

ДАВИД СТЕПАНОВИЧ ДЖЕРБАШЯН*

ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗВЕСТКОВО-ЩЕЛОЧНОЙ СЕРИИ ВУЛКАНА АРАГАЦ (АРМЯНСКАЯ ССР)

(Рис 2, Табл. 3)

Резюме: Методами термобарометрии расплавных и флюидных включений определены физико-химические параметры кристаллизации лав вулкана Арагац (N_2 -Q). Показано, что формирование изученной известково-щелочной серии протекало в результате совместного проявления фракционной кристаллизации исходного расплава оливин-толеитового состава и ассимиляции сиалического материала в пределах коры.

Abstract: Physical-chemical parameters of the crystallization process of the volcano Aragats magmas (N_2 -Q) were determined using the methods of investigation of melt and fluid inclusions in minerals. It was shown that the formation of searching calc-alkali rock-series was the result of fractional crystallization of the primary Ol-tolite magma together with assimilation of sial crust material.

Арагац является крупнейшим стратовулканом на территории Армянской ССР, сформированным в неоген-четвертичное время. Вулкан приурочен к узлу пересечения двух крупных, фиксируемых системами глубинных разломов, вулканоструктурных зон — Северной вулканической дуги Армянского нагорья, характеризующейся андезито-базальт — андезитовой вулканической серией, и Транскавказского поперечного поднятия, контролирующего центры излияний долеритов (Капетян, 1969).

Результаты работ, проведенных рядом исследователей (Ширинян, 1970; Гуксян, 1985 и др.) позволили отнести арагацкий вулканический комплекс к комагматичной известково-щелочной серии с гаммой пород от базальтов до дацитов. В вопросе о механизме эволюции расплава мнения разделились: для объяснения наблюдаемого чередования основных, средних и средне-кислых лав привлекаются или процессы глубинной магматической дифференциации (Гуксян, 1985) или совмещение последних с ассимиляцией сиалического материала (Ширинян, 1970).

Продукты вулканизма представлены эффузивными, эксплозивными и экструзивными образованиями с преобладанием первых. Согласно схеме Ю. Г. Гуксяна, вулканическая деятельность осуществлялась в четыре этапа (I, II, III, IV) с гомодромной последовательностью излияния лав внутри каждого этапа. Наиболее представительным по проявленному набору вулканитов оказался третий этап (базальты, андезито-базальты, андезиты, андезито-дациты, дациты), который и явился основным объектом исследования настоящей работы. При этом было предпринято экспери-

* Д. С. Джербашян, Институт геологических наук АН Арм. ССР, пр-т марш. Баграмяна, д. 24а, 375 019, Ереван.

ментальное изучение расплавных и флюидных включений для выяснения физико-химических параметров кристаллизующихся расплавов.

Эксперименты проводились в специальной микротермокамере с инертной газовой средой, позволяющей достигать в рабочем объеме температуры порядка 1500 °С при незначительных горизонтальных и вертикальных градиентах температурного поля, с одновременным оптическим

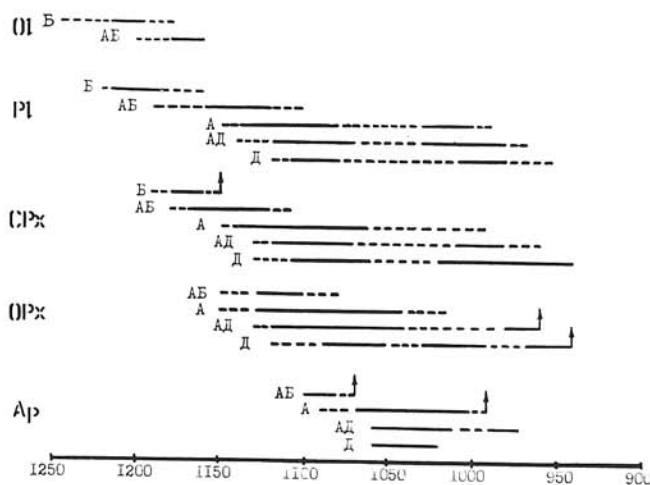


Рис. 1. Температуры кристаллизации минералов (°С).

Пояснения: Пунктиром показаны интервалы, в пределах которых зафиксированы единичные температуры. Б — базальты, AB — андезито-базальты, А — андезиты, АД — андезито-дациты, Д — дациты.

наблюдением. Измерение температур производилось платино-родиевой термопарой. Согласно (С о б о л е в и др., 1985) точность оценивалась в ± 20 °С. Температуры гомогенизации фиксировались в соответствии с методическими рекомендациями, приведенным в той же работе.

Изученные в прозрачных минералах (оливин, плагиоклаз, пироксен и апатит) расплавные включения характеризуются различными соотношениями кристаллических, стекловатых и флюидных фаз с увеличением содержания двух последних во включениях вкрапленников более кислых пород, а также от центров кристаллов к их периферии. Набор минералов-узников включений соответствует ассоциациям фенокристаллов, что указывает на качественную близость микро- и макросистем и повышает надежность данных, полученных в ходе экспериментов. Результаты термометрии расплавных включений сведены на диаграмме (Рис. 1) и в таблице 1.

Наиболее низкие температуры, зафиксированные по каждой породной группе условно приравнивались нами к температуре быстрого подъема и излияния соответствующих лав. Температуры солидуса определялись

Т а б л и ц а 1

Результаты термометрии расплавных включений

порода	интервал кристаллизации (Т °С)	солидус (Т °С)	примерная температура излияния (°С)
базальт	(1240) 1220—1160 (1150)	800	1150
андезитобазальт	(1200) 1190—1080 (1070)	770	1070
андезит	1150—1000 (990)	730	990
андезитодацит	1130— 960	670	960
дацит	1120— 940	600	940

Примечание: числа в скобках — результаты единичных измерений.

по началу плавления во включениях. При термометрических экспериментах корреляция составов фенокристаллов с температурой их образования не систематическая, однако, в целом снижение магнезиальности вкрапленников оливина и пироксена, а также содержания кальция в плагиоклазе сопровождается падением температуры кристаллизации, что является признаком существенной роли фракционного механизма кристаллизации в процессе эволюции расплавов.

В ходе экспериментов, при нагревании расплавных включений фенокристаллов основных пород, выявлено раннее плавление узников магнетита.

Анализ термометрических данных и изучение взаимоотношений расплавных и кристаллических включений дает следующий ряд доминирующих ассоциаций порообразующих минералов для всей серии в целом: $Ol_{1240\text{ }^{\circ}\text{C}} - (Ol + Pl)_{1220\text{ }^{\circ}\text{C}} - (Ol + Pl + cPx)_{1190\text{ }^{\circ}\text{C}} - (Pl + cPx)_{1160\text{ }^{\circ}\text{C}} - (Pl + cPx + oPx + Mt)_{1150\text{ }^{\circ}\text{C}}$. Особенности приведенного ряда являются ранняя кристаллизация оливина, переход к оливин-плагиоклазовой котектике, несколько более позднее присоединение к ним клинопироксена, последующая смена оливина ортопироксеном и поздняя кристаллизация магнетита. Увеличение температуры гомогенизации включений при выдержке при высоких температурах ($\geq 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) свидетельствует о наличии воды в расплаве (С о б о л е в и др., 1985). Определенные значения возрастания температур на основе данных работ (Д а н ю ш е в с к и й и др., 1985, Ка м е н е ц к и й и др., 1985) позволяют оценить содержание воды в базальтах на уровне 0,3 мас.%, в андезито-базальтах — 0,5 мас. %.

Изучение сингенетических расплавных и флюидных включений показало, что уже на ранних стадиях эволюции ($T = 1210\text{ }^{\circ}\text{C}$) расплав был насыщен флюидом. По данным криометрии в составе флюида доминирующая роль принадлежала CO_2 (тройная точка $-57,2 - -57,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Значение парциального давления CO_2 , рассчитанного по известной методике (Б а р с у к о в и др., 1981) изменяются в интервале 6,2—0,6 кбар. с максимумом в базальтах и андезито-базальтах.

Эволюция химизма арагацкой известково-щелочной серии в свете приведенных экспериментальных данных рассматривается ниже.

На вариационных диаграммах (рис. 2) приведено распределение состава

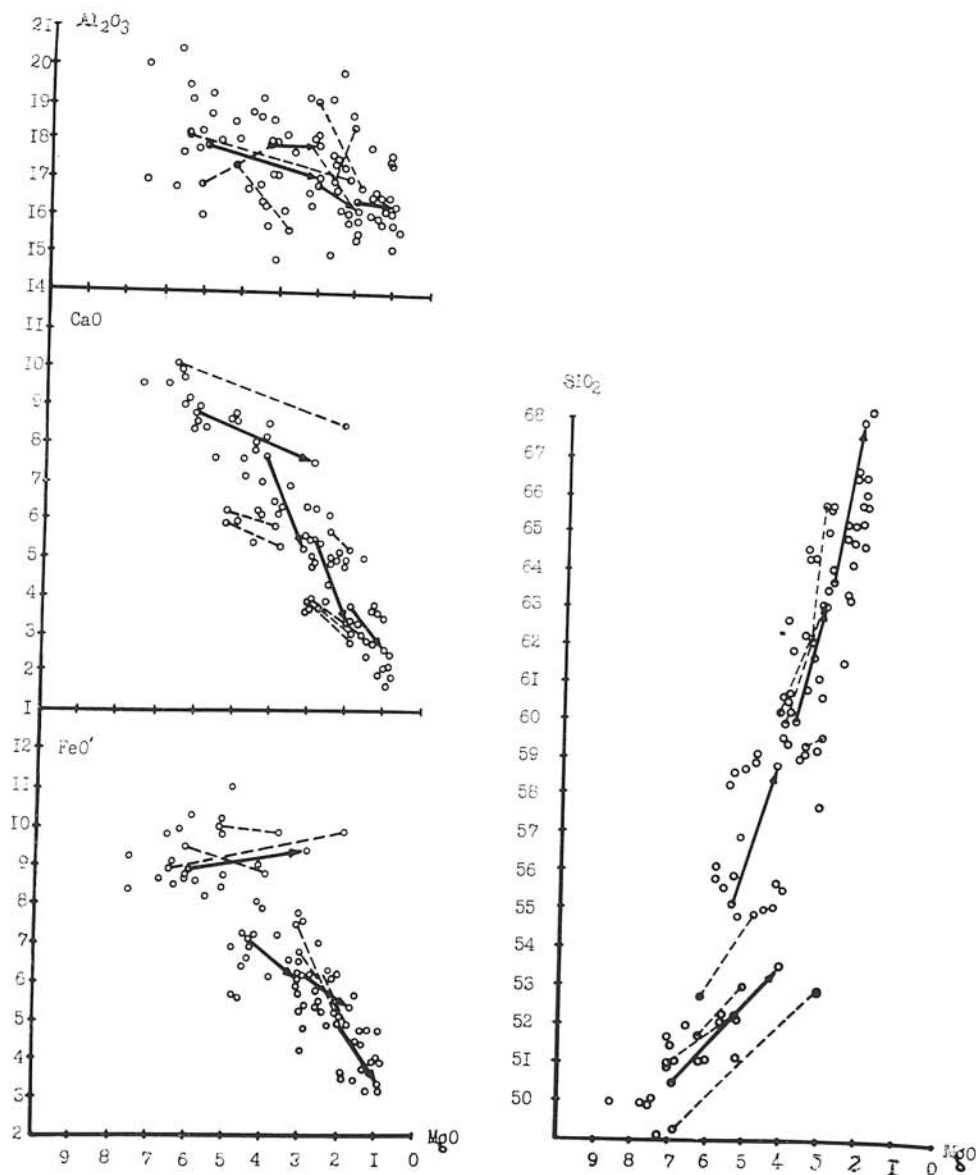


Рис. 2. Вариационные диаграммы составов лав вулкана Арагац.

Пояснения: Пунктиром соединены валовые составы пород с составами соответствующих им базисов. Сплошные линии соединяют в каждой группе пород средний валовый состав с составом среднего базиса. Содержание окислов приведено в мас. %.

Т а б л и ц а 2

Средние содержания петрогенных окислов в породах и базисах вулкана Арагац (III этап) (мас. %)

породы и базисы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO*	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
базальт**	50,50	17,97	1,12	8,88	0,17	8,80	5,99	3,92	1,67
базис базальта (6)	53,39	17,15	1,34	9,37	0,13	7,61	3,15	3,85	2,11
андезитобазальт**	55,30	17,86	1,06	6,96	0,12	7,52	4,32	3,54	2,24
базис андезито-базальта (3)	58,52	18,01	0,84	6,24	0,08	5,31	3,28	4,06	2,83
андезит**	60,14	16,45	0,72	6,18	0,10	5,38	2,86	3,87	2,67
базис андезита (6)	63,14	16,45	0,73	5,55	0,03	3,23	2,08	4,02	3,56
андезитодацит**	63,74	16,49	0,69	4,85	0,08	3,54	1,91	4,09	3,21
базис андезито-дацита (4)	67,80	16,33	0,53	3,69	0,06	2,75	1,01	3,85	3,57
дацит**	66,08	16,09	0,68	3,85	0,05	2,69	1,28	4,32	4,00

Примечания: * — суммарное железо в двухвалентной форме; ** — данные взяты из работы (Г у к а с я н, 1985); цифры в скобках — число анализов.

вов в ряду базальт — дацит. Разнонаправленность линий, соединяющих валовые составы основных пород и соответствующих им базисов на диаграмме Al₂O₃—MgO и близость их ориентировки на диаграммах CaO—MgO, FeO*—MgO, SiO₂—MgO свидетельствует о селективном фракционировании оливина и клинопироксена при значительных колебаниях плагиоклаза в экстракте, что явилось вероятной причиной широкого разброса точек на диаграмме Al₂O₃—MgO.

Совокупность составов характеризуется не унимодальным распределением: довольно отчетливый статистический минимум устанавливается между базальтами и андезито-базальтами.

Авторы ряда работ (П о п о в, 1982 и др.) указывают на генетическую автономность основных, средних и кислых породных групп известково-щелочных серий, не отрицая, в то же время, существования их геохимической сопряженности. При этом фракционная кристаллизация часто отвергается как связующий механизм этих автономных групп. Эта точка зрения подтвердилась при изучении арагацкой известково-щелочной серии. Направления соединительных линий «валовый состав-базис» на диаграмме FeO*—MgO фиксируют обогащение железом остаточного расплава базальтовой группы пород. Феннеровский тренд на начальных этапах фракционирования сменяется затем известково-щелочным трендом, начиная от расплавов андезито-базальтового состава. Об этом говорит также сравнение средних составов базиса более основных пород со средними валовыми составами более кислых, которое выявляет значительный разрыв в пределах основных породных групп и близость в средне-кислых (Табл. 2).

В установленной термометрическими экспериментами последователь-

Таблица 3

Средние содержания петрогенных окислов в породах (мас. $\%$)

порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO*	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
базальты**	50,50	17,97	1,12	8,88	0,17	8,80	5,99	3,92	1,67
вул. Арагац	49,48	17,27	1,36	10,30	0,17	9,62	5,70	3,62	1,34
долериты**									

Примечания: * — суммарное железо в двухвалентной форме; ** — данные из работы (Гук а с я н, 1985); *** — данные из работы (А с л а н я н и др., 1980).

ности кристаллизации минеральных ассоциаций магнетит появляется в самом конце. Петрографическим подтверждением этого является незначительное (доли процента) содержание вкрапленников этого минерала в базальтах и андезито-базальтах. Подавленность кристаллизации магнетита исключает фракционную модель кристаллизации как механизм трансформации базальтового расплава в андезито-базальтовый. Как показали расчеты балланса масс, выделение из системы лишь темноцветных силикатных минералов и плагиоклаза приводит к обогащению остаточного расплава железом.

Неудовлетворительным оказывается и объяснение генезиса базальтов в качестве кумулятивных образований, связанных с кристаллизацией андезито-базальтового расплава, который некоторыми авторами признается исходным для арагацкой серии: добавление только темноцветных силикатных минералов не может привести к значительному обогащению базальтов железом без его еще большего обогащения магнием, что не будет соответствовать действительному соотношению этих элементов в базальте (Табл. 3); присоединение к этой добавке магнетита в больших количествах невозможно ввиду подавленности его кристаллизации в андезито-базальтах.

Резко отличным от описанного оказывается отрезок эволюции от андезито-базальта к андезиту. Уменьшение содержания MgO в этом интервале более чем в два раза превышает уменьшение содержания FeO* (Табл. 2). Такие соотношения делают возможным эволюцию андезито-базальтового расплава при фракционировании оливина, пироксена и незначительного количества магнетита в направлении, типичном для известково-щелочных серий. Это, в частности, видно и по направлению соединительных линий «андезито-базальт — базис андезито-базальта» на вариационной диаграмме FeO*—MgO (Рис. 2).

Вместе с тем, взаимосвязь базальтов и андезито-базальтов по геохимическим признакам (Гук а с я н, 1985), сходная геодинамическая позиция, сопряженность во времени и пространстве, а также данные термобарометрии говорят о том, что исходным для серии был именно субщелочной базальтовый расплав.

Трансформацию его в «промежуточный» андезито-базальтовый расплав допустимо объяснить процессами ассимиляции твердого или предварительного расплавленного корового материала. Экспериментальные данные (Бабанский и др., 1983), а также моделирование процесса ассимиляции расчетным путем (Попов, 1982) подтверждают теоретическую возможность этого процесса. В пользу этой гипотезы говорит и присутствие в андезитах минералов (оливинов, плагиоклазов и клинопироксенов) с аномально высокой (до 1200 °C) температурой гомогенизации расплавных включений, очевидно, являющихся реликтами кристаллизации основных расплавов. Вероятным проявлением процессов ассимиляции (смещения) является и широкое развитие в описываемом районе эксплозивных образований. По мнению некоторых авторов (Sparks et al., 1977 и др.) процессы смещения могут рассматриваться как «спусковой механизм», вызывающий вулканические извержения взрывного типа.

Изучение химизма продуктов вулканизма I, II и IV этапов, контрольное термометрирование и барометрирование включений в минералах показали большое сходство этих данных с таковыми III этапа. На вариационных диаграммах точки составов пород I, II, III, IV этапов обнаруживают близость в распределении в пределах каждой породной группы и для всего комплекса в целом. Это позволяет сделать предварительный вывод о приложимости результатов исследований по III этапу ко всей арагацкой известково-щелочной серии.

Касаясь вопроса о составе первичной жидкости, приведшей к возникновению исходного для арагацкой серии субщелочного высокоглиноземистого расплава, нельзя не подчеркнуть широкое развитие на западной периферии вулкана Арагац, вдоль Транскавказской зоны растяжения и поднятия верхнеплиоценовых долеритов (оливиновых толеитов) обладающих сходным субщелочным глиноземистым уклоном. При допущении их генетической связи (Табл. 3), несколько более высокую магнезиальность и глиноземистость и пониженную железистость арагацких базальтов можно объяснить обособлением расплава последних на определенном, промежуточном этапе эволюции по феннеровскому пути первичной оливин-толеитовой магмы. Согласно экспериментальным данным, обогащение плагиоклазом эвтектического состава в системе $Ol + Pl + cPx$ происходит при давлении 7 кбар (25 км) (Попов, 1982). При больших давлениях возрастает относительное количество оливина, при меньших — клинопироксена. В этой связи, можно допустить, что быстрый подъем оливин-толеитовой магмы с переходом без задержек глубины 25 км способствует преимущественной кристаллизации темноцветных минералов с относительным обогащением расплава железом и обеднением его магнием. Обособление же порций этой магмы на указанных глубинах может привести к обогащению конечных продуктов глиноземом без сильного обогащения железом и обеднения магнием. Можно предположить, что долериты и арагацкие базальты являются продуктами этих разных механизмов эволюции и подъема первичного оливин-толеитового расплава. Зафиксированная в некоторых термометрических опытах ранняя кристаллизация оливина, при отсутствии ликвидусного плагиоклаза, возможно, и является отражением былой «оливин-толеитовой» истории развития арагацких базальтов.

Основные результаты выполненного исследования можно суммировать следующим образом:

1. Формирование известково-щелочной серии вулкана Арагац происходило в широком интервале температур (1240—940 °C) и давлений (7(?)—6,2—0,6 кбар).
2. Подавленность кристаллизации магнетита исключила возможность щелочноземельной направленности эволюции базальтового расплава.
3. Трансформация базальтового расплава в андезито-базальтовый, с последующим проявлением боуэновского тренда в эволюции является следствием процессов ассимиляции сиалического вещества.
4. Формирование известково-щелочной серии вулкана Арагац в целом объясняется совмещением процессов фракционной кристаллизации и ассимиляции.
5. Состав первичной магмы, приведшей к формированию указанной серии, по-видимому, отвечал оливиновому толеиту.

ЛИТЕРАТУРА

- АСЛАНЯН, А. Т. — ШИРИНЯН, К. Г. — КАРАПЕТАН, С. Г., 1980: Петрогенетические аспекты вулканизма Тавро-Кавказского орогена. В кн.: Международный геологический конгресс XXVI сессия. Докл. сов. геологов. «Петрология», Москва, с. 58—66.
- БАБАНСКИЙ, А. Д. — РЯБЧИКОВ, И. Д. — БОГАТИКОВ, О. А., 1983: Эволюция щелочно-земельных магм. Москва, с. 79—83.
- БАРСУКОВ, В. Л. — КОГАРКО, Л. Н. — РОМАНЧЕВ, В. П., 1981: Физико-химические параметры дифференциации щелочно-базальтовых магм островов Южной Атлантики. Геохимия (Москва), 12, с. 1816—1844.
- ГУКАСЯН, Ю. Г., 1985: Петрохимия верхнеплиоцен-четвертичных вулканических образований Арагацкого вулканического массива. Изв. АН Арм. ССР, «Науки о Земле», 3, с. 28—35.
- ДАНИЮШЕВСКИЙ, Л. В. — СОБОЛЕВ, А. В. — ЗЛОБИН, С. К. и др., 1985: Петрология бонинитов жёлоба Тонга. VII Всесоюз. совещание по термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов. Тезисы докл. (Львов) 1, с. 135—137.
- КАМЕНЕЦКИЙ, В. С. — СОБОЛЕВ, А. В. — ДАНИЮШЕВСКИЙ, Л. В. и др., 1985: Фракционирование примитивных толеитов океанических рифтов Атлантики. VII Всесоюз. совещание по термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов. Тезисы докл. (Львов) 1, с. 137—138.
- КАРАПЕТАН, К. И., 1969: Верхнеплиоцен-четвертичные магматические формации и вулканизм Армении. Изв. АН Арм. ССР, «Науки о Земле», 3, с. 3—14.
- ПОПОВ, В. С., 1982: Петролого-геохимическая модель формирования орогенных известково-щелочных серий. В кн.: Геохимия магматизма. Москва, с. 113—124.
- СОБОЛЕВ, А. В. — СОБОЛЕВ, С. В., 1985: Теория, практика и петрологическое применение методов исследования расплавных включений в минералах. VII Всесоюз. совещание по термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов. Тезисы докл. (Львов) 1, с. 113—115.
- ШИРИНЯН, К. Г., 1970: Андезито-базальты и андезиты Арагацкого Вулканического нагорья андезито-дациты и дациты. В кн.: Геология Армянской ССР, 4, Петрография. Вулканические породы.
- SPARKS, S. et al., 1977: Magma mixing: a mechanism for Triggering acid explosive eruptions. Nature (London), 267, 5609.