

как и тонкозернистого рудного агрегата, но распределены они по породе неравномерно. В основной массе много перлитовых трещинок, располагающихся вокруг микроиарол и подчеркивающих следы течения лавы.

Акцессорные минералы представлены цирконом, ильменитом и титаномagnetитом и наблюдаются как в центре некоторых шаров, так и в линзовидных обособлениях и реже — в цементирующей массе.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА ШАРОВЫХ ЛАВ

Для установления особенностей химизма шаровых лав произведен полный силикатный анализ шаровых обособлений и цемента в химической лаборатории Управления геологии и охраны недр при Совете Министров Киргизской ССР. Результаты этих анализов помещены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шаровых лав (в %)

Оксиды	Кварцевый фельзит-порфир, обр. Е-13в	Первичные анализы			Пересчет силикатной части на 100%		
		шаровые образования, обр. Е-79в	шаровые образования, обр. Е-79а	цементирующая масса, обр. Е-80	шаровые образования, обр. Е-79в	шаровые образования, обр. Е-79а	цементирующая масса, обр. Е-80
SiO ₂	81,96	82,16	81,96	80,82	83,32	82,92	83,32
TiO ₂	0,11	0,16	0,11	0,07	Не опред.	Не опред.	Не опред.
Al ₂ O ₃	9,39	10,79	11,09	12,55	10,94	11,20	12,94
Fe ₂ O ₃	0,60	2,24	1,66	1,06	Не опред.	Не опред.	Не опред.
FeO	1,75	0,79	1,22	0,79	» »	» »	» »
MnO	0,03	0,02	0,02	0,01	» »	» »	» »
MgO	0,25	0,40	0,49	0,25	» »	» »	» »
CaO	0,38	0,07	0,77	0,21	» »	» »	» »
K ₂ O	0,37	1,93	1,40	1,28	1,95	1,41	1,31
Na ₂ O	0,44	0,30	0,37	0,14	0,30	0,37	0,14
P ₂ O ₅	0,03	0,01	0,01	0,08	Не опред.	Не опред.	Не опред.
SO ₃	0,01	0,09	0,03	0,01	» »	» »	» »
П.п.п.	4,03	1,91	1,70	3,48	» »	» »	» »
H ₂ O	0,50	0,22	0,25	0,18	» »	» »	» »
Сумма	99,85	101,09	101,08	100,93			

Аналитик И. Павлинова.

Как можно видеть, для анализированных пород наряду с небольшими количествами воды, SO₃ и P₂O₅ характерна значительная потеря при прокаливании. Поэтому для того, чтобы получить возможность правильно судить о соотношении нелетучих компонентов, силикатная часть была пересчитана на 100% и результаты пересчета также приведены в табл. 1. В результате можно заключить, что состав двух проб шаровых образований близок между собою, но шары отличаются от цемента несколько пониженным содержанием глинозема и более высокой суммой щелочей, в обоих случаях, однако, слишком низкой для нормальных липаритов. В составе этой суммы калий везде значительно преобладает над натрием. Характерна также высокая потеря при прокаливании в цементирующем липарите, значительно превышающая соответствующую величину в шарах.

Изучение элементов-примесей, проведенное в спектральной лаборатории качественным путем, показывает постоянное присутствие как в шарах, так и в цементе таких элементов, как Pb, Cu, Zr, V, Ni, Fe, Mn. Изредка присутствует Cr, Co и только в шарах появляются Sn и Zn.

ГЕНЕЗИС ШАРОВЫХ ЛАВ

Шаровые лавы района Нижнетюпского полиметаллического месторождения являются типичными наземными излияниями, заканчивающими весь магматический процесс формирования субвулканического комплекса. По особенностям химико-минералогического состава они резко отличаются от пород всего комплекса богатством SiO_2 и уменьшением содержания Al_2O_3 , CaO, MgO, а из элементов-примесей увеличением Pb и появлением Sn и Zn. Таким образом, остаточный расплав, давший породы пятой субфазы, и в том числе шаровые лавы, был очень кислым в отличие от первых порций. В свою очередь и сама пятая субфаза разделяется на ряд еще более мелких этапов с образованием ранних буро-красных туфолав и самых поздних — шаровых лав, тоже отличающихся по химизму в сторону увеличения SiO_2 и уменьшения других компонентов. Иначе говоря, пятая субфаза как бы в миниатюре повторяет процесс образования всего субвулканического комплекса, механизмом которого являлась эманационная дифференциация (Коптев-Дворников, 1961). Именно она и привела в конце концов к образованию остаточного «пегматитообразующего» расплава пятой субфазы. О такой дифференциации мы судим потому, что в породах эффузивного, дайкового и интрузивного облика всех субфаз субвулканического комплекса очень широко развиты миаролы и пегматитовые выпоты (микро и макро) с зональным строением (оторочка полевошпатовая, а центр состоит из кварца). По В. С. Коптеву-Дворникову (1961) такие образования возникают за счет перераспределения, перегонки легколетучих компонентов в ходе эманационной дифференциации.

Шаровые образования — это тоже как бы миаролы, но с резко обособленным от основной массы строением, за счет корки — кварцпорфировой внешней зоны.

В шарах средних и крупных размеров под коркой размещается хорошо раскристаллизованная масса, переходящая иногда к центру, как говорилось выше, в пегматитовую с пустотками и кристалликами горного хрусталя. В микрошарах (из этого же потока шаровых лав) наблюдается концентрически-зональное строение с обособлением внешней полевошпатовой оторочки и внутренней — кварцевой. Подобные образования могут возникнуть также в результате эманационной дифференциации, но происходящей уже в жерле.

Необходимо сказать, что к моменту излияния последней порции расплава, энергия магматического очага резко падает и связь жерла с ним прерывается. Жерло, являясь уже открытой системой, подвержено воздействию атмосферных температур и низкого атмосферного давления. Остаточный расплав, изливаясь, быстро густеет и застывает почти без вскипания или отделения газовой фазы. В этом вязком расплаве сохраняются пузыри с газово-жидкой эмульсией, которые при застывании превращаются в шары. Внешняя оболочка шаров тоже быстро остывает, а под ней значительно дольше существует расплав, насыщенный летучими, который при кристаллизации превращается в зернистую пегматитовую массу, иногда с пустотками и даже кристалликами горного хрусталя. Фактически каждый шар тоже является миниатюрной замкнутой системой, в которой к концу кристаллизации полевые шпаты, выделившиеся раньше совместно с кварцем, могут заместиться слюдой (серицитом) путем реакции с расплавом (Николаев,

Доливо-Добровольский, 1961). Такое представление о шарах (но сферолитового строения), как о замкнутой системе и генетически изолированной от окружающей ее массы стекла, имеется в литературе только у Д. С. Белянкина (1933). Он подчеркивал роль дифференциации в расплаве с участием надкристаллической газовой фазы при сферолитообразовании и сравнивал этот процесс с пегматитообразованием. Большинство других авторов склонны объяснять генезис описываемых ими шаровых сферолитовых образований ликвацией расплава. Так считают И. М. Воловикова, О. П. Елисева, В. И. Лебединский и др.

Шары, описанные в данной статье, имеют, по сравнению со сферолитами, более сложное строение, сближающее их с миаролами и пегматитовыми выпотами. Поэтому, естественно, процесс их образования мы также связываем с эманационной дифференциацией в остаточном расплаве пятой субфазы, происходящей непосредственно в жерле. В результате и возникают пузыри (будущие шары) с газовой жидкой эмульсией, очень близкой к пегматитообразующему расплаву, чем и объясняется интенсивный аутометаморфизм шаров и появление в них таких элементов-примесей, как Sn и Zp.

ЛИТЕРАТУРА

- Баласанян С. И. Шаровые габбро Геджелинского хребта в Армении.— Изв. АН Армянской ССР, серия физ.-матем., естеств. и техн. наук, 1956, 9, № 4.
- Белянкин Д. С. Жидкие кристаллы.— Изв. Геохим. секции Кружка металл. и химиков при Ленингр. политехн. ин-те, 1924.
- Белянкин Д. С. О сферолитах в техническом стекле и о некоторых шаровых образованиях в магматических горных породах.— Труды Петрограф. ин-та АН СССР, 1933, вып. 4.
- Белянкин Д. С. Параллели из области петрографии технического камня.— Изв. АН СССР, серия геол., 1936, № 1.
- Белянкин Д. С. Магматическая ликвация. Можно ли верить в нее и какие мы имеем к тому основания? — Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 5.
- Буряхнова И. З. и Фаворская М. А. О происхождении шаровых лав Южного Сихотэ-Алиня.— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 12.
- Вегуни А. Т. Месторождение перлита в Армении.— Разведка и охрана недр, 1958, № 11.
- Воларович М. П., Леонтьева А. А. Исследования вязкости обсидианов в связи с вопросами генезиса пемзы.— Докл. АН СССР, 1938, 17, № 8.
- Воловикова И. М. Сферолитовые образования в верхнепалеозойских эффузивных породах Чаткальского хребта.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1955, вып. 159, петрограф. серия (№ 32).
- Воловикова И. М., Елисеева О. П. К вопросу об образовании шаровых лав в кислых эффузивах Кураминского хребта.— В сб.: «Проблемы вулканизма». Изд-во АН Армянской ССР, 1959.
- Гамбарян П. П. Геолого-петрографический очерк района Средней Занги.— Труды СОПС АН СССР, серия Закавказская, 1934, вып. 10.
- Гилярова М. А. Спилиты Кончозерского района Карело-Финской ССР. Л., 1941.
- Гилярова М. А. Шаровые лавы Суисарского района Южной Карелии и проблема генезиса шаровых лав.— Ученые записки ЛГУ, серия геол. наук, № 268, 1959, вып. 10.
- Григорьев Д. П., Искюль Е. В. Дифференциация некоторых силикатных расплавов как результат образования двух несмешивающихся жидкостей.— Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 1.
- Гуринова Е. И. Геологические условия формирования шаровых лав среднего течения р. Нижней Тунгуски.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 6.
- Джрбашян Р. Т. Сферолитовые лавы окрестностей села Гамзачман.— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 11.
- Елисеев Н. А. О сегозерских спилитах.— Записки Рос. мин. об-ва, 1928, ч. 57, вып. 1.
- Елисеева О. П. К вопросу об образовании шаровых лав в кислых эффузивах Кураминского хребта.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 5.
- Еремينا Е. В., Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Материалы для петрографии Мугоджарских гор.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1905, 33, вып. 5.
- Ершова З. П. Равновесие несмешивающихся жидкостей в системах типа $MeF_2-Al_2O_3-SiO_2$.— Геохимия, 1957, № 4.
- Ершова З. П. и Ольшанский Я. И. Равновесие несмешивающихся жидкостей в системах типа $MeF_2-MeO-SiO_2$.— Геохимия, 1957, № 3.
- Ершова З. П. и Ольшанский Я. И. Равновесие двух жидких фаз во фторсиликатных системах, содержащих щелочные металлы.— Геохимия, 1958, № 2.
- Заварицкий В. А. Спилито-кератофировая формация окрестностей месторождения Бявы на Урале.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1946, вып. 17, петрограф. серия (№ 24).
- Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. Изд-во АН СССР, 1961.
- Заварицкий А. Н., Соболев В. С. Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород. Госгеолиздат, 1961.

- Занин М. В. О находке месторождений шаровых порфиров в долине р. Большой Кебин.— Записки Всерос. мин. об-ва, 1941, ч. 70, № 2.
- Иностранцев А. А. О вариолите.— Записки СПб. мин. об-ва, 1874, ч. 9.
- Кашкай М. А., Бабаев И. А. О шаровых лавах Азербайджана.— Изв. АН Азербайджанской ССР, серия геол.-геогр. наук, 1958, № 5.
- Кашкай М. А., Мамедов А. И. Перлиты и обсидианы. Изд-во АН Азерб. ССР, 1961.
- Кваша Л. Г. О строении вулканического центра Араилер (Армения).— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, 1953, вып. 7.
- Киевленко Е. Я. О шаровых лавах Сибирской платформы и связанном с ними минералообразовании.— Труды ВНИИП, 1958, 2, вып. 1.
- Коптев-Дворников В. С. Явления дифференциации в гранитных интрузивах малых глубин.— Сов. геология, 1961, № 1.
- Коржинский Д. С. Факторы минеральных равновесий и минералогические фации глубинности.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1940, вып. 12, петрограф. серия (№ 5).
- Коржинский Д. С. Проблемы физико-химической теории петрологических процессов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 1.
- Кудряшова В. И. К вопросу об образовании шаровых лав среднего течения р. Нижней Тунгуски.— Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 2.
- Лебедев А. П. Юрская вулканогенная формация Центрального Кавказа.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1950, вып. 113, петрограф. серия (№ 53).
- Лебединский В. И. О лавах Калгана.— Природа, 1958, № 12.
- Лебединский В. И., Мо Кэ-минь. О явлениях ликвации в лавах Калганского комплекса (КНР).— Изв. АН СССР, серия геол., 1958, № 12.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Сферолитовые породы Мугоджар.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1905, 33, вып. 5.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрография. Л., 1933.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. и Дьяконова-Савельева Е. Н. Вулканическая группа Кара-Дага в Крыму.— Труды Петрограф. ин-та АН СССР, 1933.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. О своеобразном типе дифференциации в вариолите Ялгубы.— Труды Петрограф. ин-та АН СССР, 1935, вып. 5.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Вариолиты Ялгубы Олонецкой губ.— Избр. труды, т. I. Изд-во АН СССР, 1949.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Заметка о шаровых структурах в изверженных породах.— Избр. труды, т. III. Изд-во АН СССР, 1952.
- Леонтьева А. А. Измерение вязкости обсидианов в связи с вопросами пемзообразования. Изв. АН СССР, серия геол., вып. 2, 1940.
- Лодочников В. Н. К петрологии Воронежской кристаллической глыбы Русской платформы.— Материалы по общей и прикл. геол., вып. 69. Изд. Геол. ком., 1927.
- Малхасян Э. Г. «Каменный град».— Природа, 1961, № 3.
- Мархинин Е. К. Вулканы острова Кунашир.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, 1959, вып. 17.
- Меняйлов А. А. О некоторых типах диатрем и трубок Сибирской платформы.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1955, вып. 159, петрограф. серия № 32.
- Николаев В. А., Доливо-Добровольский В. В. Основы теории процессов магматизма и метаморфизма. Госгеолтехиздат, 1961.
- Петров В. П. Петрографический облик игнимбитов и туфовых лав и их место среди горных пород, промежуточных между лавами и туфами.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, 1961, вып. 20.
- Петров В. П., Замуруева М. Г. О стекловатых шаровых лавах р. Левая Лефу на Дальнем Востоке.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 11.
- Роддер Е. Несмесимость жидкостей при низких температурах в системе $K_2O-FeO-Al_2O_3-SiO_2$.— В сб.: «Экспериментальные исследования в области петрографии и рудообразования». Изд-во иностр. лит., 1954.
- Родыгин И. А. О шаровых лавах в кислых девонских эффузивах северного склона Сайлогемского хребта.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 6.
- Розенбуш Г. Описательная петрография. М., ОНТИ, 1934.
- Татевосян Т. Ш. Каменный град в андезитах г. Ара.— Изв. АН Армянской ССР, 1947, № 8.
- Тимофеев В. М. О вариолите острова Суисари.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1909, 15, вып. 1.
- Тимофеев В. М. О шаровых лавах Прионезиского края.— Труды СПб. об-ва естествоиспыт., 1917, 39.
- Тимофеев В. М. Находка pillow-lava в Олонецком крае.— Геол. вестник, 1926, 2, № 3.
- Тимофеев В. М. Петрография Карелии. Изд-во АН СССР, 1935 (Петрография СССР. I. Региональная петрография, вып. 5).
- Толмачев И. Н. Вариолит с р. Енисея. СПб., 1897.
- Фаворская М. А. О некоторых вторичных изменениях кислых эффузивов Южного Приморья.— Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 7.

- Чумаков А. А. Материалы по петрографии Мугоджарских гор. I. Южные Мугоджары (Джаман-Тау и Джаксы-Тау).—Ученые записки ЛГУ, серия геол.-почв. наук, 1939, вып. 5, № 21.
- Чумаков А. А. Краткий геолого-петрографический очерк Западного хребта Южных Мугоджар.—Ученые записки ЛГУ, серия геол.-почв. наук, 1940, вып. 9, № 49.
- Холмс А. Основы физической геологии. М., Изд-во иностр. лит., 1949.
- Цветков А. И., Котлова А. Г., Ершова З. П. 1. Экспериментальное изучение расслоения в силикатных расплавах в связи с теорией магматической ликвации. Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1958—1959 гг. М., 1961.
- Цветков А. И., Котлова А. Г., Ершова З. П. 2. Изучение расслоения в расплавах, близких по составу к естественным породам. Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1960 г. М., 1961.
- Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. Перевод с нем. М., Изд-во иностр. лит., 1950.
- Эйтель В. Физическая химия силикатов. Перевод с нем. М., Изд-во иностр. лит., 1936.
- Alsac C. Etude pétrographique des pillowlavas de la pointe Guilben, près de Paimpol (Côtes-du-Nord). Bull. Soc. franc. minéral. et cristallogr., 82, № 10—12, 1959.
- Amsutz G. C. Spilitic rocks and mineral deposits. Bull. Univ. Missouri School Mines, Met., techn. ser., Rolla, № 96, 1958.
- Anderson. The volcanoes of Matavanui in Savaii. Quart. J. Geol. Soc., London, 66, 1910.
- Bailey E. B. On the occurrence of two spherulitic («variolitic») basalt dykes in Ard-mucknish Argyll. Trans. Edinburgh Geol. Soc., 8, 1905.
- Bailey E. B., Mc Callien W. J. Some aspects of the Steinmann trinity mainly chemical. Quart. J. Geol. Soc., London, 116, № 464, 1960.
- Balley M. N. The petrogenesis of a spilitic rock in New Zealand. Geol. Mag., 73, 1956.
- Bartrum J. A. Pillow lavas and columnar fan structures at Muriwai Auckland New Zealand. J. Geol., 38, 1930.
- Bartrum J. A. Spilitic rocks in New Zealand. Geol. Mag., 73, 1936.
- Benson. The geology and petrology of the Great Serpentine-Belt New South Wales. Pt III, pt IV, pt V. Proc. Linnean Soc. N. S. Wales, 33, 1914; 40, 1915.
- Bernauer F. Kugelbasalte und ihre Begleitgesteine. Z. Dtsch. geol. Ges., 95, 1943.
- Bishop D. W. Ultrabasic pillow lavas from Cyprus. Geol. Mag., 97, № 1, 1960.
- Bloxam T. W. Pillow structure in spilitic lavas at Downan Point, Ballantrae. Trans. Geol. Soc. Glasgow, 24, № 1, 1960.
- Boissonnas J. Sur les structures concentriques de granites jeunes traversant le Pharusien du Hoggar (Sahara central). C. r. Acad. sci., 250, № 24, 1960.
- Bonney T. G. On columnar, fissile and spheroidal structure. Quart. J. Geol. Soc., London, 32, 1876.
- Bonney T. G., Raisin C. A. On the so-called «Spilites» of Jersey. Geol. Mag., 10, 1893.
- Born. Über die Erscheinungsform eines submarinen Ergusses. Z. Dtsch. geol. Ges., 74, 1922.
- Bryan W. H. Spherulites and allied structures. Pt. II. Proc. Roy. Soc. Queensland, 65, 1953 (1954).
- Bucher W. H. On oolites and spherolites. J. Geol., 26, 1918.
- Buddington A. F. Submarine pillow lavas of Southeastern Alaska. J. Geol., 34, 1926.
- Burling L. D. Ellipsoidal lavas in the Glacier National Park, Montana. J. Geol., 24, 1916.
- Burri C., Niggli P. Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. T. I. Zürich, 1945.
- Capps S. R. Some ellipsoidal lavas on Prince William Sound, Alaska. J. Geol., 23, 1915.
- Carstens H. On the orbicular structure in the norite of Romsaas, Norway. Norsk geol. tidssk., 37, H. 2, 1957.
- Cass J. G. Ultrabasic pillow lavas Cyprus. Geol. Mag., 95, № 3, 1958.
- Cloos W. Über Kugelgesteine. «Aufschluss», № 2, 12, 1961.
- Cole G. A., Gregory J. W. The variolitic rocks of Mont Genève. Quart. J. Geol. Soc., 46, 1890.
- Cox A. H. On a pillow-lava at Cwn Idwal, Carnarvonshire, North Wales. Proc. Geol. Assoc., London, 67, 1957.
- Cox A. H., Jones O. T. On various occurrences of pillow lavas in North and South Wales. Rept. Brit. Assoc. Advancement Sci., London, 1913.
- Dalmer K. Erläuterungen zur geol. Spezialkarte des K. Sachsens. I. Section Plaunitz Ebersbrunn. Bl. 124, 1885.
- Daly R. A. Variolitic pillow-lava from Newfoundland. Amer. Geologist, 33, 1902.
- Daly R. A. Variolitic pillow-lava from Newfoundland. Amer. Geologist, 36, N 2, 1909.

- Daly R. A. Igneous rocks and their origin. N. Y., 1914.
- Dana J. Characteristics of Volcanus. N. Y., 1890.
- Dathe E. Beitrag zur Kenntnis der Diabas-Mandelsteine. Jahrb. Königl. Preuss. geol. Landesanstalt, 1882, 1883.
- Davis W. The relations of the Triassic traps and sandstones of the eastern United States. Bull. Museum Compar. Zool. Harvard, 7, 1883.
- Davis W. The intrusive and extrusive trap sheets of the Connecticut Valley. Bull. Museum Compar. Zool., Harvard, 16 (Geol. ser. 2), 1889.
- Day, Sosmann a. Hostetter. The determination of mineral and rock densities at high temperatures. Amer. J. Sci., 37, 1914.
- Deles A. Sur les roches globuleuses. Mém. Soc. géol. France, 1852.
- Delesse M. Sur la variolite de la durance. Ann. Mines, Paris, 1850.
- Dewey H. a. Flett J. On some British pillow lavas and the rocks associated with them. Geol. Mag., 8, 1911.
- Donald C., Wayne Z. Pillow breccias in the Vanconver volcanic rocks and their origin. Bull. Geol. Soc. America, 71, N 12, 1960.
- Drescher-Kaden F. K. Zur Herkunft der dunklen Sphäroide des Adamello-Tonalites. Naturwissenschaften, 48, N 7, 1961.
- Duffaut P. Sur la genèse des «boules» de certains granites. Compt. rend. Soc. géol. France, № 7—8, 1957.
- Emerson B. Diabase pitchstone and mud inclosures of the Triassic trap of New England. Bull. Geol. Soc. America, 8, 1897.
- Escola P., Vuoristo U., Rankama K. An experimental illustration of the spilite reaction. Bull. Commiss. géol. Finland, N 119, 1938.
- Fairbairn H. W. Spilite and the average metabasalt. Amer. J. Sci., 27, № 158, 1934.
- Fairbanks H. W. The geology of Point Sal. Bull. Dept. Geol. Univ. California, 2, 1896.
- Fenner C. N. Features indicative of physiographic conditions prevailing at the time of the trap extrusions in New Jersey. J. Geol., 16, 1908.
- Feth J. H. a. Antony J. W. Spheroidal structures in Arisona volcanics. Bull. Geol. Soc. America, 59, N 12, 1948.
- Fouque F. Santorin et des éruptions. Paris, 1879.
- Foye W. G. Pillow structure in Triassic basalts of Connecticut. Bull. Geol. Soc. America, 35, 1924.
- Fuller R. E. The aqueous chilling of basaltic lava on the Columbia River plateau. Amer. J. Sci., 221, 1931.
- Fuller R. E. Tensional surface of certain basaltic ellipsoids. J. Geol., 40, 1932.
- Fuller R. E. Ellipsoid structures as the gigantic disperse phase of an emulsion. Bull. Geol. Soc. America, 51, 1940.
- Geikie A. Ancient volcanoes of Great Britain. London, 1897, v. II.
- Geinitz E. Über einige Variolite aus dem Dorathale bei Turin. Tschermaks mineral und petrogr. Mitt., 1878.
- Gilluly J. Keratophyres of Eastern Oregon and the spilite problem. Amer. J. Sci., 29 (5), 1935.
- Goldschmidt V. M. Geologisch-petrographische Studien im Hochgebirge des südlichen Norwegens. IV. Skr. Norske vidensk.-akad. Oslo, I, 1916.
- Grabau A. W. Principles of stratigraphy. N. Y., 1913.
- Gregory J. W. Variolitic diabases of the Fichtelgebirge. Quart. J. Geol. Soc., London, 47, 1891.
- Gregory H. E. Andesites of the Aroostook volcanic area of Maine. Amer. J. Sci., 4 ser., 8, 1899.
- Greig J. W. On the evidence which has been presented for liquid silicate immiscibility in the laboratory and in the rocks of Agate Point, Ontario. Amer. J. Sci., 15, 1928.
- Hatch F. H., Wells A. K., Wells M. K. The petrology of the igneous rocks. London, 1949.
- Heitman B. Ordovicke polstárovè lávy mezi obci točnikem a městem žebrakem. Acta Univ. Carolinae. Geol., N 9, 1954.
- Henderson. Ordovician submarine disturbances in the Girvan District. Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 57, Pt II, N 20, 1934.
- Henderson J. F. On the formation of pillow lavas and breccias. Trans. Roy. Soc. Canada, ser. III, 47, 1953.
- Holgate N. The role of liquid immiscibility in igneous petrogenesis. J. Geol., 62, N 5, 1954.
- Iddings J. P. Igneous rocks. V.VI, N. Y., 1909.
- Ishioka Kokichi. On orbicular esboite from the Amo mine, Central Japan. J. Earth Sci., 1, N 1, 2, 1953.
- Jaggar F. A. Monthly Bull. Havaian Vole. Observ. XIII, June, N 6, 1925.
- Jong J. D. Ein Kugeldioritgeschiebe von Eext (Provinz Drente, Niederlande) nebst Betrachtungen über die Entstehung der Kugelgesteine. N. Jahrb. Mineral., Geol., Paläontol., Monatshefte Abt. A., 1943.

- Jonston L. The South Italian Volcanoes. Geological notes of A careable by Signor Gaetan Platania, chap. II, p. 37, 1891.
- Kennedy G. C. Some aspects of the role of water in rock melts. Geol. Soc. America Spec. Paper, **62**, 1955.
- Lagorio A. Über die Natur des Glasbasis sowie der Krystallisationsvorgänge im eruptiven Magma. Tschermaks mineral. und petrogr. Mitt., **8**, 1887.
- Lehmann E. Eruptivgesteine und Eisenerze im Mittel und Oberdevon der Lahnmulde. Wetzelar, 1941.
- Lewis J. V. Origin of pillow lavas. Bull. Geol. Soc. America, **25**, 1914.
- McCallien W. J. A note on Dalradian pillow lavas, Strabane, Co. Tyrone. Proc. Roy. Irish Acad., Dublin, **43**, N 2, 1936.
- McKinstry H. E. «Pillow-lavas» of Borabora Society Islands (Discussion). J. Geol., **47**, N 2, 1939.
- Merriam R. H. Orbicular gabbro near Pine Valley, California. Bull. S. Calif. Acad. Sci., **57**, N 1, 1958.
- Michel R., Tane J. L. Découverte de laves en coussins (pillow-lavas) dans le Trias de la zone Dauphinoise (massif du Pelvoux). C. r. Acad. Sci. Paris, **250**, N 15, 1960.
- Michel-Levy A. Mémoire sur la variolite de la Durance. Bull. Soc. géol. France, **1877**.
- Misař Z. Orbiculární horniny Finska. Casop. mineral. geol., **4**, N 3, 1959.
- Moore E. S. Notes on the origin of pillow lavas. Trans. Roy. Soc. Canada, **24**, 1930.
- Murakami. Сферолитовые кварцевые порфиры, р-н Тёмонкё, префектура Ямагучи. Yamaguchi J. Sci., **6**, 1955.
- Narayanawami S. Occurrence of pillow lavas in the Kolar Schist belt. Current Sci., **24**, N 8, 1955.
- Peach B. N., Horne J., Teall J. J. H. The silurian rocks of Britain Mem. Geol. Surv. Scotland, **1**, 1899.
- Pichamuthu C. S. Pillow structures in the lavas of Dharwas age in the Chitaldrug district, Mysore state. Current Sci., Bangalore, **19**, N 4, 1950.
- Pichamuthu C. S. Variolites from Chitaldrug district, Mysore state. Current Sci., Bangalore, **21**, N 4, 1952.
- Pichamuthu C. S. Pillow lavas from Mysore State, India. Mysore Geol. Assoc., B., N 15, 1957.
- Popoff B. Eine neue Untersuchungsweise sphärolitischer Bildungen. Tschermaks mineral. und petrogr. Mitt., **23**, N 153, 1904.
- Popoff V. Sphäronthenbau und Strahlungskristallisation. Riga, 1934.
- Raisin C. A., Bonney T. G. On the variolite of the Lleyn. Geol. Mag., Hertford, **10**, 1893.
- Raisin C. A. Variolite of Lleyn and associated volcanic rocks. Quart. J. Geol. Soc., London, **49**, 1893.
- Reid C., Dewey H. The origin of the pillow lava near Port Isaac in Cornwall. Quart. J. Geol. Soc., London, **64**, 1908.
- Sabourin R. J. E. Les structures sphéroïdales dans les roches. Naturaliste Canad., **86**, 1959.
- Sampson. The Ferruginous Chert formation of Notre Dame Bay. Newfoundland J. Geol., **31**, 1923.
- Sargent H. G. On a spilitic facies of lower carboniferous lava-flows in Derbyshire. Quart. J. Geol. Soc., London, **73**, 1917.
- Satterly J. Pillow lavas from the Dryden-Wabigoon area, Kenora district, Ontario. Univ. Toronto Stud., Geol. Ser., N 46, 1941.
- Sederholm. Orbicular rocks. Bull. Commiss. Géol. Finland, N 38, 1928.
- Sederholm. On orbicular granites, spotted and nodular granites etc., and on the repacivi texture. Bull. Commiss. geol. Finland, N 83, 1928.
- Schroeder W. J. Découverte de ceulées de lave sous-malines dans le flysch de la nappe de la Brèche. Compt. rend. Soc. phys. et histoire natur. Genève, **55**, N 1, 1938.
- Shepherd E. S. Gases in rocks and some related problems. Amer. J. Sci., **35** A, 1938.
- Simmons W. P. Note on pillow lavas at Port Isaac, Cornwall. Trans. Roy. Geol. Soc. Cornwall, **17**, 1946.
- Scrope T. F. Considerations on Volcanos. 1825.
- Slavik F. Les «pillow-lavas» Algonkiennes de la Bohême. Compt. rend. XIV session Congr. Géol. Internat. Madrid, 1926.
- Snyder G. L., Fraser G. D. Intrusive layered lava pods and pillow lavas, Unalaska Island, Aleutian Islands. Bull. Geol. Soc. America, **69**, N 12, 1958.
- Stark J. T. Vesicular dikes an subaerial pillow-lavas of Borabora. Soc. Islands. J. Geol., **46**, 1938.
- Stark J. T. Pillow-lavas. Discussion. J. Geol., **47**, N 2, 1939.
- Stearns H. T. Pillow lavas in Hawaii (Abstract). Proc. Geol. Soc. Amer., 1938.
- Steiner A. Origin of ignimbrites of the North Island, New Zealand; a new petrogenetic concept. Wellington, New Zealand, 1960.

- Sundius N. Pillow-lava from the Kiruna District. Geol. Fören. i Stockholm förhandl., 34, 1912.
- Sundius N. On the spilitic rocks. Geol. Mag., 47, N 1, 1930.
- Taneda S. Mem. Fac. Sci. Kyusyu Univ., 3, N 3, 1952.
- Tanton T. Z. Evidence of liquid immiscibility in a sillcate magma Agate Point Ontario. J. Geol., 33, N 6, 1925.
- Thomas G. a. Thomas T. The volcanic rocks of the area between Fishguard and Sramble Head Pembrokeshir. Quart. J. Geol. Soc., London, 92, N 447, 1956.
- Hise van a. Leith. The geology of the Lake Superior Region. Monograph U. S. Geol. Survey, 52, 1911.
- Vodicka J. Výskyt kulového gabbrodioritu v nasavském plutonu. Časop. mineral. geol., 6, N 2, 1961.
- Vuagnat M. Sur quelques diabases Suisses. Contribution à l'étude du problème des spilites et des pillow lavas. Schweiz. mineral. und petrogr. Mitt., 26, 1946.
- Vuagnat M. Sur les variolites de Suisse près de Viege (Valais). Soc. phys. et histoire natur., 64, N 2, 1947.
- Vuagnat M. Remarques sur trois diabases en coussins de l'Oberhalbstein. Schweiz. mineral. und petrogr. Mitt., 28, H. 1, 1948.
- Vuagnat M. Sur les pillow lavas dalradiennes de la péninsule de Tayvallich (Agyllshure). Schweiz. mineral. und petrogr. Mitt., 29, H. 2, 1949.
- Vuagnat M. Variolites et spilites; comparaison entre quelques pillow lavas alpines et britanniques. Rept. 18 Internat. Geol. Congr. 1948. Great Britain, 1952.
- Vuagnat M. Les laves en coussins de l'Othrys, Grèce. Arch. Sci., 12, N 1, 1959.
- Vuagnat M. Les basaltes en coussins d'aci castello et du Val di Noto. Rend. Soc. mineral. ital., 15, 1959.
- Washington H. S. Submarine eruptions 1831 and 1891. Amer. J. Sci., 27, 1923.
- Watson K. P., Mathews W. H. Partly vitrified xenoliths in pillow basalt. Bull. Geol. Soc. America, 58, N 12, 1947.
- Watson K. P., Mathews W. H. Partly vitrified xenoliths in pillow basalt. Amer. Mineralogist, 33, N 3—4, 1948.
- Williams H., Turner F., Gilbert. Petrography. S. Francisco, 1954.
- Wilson M. The geology of the Kewagama Lake Map.-Area Quebec. Geol. Surv. Canada Mem., N 39, 1913.
- Wilson M. The geology of the Rhobell Fawidistrict Merioneth. Quart. J. Geol. Soc., London, 81, 1925.
- Wilson M. Keewatin rocks of Western Quebec. Bull. Geol. Soc. America, 53, 1942.
- Wilson M. E. Origin of pillow structure in early Precambrian lavas of Western Quebec. J. Geol., 68, N 1, 1960.
- Winchell R. K. The geology of the North part of St. Louis Country. Geol. and Natur. History Survey, 28, 1897.
- Wolff F. Der Vulkanismus. Stuttgart, 1914.
- Wood H. B. Pillow-lave structure in amphibolite. Bull. Geol. Soc. America, 62, N 12, 1951.
- Yagi Kenzo. Alcalic rocks of the nemuro peninsula with special reference to their pillow lavas. Internat. Geol. Rev., 2, N 10, 1960.
- Yamamoto Takashi. On the ball-andesite from Kuqino, in the vicinity of Minamata City, Kumamoto Prefecture. Bull. Kyushu Inst. Technol. Math. Natur. Sci., N 2, 1956.
- Zaccagna D. Sulla geologica della Alpi occidentali. Boll. R. Comit. Geol. d'Italia, 18, 1887.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Е. П. Зайченко, М. А. Фаворская. К истории развития взглядов на петрогенетическое значение явлений ликвации	
К. И. Карапетян. Шаровидные и ленточные обособления в трахилипаритах Геамского нагорья (Армянская ССР)	
Р. Т. Джрбачян, М. А. Фаворская. О шаровых образованиях в районе Пушкинского перевала (Армянская ССР)	
А. Х. Мнацакян. Шаровидные обособления в верхнемеловых обсидианах в районе с. Алпаут (Азербайджанская ССР)	35
С. Г. Карапетян. Шаровидные образования в обсидианах западных склонов Зангезурского хребта (Армянская ССР)	43
М. А. Фаворская. Шаровые лавы бассейна р. Кенцухе (Приморский край)	52
М. А. Фаворская. Шаровые лавы бассейна р. Малазы (Приморский край)	68
Е. П. Зайченко. Шаровые лавы района Нижнетюпского полиметаллического месторождения (Северный Тянь-Шань)	80
Литература	94

Петрографические критерии ликвации в кислых лавах

Труды Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, вып. 90

Утверждено к печати Институтом геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Академии наук СССР

Редактор Издательства Н. В. Знаменская. Технический редактор О. М. Гуськова

Сдано в набор 25/I 1963 г. Подписано к печати 10/IV 1963 г. Формат 70×108¹/₁₆. Печ. л. 6¹/₄.
Усл. печ. л. 8,56. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 1000 экз. Т-05225. Изд. № 1744 Тип. зак. № 5536.

Цена 56 коп.

Издательство Академии наук СССР, Москва, Б-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография Издательства АН СССР, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Цена 56 коп.

10956