

УДК 552.313

Г. П. БАГДАСАРЯН, К. Г. ШИРИНЯН

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МАГМООБРАЗОВАНИИ В СВЕТЕ ДАННЫХ СИМПОЗИУМА «ВУЛКАНЫ И ИХ КОРНИ»

Общие данные

Целью настоящего сообщения является ознакомление читателя с некоторыми основными представлениями многих зарубежных и ряда советских исследователей, доложенными на последнем вулканологическом симпозиуме в Оксфорде по проблеме магматизма.

Рассмотрение, хотя бы в основных чертах, некоторых аспектов проблемы генерации тех или иных магм и образования различных магматических пород в свете современных представлений ученых-магматистов различных континентов мира представляется, на наш взгляд, тем более неотложным, если учесть, что: 1) новейшие данные по указанным вопросам в докладах большого числа зарубежных и ряда советских исследователей будут опубликованы не так скоро; 2) доклады эти выйдут в свет на английском языке, что не всегда доступно для широкого круга геологов, занимающихся изучением различных магматических образований и связанных с ними полезных ископаемых.

Авторам настоящей статьи довелось в сентябре 1969 г. участвовать (с докладом) в работах симпозиума Международной ассоциации по вулканологии и химии недр Земли, созданного в Англии по проблеме «Вулканы и их корни», а также быть на геологических экскурсиях в Шотландском Среднегорье.

На симпозиум было представлено более 160 докладов, из коих 33 доклада — учеными Советского Союза. В работе симпозиума принимали участие около 300 ученых, представляющих тридцать стран мира. Наибольшими по численности были делегации Англии и США.

Советская научная делегация на симпозиуме была представлена 18 учеными. Возглавлял ее академик В. С. Соболев (Институт геологии и геофизики СО АН СССР).

Заседания симпозиума проходили по следующим тематическим секциям: 1. Кальдеры; 2. Тектонический и структурный контроль генезиса магм; 3. Плутонические нодулы; 4. Абсолютный возраст и изотопные исследования в приложении к проблемам вулканологии; 5. Предсказание вулканической активности и сейсмические методы обнаружения вулканов; 7. Экономические аспекты вулканологии; 8. Общие вопросы вулканизма; 6. Геофизические исследования корней вулканологии.

Программа симпозиума как по тематике, так и по числу участников была довольно обширной.

Ежедневно проводились параллельные заседания двух секций, поэтому заслушать все доклады практически было невозможно. Нами в основном были заслушаны доклады, близко отвечающие тематике наших исследований, а именно: 1) по общим вопросам вулканологии; 2) вулканоплутоническим образованиям центрального типа (кальдеры); 3) тектоническому и структурному контролю магмообразования; 4) абсолютному возрасту и изотопным исследованиям в применении к проблемам магматизма.

На одном из заседаний предпоследней секции нами был зачитан доклад «Тектонический и структурный контроль магмообразования в продолжении Альпийской тектоно-магматической стадии развития Армении». Все доклады представляли первостепенный научный интерес, в особенности для исследователей таких вулканических областей, как Армения.

На обсуждение был представлен большой фактический материал и заседания проходили в атмосфере оживленных дискуссий по многим актуальным вопросам. Наибольшие дискуссии вызывали доклады, где затрагивались те или иные аспекты проблемы происхождения магм.

Некоторые основные результаты симпозиума

В докладах, касающихся плутонических включений и алмазных трубок, был представлен довольно интересный материал, позволяющий уточнить наши представления о составе глубинного (мантийного) вещества Земли. Исследования в этой области и в особенности исследования крупного японского петролога Куно показали, что обнаруженные до сего времени во всем мире около 200 включений глубинного вещества Земли представлены ультраосновными породами. По составу это лерцолиты (с гранатом или без граната), дунит-верлиты, пироксениты, эклогиты, причем высказывается предположение о том, что главную составную часть верхней мантии составляют лерцолиты. Состав последнего в отношении главных компонентов ($MgO : \Sigma FeO$) колеблется в широких пределах, что может быть объяснено различной степенью плавления первичного мантийного материала и кристаллизационной дифференциацией. Состав исходной магмы колеблется от пикритов до базальтов.

Важным фактором является то, что ультраосновные включения характерны только для щелочных базальтоидов и отсутствуют в толеитах, что дает основание сделать вывод о петрологической разобщенности щелочных и толеитовых серий лав.

Как мы увидим дальше, этот вывод подтверждается материалами ряда других докладов, хотя в отдельных случаях выдвигались противоположные высказывания, на чем мы остановимся ниже.

По алмазным трубкам большой и интересный материал был доложен учеными Советского Союза, представившими четыре из семи заслушанных по этой проблеме докладов.

Наибольший интерес вызвал доклад академика В. С. Соболева «Проблема генезиса кимберлитов».

Открытие за последние годы кимберлитовых формаций Сибири, Индии, Западной Африки и Канады и большое внимание к проблеме верхней мантии, объясняют тот повышенный интерес, который ученые разных стран проявляют к проблеме кимберлитов.

К настоящему времени проблема кимберлитовой магмы является дискуссионной. Некоторые дают предпочтение роли карбонатитовой магмы в образовании кимберлитов, другие считают, что это ультра-основная щелочная магма с высоким содержанием алюминия. Спорным является также вопрос генезиса алмазов в кимберлитах.

Как выяснилось из обстоятельного доклада В. С. Соболева, из многих гипотез генезиса алмазов в кимберлитах в настоящее время дается предпочтение образованию алмазов в пределах стабильных полей верхней мантии, хотя имеются и сторонники другой гипотезы, допускающей образование алмазов в промежуточных камерах глубоких зон земной коры, в связи с локальным повышением давления. Имеются также сторонники, считающие, что алмазы образуются за счет органического углерода в промежуточных камерах на границе кристаллического основания и осадочного чехла коры.

Неясным является в настоящее время механизм формирования кимберлитовых трубок и сопровождающих их дайкообразных тел, известных как в древних кристаллических, так и осадочных породах.

В докладах, посвященных прикладному значению вулканизма, говорилось о большой роли вулканических явлений в образовании различных месторождений полезных ископаемых (Стантон, Австралия).

Более конкретно о генетической связи золото-серебряных, свинцово-цинковых, серноколчеданных и железо-марганцевых месторождений с вулканизмом, говорилось в докладе А. Кинкеля (США).

Представитель той же страны — А. Корнфильд говорил о перегретых парах, связанных с плиоцен-четвертичным вулканизмом в 100 милях севернее Сан-Франциско, на базе которых работает геотермическая электростанция.

О супергенных месторождениях урана, тория и марказита в четвертичных вулканитах Центральной Италии говорилось на совместном докладе Е. Локарди и М. Митемлергера.

Большое число докладов было заслушано на секции «Тектонический и структурный контроль магмообразования» и на секции, где были рассмотрены доклады по общим вопросам вулканологии.

На обеих секциях в основном рассматривались актуальные вопросы магмообразования, тектонического контроля генерации различных типов магм, вопросы взаимодействия первичных магматических расплавов с земной корой, вопросы магматической дифференциации и т. д.

В ряде представленных докладов рассматривались также вопросы, касающиеся структуры отдельных вулканов и истории их вулканической активности, тектонического контроля магматической активности.

петрографии, петрохимии и геохимии вулканических образований. Поэтому, касаясь итогов работы указанных двух секций, важно рассмотреть главные итоги тех докладов, где затрагивалась в той или иной степени главная проблема вулканологии — проблема магмы.

В докладе Э. Н. Эрлиха (СО АН СССР) в противоположность глубоко укоренившимся представлениям японского ученого Куно о существовании генетически различных типов базальтовых магм — щелочной, высокоглиноземистой и толентовой, была выдвинута точка зрения об изменении химического типа базальтов вследствие дифференциации в верхней мантии единой по составу толентовой магмы.

С весьма интересными докладами о происхождении высокоглиноземистых базальтов выступил известный вулканолог А. Ритман (Италия).

По мнению Ритмана, высокоглиноземистые базальты не имеют отношения к толентам или к другим типам базальтовых лав и могут быть рассмотрены лишь как «мела-андезиты», образованные путем анатексиса нижних частей сиалического слоя, который, согласно имеющимся предположениям, состоит из дегранитизированных пород коры.

Роль контактового анатексиса была особо подчеркнута в докладе В. Готтини (Италия), которая усматривала в этом причину локальных образований кислой магмы. В зависимости от состояния базальтовой магмы — как главного источника тепла при анатексисе — и контролирующей тектоники, она помимо простого плавления допускала возможность газового переноса из основной магмы в анатектическую — натрия, титана и железа. Выводы В. Готтини были основаны на новых предложенных ею диаграммах, представляющих соотношения логарифма коэффициента Ритмана ($r = (Na_2O + K_2O)^2 : (SiO_2 - 43)$) и логарифма коэффициента — $r = (Al_2O_3 - Na_2O : TiO_2)$.

Значение новой диаграммы В. Готтини заключается в том, что она дает возможность, в отличие от ранее применяемых диаграмм, разграничить кратогенные симатические магмы от орогенных сиалических магм.

О структурном контроле щелочно-базальтовых и толентовых магм говорилось в докладе П. Гусенса (Эквадор): щелочные базальты Эквадора контролируются широтным глубинным разломом, а толентовые — разломом меридионального направления, что указывает на пространственную разобщенность двух типов магм по причине различных уровней их генерации.

О различных глубинах возникновения щелочной и толентовой магм говорили и японские ученые С. Педа и А. Сигимура в докладе «Процессы под островными дугами». На основании геологических и геофизических данных ими установлена различная глубина генерации первичных магм (120—300 км), которая поднимаясь расплавляет окружающие породы на глубинах от 100 до 30 км, в пределах которых на-

ходятся в состоянии равновесия различные составы магм (толеиты и щелочные базальты).

В представленных на симпозиум тезисах доклада «Зависимость состава магмы от геологических структур и типов различных нарушений» Е. Ф. Малее (СО АН СССР) на примере Карпат показал, что базальтовый вулканизм ассоциирует с глубинным разломом, достигающим подкоровых магматических очагов (150 км и более), тогда как кислые продукты связаны с неглубокими разрывными нарушениями, достигающими дифференцированных очагов близповерхностных коровых магм (10—25 км). Он же указал на пространственную разобщенность нарушений, расположенных перпендикулярно одна к другой, что говорит о самостоятельности основных и кислых серий магм.

Дж. Томблин (Вест-Индия) в докладе «Тектонический и структурный контроль генезиса магм на Малых Антильских островах» говорил о том, что появление кислых серий магм во времени является отражением поступательного накопления корового материала под островными дугами. Причем появление андезитовых магм объясняется им погружением под островными дугами базальтовой коры и последующим ее частичным плавлением.

Проблема андезитовых магм была затронута также в докладе В. Ф. Белого (СССР). Рассматривая тектонические условия развития андезитового вулканизма в Охотско-Чукотском поясе, где в ранней стадии вулканизма (апт-турон) преобладали породы андезитового состава (70—71%) и игнимбриты гранитового состава (27—28%), а базальты составляли всего 2% объема всех изверженных пород, он указал, что характер эволюции андезитового вулканизма и его парагенетические соотношения с другими типами пород дают основание полагать, что андезитовая магма генерируется в вертикальном разрезе земной коры, между полями генерации базальтовых и гранитоидных магм. Одновременное существование гранитоидных и андезитовых магм объясняется особенностями второй половины ранней стадии эволюции Охотско-Чукотского вулканического пояса.

Роль мобилизации гранитов в генерации кислых магм была подчеркнута в докладе Сиднера (Англия) «Риолитовый вулканизм Юго-Западной Африки». Остановливаясь на характерных особенностях центрального кислого вулканизма Юго-Западной Африки, он указал, что в результате трехкратного извержения при формировании кальдеры и фельзитовых даек, было выжато 2000 км³ риолитовой магмы. На основании изучения редких элементов и соотношения изотопов стронция делается вывод о наиболее вероятном механизме генерации риолитов путем частичного плавления с мобилизацией гранитов фундамента.

На важную роль контаминации мантийной магмы породами коры в истории формирования вулканических пород Центральной Невады указал Виталино (США). Породы Центральной Невады образуют модальный ряд от оливниновых базальтов до андезитов и представлены высокоглиноземистым известково-щелочным типом. Вывод основывается

ся на изучении рассеянных элементов и в первую очередь Ba^{++} и Sr^{++} , содержащихся в исследованных породах в значительно больших количествах, чем они могли быть в базальтах и андезитах, выплавленных из мантии или нижних частей коры.

Геологи Б. Гун (Канада) и Ф. Музер (Мексика) свой доклад посвятили третичным и современным лавам и туфам Мексики, приуроченным к двум субпровинциям: 1) меридиональной или кордильерокой, представленной риолитовыми игнимбритами, содержащими прослойки тонких базальт-андезитовых потоков, и 2) широтной, представленной главным образом андезитовыми стратовулканами и небольшими конусами оливновых базальтов и андезито-базальтов. Основным направлением эволюции лав является: риолиты (или игнимбриты) — андезиты — оливновые базальты.

Указанными исследователями проанализировано 150 представителей лав на главные и рассеянные элементы. При этом средние K/Rb , K/Th отношения и содержания редких земель в андезитах отвечают средним содержаниям тех же элементов в земной коре.

На основании этих данных и сравнений с гибридизированными и дифференцированными породами других провинций авторы приходят к выводу, что роль контаминации и дифференциации в образовании третичных и современных вулканических образований Мексики очевидна.

Учитывая вышесказанное, нетрудно заметить, что на современной стадии изучения проблемы мапмы, несмотря на дискуссионность ряда вопросов, складывается почти общее представление о большой роли земной коры как источника генерации родоначальных магм и среды, где имеют место процессы контаминации и дифференциации первичных мантийных магм.

Однако было бы неправильно считать, что такая постановка вопроса объясняет все особенности химического разнообразия вулканических пород в целом.

Об этом свидетельствует ряд докладов, прослушанных на симпозиуме, авторы которых подчеркивали роль магматической и кристаллизационной дифференциации в формировании различных петрографических серий пород.

Так, например, группа английских ученых — Р. Томсон, Ж. Эссон и А. Дунгам находили в дифференциации раннеэоценовых лав острова Скай причину их разнообразия, выраженного в наличии афанитов, нормальных базальтов, гавайитов, муджеритов.

Описываются базальты, содержащие только фенокристаллы оливины, без плагиоклаза, объясняя выделение указанных минералов из расплава процессами кристаллизационной дифференциации в магматической камере.

Т. Джексон (Вест-Индский Университет) в описании вулканических пород острова Карриаку отмечает, что они представлены агломератами и туфами ($\sim 60\%$), лавовыми потоками ($\sim 30\%$) и лавовы-

ми куполами ($\sim 10\%$), принадлежащими четырем вулканическим фазам: верхн. эоцен (андезитовые купола и потоки), верхн. эоцен — нижний миоцен (базальты), миоцен (андезито-базальтовые потоки и купола), плиоцен (базальтовые дайки).

Колебания кремнекислоты от базальтов до андезитов составляют от 44 до 62%.

Базальты представлены двумя минералогическими типами: мегафировыми-клинопироксеновыми и микрофировыми оливиновыми; последние отличаются от первых высоким содержанием MgO и низким Al_2O_3 . Оба типа, как и все базальты Малых Антильских островов, необычайно богаты темноцветными минералами.

Причину эволюции пород острова Карриаку Джексон видит в дифференциации первичной базальтовой магмы.

В докладе «Редкие элементы в вулканических породах Камчатки и Курильских островов» Л. Леонова и Н. Удальцова (СССР) предполагают, что распределение редких и радиоактивных элементов отражает неоднородность их распределения в верхней мантии и не связано с ассимиляцией пород коры. Однако они считают не совсем ясной природу наблюдаемых неоднородностей мантии. Добавим еще, что преобладающим типом пород Курило-Камчатского пояса являются андезиты.

Прежде чем перейти к результатам работ других секций, вкратце остановимся на совместном докладе Бернарда Гуна (Канада) и Д. Ваткинса (Флорида) «О петрологическом эффекте одновременного охлаждения базальтового и риолитового магм».

В этом интересном сообщении была описана дайка мощностью 30 м, состоящая из центрального риолитового ядра и базальтовых флангов с узкой переходной зоной гомогенизированной гибридной породы между ними. Состав гибридной части дайки меняется от андезита к дацит-риолито-дациту. Этот пример с достаточной убедительностью говорит о возможности смешения двух контрастных типов магм.

Довольно интересные доклады были представлены на секции «Абсолютный возраст и изотопы в приложении к проблемам вулканологии». Не вдаваясь в разбор всех 25 сообщений, сделанных на этой секции, остановимся лишь на тех из них, которые имеют непосредственное отношение к проблеме магмы.

Совместный доклад Р. Армстронга, Р. Скотта (США) и Дж. Даш и Р. Несбита (Австралия) показал, что изотопные отношения Sr^{87}/Sr^{86} игнимбритов Большого бассейна (США) и связанных с ними вулканических образований не постоянны и меняются в зависимости от времени извержения, положения вулканических центров и состава магм.

Авторы объясняют изменения этих отношений не только случаями контаминации, но и неоднородностью изотопных отношений Sr^{87}/Sr^{86} в разрезе верхней мантии и низов коры, в пределах которых были генерированы изученные магматические ассоциации.

А. Ковач (Венгрия) изучил отношения Sr^{87}/Sr^{86} в средних и кислых вулканитах третичного возраста Венгрии и пришел к заключению,

что наблюдается параллелизм между избытком в содержании радиогенного стронция и эволюцией вулканических процессов в целом. Интересно, что в начальной стадии вулканизма (фаза стратовулканов) отношение Sr^{87}/Sr^{86} возрастает монотонно, достигает максимума в стадии кальдерного обрушения и главного пароксизма и снова возрастает, но слабо, в финальной стадии вулканизма. Принимая во внимание, что магматические очаги стратовулканов расположены глубже, чем магматические очаги последующих извержений, А. Ковач высказал предположение о роли контаминации в образовании избытка радиогенного стронция в ходе магматической эволюции. В противоположность средним типам пород, риолитовые разновидности вулканитов не обнаруживают заметных колебаний в отношении Sr^{87}/Sr^{86} во времени, что объясняется полной коровой природой кислых магм.

В докладе «Изотопы свинца и стронция в вулканических породах Японии», японский ученый Курасава отметил, что изотопы свинца в первичных базальтах проявляют тенденцию уменьшения радиоактивной составной при переходе от Тихоокеанской части Центрального Хонсю к Японскому морю. Интересно отметить, что в этом направлении, т. е. при переходе к континентальной зоне, происходит смена толентовых базальтов щелочными и увеличение количества радиоактивного стронция.

В дифференцированных сериях лав отношения Pb^{206}/Pb^{204} — незначительны, а отношения Sr^{87}/Sr^{86} выше, чем у базальтов.

Источником радиогенного свинца автор считает ассимилированные докембрийские породы низов коры.

Более подробный доклад о соотношениях Sr^{87}/Sr^{86} на материале изучения более пятисот континентальных и океанических вулканических пород сделал Ж. Пауэлл (США) в докладе «Изотопный состав стронция в вулканических породах».

Указывая на избыточность радиогенного стронция в вулканических породах континентов, Ж. Пауэлл высказывает убеждение, что радиогенный стронций наследуется от древних пород при их частичном плавлении или в результате интенсивной контаминации магм. При этом, кристаллизационной дифференциации им не отводится такой роли, как думают обычно. Захват радиогенного стронция из пород коры наблюдается даже в мафических лавах.

В докладе «Свинец в лавах Гавай», М. Тацумото (США) на основании изучения свинца, урана и тория в лавах Гавайских островов пришел к убеждению, что щелочные базальтовые магмы образовались из толентовой магмы, или источники обеих магм находились в тесной ассоциации. Им отмечалось также, что зависимость между временем формирования вулканов и радиогенной характеристикой их продуктов отсутствует, что говорит о том, что источники базальтов различных вулканов не являются одними и теми же.

Из докладов, заслушанных по остальным секциям, следует остановиться на сообщении американского ученого Дж. Грина «Лунные каль-

дерн». В докладе было подчеркнуто, что лунная поверхность имеет главным образом вулканическую природу, что доказывается как морфологически, так и химическими особенностями лунных образцов. Автор отрицал ударное происхождение многих лунных кратеров, сравнивая их с соответствующими аналогами вулканических кратеров на Земле.

Ссылаясь на фотографии Аполлона-9, автор обращал внимание на слоистое залегание пирокластики или потоков на стенках лунных кальдер.

В заключение отметим, что большой интерес представляли экскурсии. Так, осмотр обнажений в зоне шельфа Северного моря дал возможность ознакомиться с интрузиями трахитовых фонолитов — субвулканическими базальтами, дайками и некками туфов и щелочными лавами, кварц-долеритовыми и щелочно-долеритовыми силлами.

Были осмотрены также различные типы щелочных серий лав палеозоя Шотландского Среднегорья, морфологические особенности хорошо обнаженных корней вулканических тел.

Приведенные выше краткие данные отмечают некоторые достижения за последние годы в зарубежных и отечественных научно-исследовательских организациях, занимающихся разработкой различных аспектов проблемы магматизма. Внимание, уделяемое этой проблеме, объясняется ее важным научно-теоретическим значением в выяснении вопросов магмообразования, с которыми генетически связаны и процессы рудообразования.

Все вышесказанное, мы надеемся, окажет некоторую помощь в теоретических исследованиях наших ученых, занимающихся различными аспектами проблемы магматизма и связанной с ним эндогенной минерализации.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 9 IV 1971