

Полная коллекция библиографии находится по адресу:
http://wiki.web.ru/wiki/Ярошевский_Алексей_Андреевич
С комментариями и пожеланиями обращайтесь к автору, aaya@geol.msu.ru

* Есть в домашней библиотеке Алексея Андреевича Ярошевского

ЯРОШЕВСКИЙ А.А. Комментарии к материалам статьи BROWN G.M., HOLLAND J.G., SIGURDSSON H., TOMBLIN J.F., ARCULUS R.J. Geochemistry of the Lesser Antilles volcanic island arc. GSA, v.41, No.6, pp.785-801, 1977.

Общие закономерности эволюции (фракционирования) всех трех серий - толеитовой, известково-щелочной и субщелочной:

1. Подавляющее большинство корреляций отражает главный принцип эволюции этих серий - с ростом SiO₂ происходит понижение содержания Fe, Mg-минералов (фракционирование оливина [? - см. ниже - Ni], пироксенов, амфибола [? - см. ниже - K/Rb]) и уменьшается концентрация CaO (фракционирование плагиоклаза - уменьшение его основности - и, возможно, уменьшение содержания Ca-пироксенов и Ca-амфиболов) - обычная Боуэновская эволюция.

2. На этом фоне наблюдается систематическое уменьшение концентрации FeO* и TiO₂ (при прямой их взаимной корреляции), падает, проходя через небольшой максимум, концентрация P₂O₅ и MnO, понижается концентрация V (это значит, что первичные магмы всех трех серий были насыщены по отношению к титаномагнетиту и апатиту, которые участвовали в фракционировании).

3. С ростом SiO₂ существенно увеличивается величина отношения FeO*/MgO; в результате с FeO*/MgO отрицательно коррелируют концентрации TiO₂, P₂O₅ (с небольшим экстремумом), K₂O, Zr.

4. Весьма странным на этом фоне выглядит, при отрицательной связи с SiO₂ и положительной связи с MgO концентраций Ni и Cr, отсутствие корреляций отношений Ni/Mg и Cr/Mg с SiO₂, MgO и FeO*/MgO в толеитовой и субщелочной сериях и даже прямая их корреляция с SiO₂ и FeO*/MgO и обратная с MgO (!) в известково-щелочной серии - явное противоречие с механизмом фракционирования оливина и других Fe, Mg-минералов и титаномагнетита.

5. Лишь Zn (из элементов-примесей в Fe, Mg-минералах) ведет себя "как следует" - его концентрация обратно связана с содержанием SiO₂ и обратно - с MgO, а отношение Zn/Mg положительно коррелирует с SiO₂ и FeO*/MgO и обратно с MgO.

6. Корреляции концентрации Sr с SiO₂ нет, но из-за отрицательной связи с SiO₂ CaO очень четко выражена положительная связь отношения Sr/Ca с SiO₂ (и, соответственно, с FeO*/MgO) (фракционирование плагиоклаза).

7. K, Rb, Ba - значимые прямые связи с SiO₂ (и другими положительно коррелированными с SiO₂ параметрами) при обратной связи Ba/K с SiO₂ для толеитовой и известково-щелочной серий, но с отсутствием связи с SiO₂ отношения K/Rb (это против значимой роли фракционирования амфибола).

8. Положительная корреляция Zr и Nb с SiO₂ и K₂O, отрицательная связь Zr с TiO₂ (фаз, концентрирующих Zr и Nb в ходе фракционирования, нет).

Из "SUMMARY" статьи авторов:

"Предполагается, что механизмом генерации базанитоидов и щелочных базальтов Гренады было частичное плавление верхнемантийного перидотита, залегающего над субдущируемой пластиной. Мы предполагаем (SIGURDSSON et al., 1973), что эти магмы оказались недосыщенными из-за того, что источник был обогащен водой в результате ее выделения из подстилающего слоя океанической коры. ARCULUS (1976) и SHIMIZU и ARCULUS (1975) привели данные о редкоземельных элементах в поддержку гипотезы частичного плавления гранатового перидотита с образованием расплавов в диапазоне составов от базанитоида до щелочного базальта при степенях плавления, соответственно, от 2 до 17%. Фракционная кристаллизация на высоких уровнях могла бы дать высокоглиноземистые и менее щелочные базальтовые магмы Гренады в результате отделения оливина, кальциевого авгита и шпинели [такой схеме фракционирования противоречит поведение Ni/Mg и Cr/Mg в субщелочной серии - ААЯ]. Последующее обогащение кремнеземом в серии базальт-андезит-дацит приписывается переходу через термический барьер

между недосыщенными и пересыщенными магмами в результате низкоэнтальпийного фракционирования амфибола [этому противоречит поведение $K/Rb - AAY$] и шпинели, сопровождаемого на этой стадии фракционированием плагиоклаза. Минеральная ассоциация плутонических ксенолитов соответствует такому контролю фракционирования (WILLS, 1974). Базанитоидные, субщелочные и менее щелочные базальтоидные лавы часто изливаются из одних и тех же вулканических центров (ARCULUS, 1976), так что с точки зрения соотношений в пространстве и времени андезиты и дациты не отделены от нефелин-нормативных базанитидов.

Субщелочные магмы не извергались в центральных и северных частях дуги, а данные о второстепенных и редких элементах в базальтах, андезитах и дацитах центральных и северных островов показывают, что эти лавы относятся к менее щелочным разновидностям. Поэтому в их генерации должны были действовать другие процессы, чем на Гренаде.

Фракционная кристаллизация должна была играть главную роль в эволюции центральных известково-щелочных и северных толеитовых вулканов, о чем свидетельствует нахождение в них ксенолитов кумулятов, содержащих оливин, анортит, авгит, роговую обманку и магнетит (LEWIS, 1973; WILLS, 1974). Вариации химического состава лав, рассмотренные с точки зрения контроля кристаллизационного фракционирования, предполагают, что в этих магматических сериях роль фракционирования оливина и авгита была второстепенной относительно вклада фракционирования амфибола [этому противоречит поведение $K/Rb - AAY$], плагиоклаза и Ti-магнетита. Однако возникает проблема, почему *базальтовые* члены известково-щелочной и толеитовой серий уже изначально были обеднены Cr и Ni (ср. TAYLOR et al., 1969). Это указывает на то, источником магмы не мог быть верхнемантийный гранатовый лерцолит, который предполагается как источник для магмы южных островов. Другие отличия распространенности элементов (например, K, Rb, Zr, Nb) при тех же значениях содержаний SiO_2 также требуют привлечения иных процессов по сравнению с теми, которые действовали в пределах южной части дуги.

Одной из возможностей является предположение, что первичные магмы известково-щелочной и толеитовой серий формировались в результате частичного плавления погружающейся пластины содержащей воду океанической базальтовой коры. Это могло бы объяснить низкую распространенность Ni и Cr, а также K, если амфибол сохранялся в нерасплавившемся остатке. Но такой механизм не способен объяснить генерацию базальтового расплава и требует значительных масштабов плавления, необходимых для образования огромных объемов андезитов и дацитов. Кроме того, сейсмические данные не указывают на то, что под центральными и северными островами зона субдукции находится на существенно меньших глубинах, чем под южными.

Островные дуги заметно отличаются по составу своих магматических продуктов, и какая-либо единая гипотеза не может объяснить происхождение их всех. Пока мы не узнаем существенно больше о структуре и тектонической истории Малых Антильских островов, мы не сможем приписать наблюдаемую химическую картину некоторому определенному физическому процессу. Мы не имеем оснований предполагать, что частичное плавление погружающихся в зоне субдукции океанических базальтов могло бы объяснить особенности вулканической серии южных островов. Из-за почти одинаковой глубины зоны субдукции вдоль всей гряды представляется также невероятным образование магм, включая базальтовые, центральных и северных островов за счет плавления океанической коры. Может быть, вариации составов основных магм обусловлены латеральной гетерогенностью состава верхнемантийных источников, возникшей на каких-то предшествующих этапах геологической истории дуги. Кристаллизационное фракционирование при низком давлении было вторым процессом, протекавшим под каждым вулканическим центром. Высокое содержание глинозема в породах этих серий и высококальциевая природа плагиоклаза (ср. YODER, 1969) плюс разнообразные свидетельства кристаллизации амфибола и взрывчатый характер многих извержений указывают на обогащенный водой источник.”

ARCULUS R.J. CURRAN E.B. The genesis of the calc-alkaline rock suite. *EPSL*, v.15, No., pp.255-262, 1972.

Описана вулканическая серия о-ва Гренада.

ARCULUS R.J. *The Alkali Basalt, Andesite Association of Grenada, Lesser Antilles*. Ph.D. Thesis. Univ. Durham, England, 1973, pp.

4 зонд. анализа Cr-шпинелей (указано 0.63, 2.65, 2.33, 0.64% TiO_2 ; 0.00, 10.39, 16.83, 35.93% Cr_2O_3) и зонд. анализ Ti-магнетита (указано 7.43% TiO_2 ; 4.62% Cr_2O_3) из включений в оливине из базанитоида, Гренада, Малые Антильские о-ва, в компьютере – см. fi. MINERALO/SPINEL/sp-com-po.xls, /sp-form.xls, /sp-molec.xls.

- *ARCULUS R.J. Geology and geochemistry of the alkali basalt-andesite association of Grenada, Lesser Antilles island arc. *Bull.GSA*, v.87, No.4, pp.617-644, 1976. – отд.отт.
Цифры в моей сводке "Базальты".
- ARCULUS R.J., WILLIS K.J.A. The petrology of plutonic blocks and inclusions from the Lesser Antilles island arc. *J.Petrol.*, v.21, No.4, pp.743-799, 1980.
- ASPINALL W.P., SIGURDSSON H., SHEPHERD J.B. Eruptions of Soufrière volcano on St.Vincent island, 1971-1972. *Science*, v.181, No., pp.117-124, 1973.
В том числе, приведены геохимические данные.
- BAKER P.E. *The geology of Mt.Misery volcano, St.Kitts*. Ph.D.Thesis. Univ.Oxford, England, 1963, pp.
- BAKER P.E. Petrology of Mt.Misery volcano, St.Kitts. *Lithos*, v.1, No., pp.124-150, 1968.
Приведены данные по химии и геохимии пород.
- BAKER P.E. Comparative volcanology and petrology of the Atlantic island arcs. *Bull.Volcanol.*, v.32, No.1, pp.189-206, 1968.
- BAKER P.E. Petrology of Mt.Misery volcano, St.Kitts. *Lithos*, v.1, No., pp.124-150, 1968.
- BAKER P.E. The geological history of Mt.Misery volcano, St.Kitts, West Indies. *Overseas Geol.Min.Resources*, v.10, No., pp.207-230, 1969.
- BAKER P.E., BUCKLEY F., PAADFIELD T. Petrology of the volcanic rocks of Saba, West Indies. *Bull.Volcanol.*, v.43, No.2, pp.337-346, 1980.
- *BAKER P.E. Geochemical evolution of St.Kitts and Montserrat, Lesser Antilles. *J.Geol.Soc. London*, v.141, No., pp.401-411, 1984. – отд.отт.
Вулканические породы о-ва St.Kitts однородны по $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (ср. 0.7037) и высоким величинам $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (ср. 0.5130) во всей серии от базальтов до риолитов (HAWKESWORTH, POWELL, 1980); для лав о-ва Montserrat $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.7034±0.0008 (REA, 1974). Распространенность второстепенных элементов и слабо наклонные и ровные спектры нормализованных по хондритам содержаний TR похожи на толейитовые серии островных дуг. Лавы о-ва Montserrat отличаются более высокими содержаниями щелочей и обогащены легкими TR. Геохимические различия можно связать с частичным смещением оси вулканической дуги 9 млн.лет назад. Это могло привести к тому, что формирование серии St.Kitts отвечало новой незрелой островной дуге. Будучи ближе к точке пересечения с первичным положением оси дуги лавы Montserrat могут отражать предшествующую обстановку в обогащенной мантии, связанной с зоной субдукции, и(или) влияние осадочного компонента. Изотопные отношения и содержания большинства второстепенных элементов в базальтах с о-ва Redonda характерны для островодужных толейитовых серий или даже родственны MORB, но отличаются более высокими содержаниями Sr и обогащены легкими TR. Несмотря на отличающийся состав базальта о-ва Redonda расположен на главной оси вулканической дуги и его лавы, очевидно, изливались одновременно с более молодыми извержениями St.Kitts и Montserrat.
Хим.состав и содержания второстепенных элементов в 10 образцах вулканических пород с о-ва St.Kitts, 9 образцах с о-ва Montserrat и 1 образца с о-ва Redonda в компьютере – см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/baker84.xls.
- *BARDINTZEFF J.-M. Les verres et les magmas de l'éruption de 1979 de la Soufrière de Saint-Vincent (Antilles). *Bull.Soc.géol.France, ser.7, t.XXV, No.6*, pp.811-818, 1983. - îdâ.îdò.
Приведен 1 хим.анализ пепла и 15 хим.анализов включений стекла. Большие вариации состава (от 51.5 до 76 вес.% SiO₂), графически приведены результаты 120 хим.анализов – более или менее обычные вариационные диаграммы содержаний MgO, FeO, Al₂O₃, TiO₂, CaO, Na₂O, K₂O, H₂O в зависимости от содержания SiO₂.
- BROWN G.M., SCHAIRER J.F. Chemical and melting relations of some calc-alkaline volcanic rocks. In: *GSA Mem.30*, 1971, pp.139-157.
- *BROWN G.M., HOLLAND J.G., SIGURDSSON H., TOMBLIN J.F., ARCULUS R.J. Geochemistry of the Lesser Antilles volcanic island arc. *GCA*, v.41, No.6, pp.785-801, 1977.
Получено и обработано 1518 анализов. Табл.1 – ср.составы вулкаников для каждого острова, табл.2-4 – ср.составы пород по интервалам SiO₂ 2% (от <44 до >65% SiO₂) (для Grenada, Dominica, St.Kitts); табл.5 – ср.составы всех вулкаников (общее среднее и среднее взвешенное по площадям) [см. в моей сводке]; табл.6 – ср.составы базальтов и андезитов в сравнении с JAKEŠ, WHITE, 1972 [см. в моей сводке]; см.мои сводки "Вулканические серии" и "Базальты". Ср.составы пород и содержания второстепенных элементов в компьютере – см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/brown77.xls.

Петрохимические данные для островодужной известково-щелочной серии (серия 15) о.Гренада учтены в дисс.КОНОВАЛОВА (ссылка 138).

CAWTHORN R.G., CURRAN E.B., ARCULUS R.J. A petrogenetic model for the origin of the calc-alkaline suite of Grenada. *J.Petrol.*, v.14, No.2, pp.327-337, 1973.

DAVIDSON J.P. Mechanisms of contamination in Lesser Antilles island arc magmas from radiogenic and oxygen isotope relationships. *EPSL*, v.72, No., pp.163-174, 1985.

DAVIDSON J.P. Isotopic and trace element constraints on the petrogenesis of subduction-related lavas from Martinique, Lesser Antilles. *JGR*, v.91, No., pp.5943-5962, 1986.

*DAVIDSON J.P. Crustal contamination *versus* subduction zone enrichment: Examples from the Lesser Antilles and implications for mantle source composition of island arc volcanic rocks. *GCA*, v.51, No.8, pp.2185-2198, 1987.

Подавляющая масса – андезиты и андезито-базальты (по SiO₂). 6 анализов базальтов см. в моей сводке "Базальты".

DAVIDSON J.P., HARMON R.S. Oxygen isotope constraints on the petrogenesis of volcanic arc magmas from Martinique, Lesser Antilles. *EPSL*, v.95, No., pp.255-270, 1989.

DAVIDSON J.P., BOGHOSSIAN N.D., WILSON M. The geochemistry of the igneous rock suite of St.Martin, Northern Lesser Antilles. *J.Petr.*, v., No., pp., 1992.

*DEFANT M.J., SHERMAN S., MAURY R.C., BELLON H., DE BOER J., DAVIDSON J., KEPEZHINSKAS P. The geology, petrology, and petrogenesis of Saba Island, Lesser Antilles. *J.Volcanol.Geotherm. Res.*, v.107, No., pp.87-111, 2001. – отд.отт.

Saba является наиболее северным вулканом цепи островной дуги Lesser Antilles. Эта дуга формировалась над наклоненной на запад-северо-запад зоной субдукции Атлантической литосферы под Карибскую плиту. Мощность осадков вдоль впадины уменьшается к северу по мере удаления от источника осадочного материала - континента Южной Америки. Мы сфокусировали наше внимание на Saba, поскольку он находится далеко от вулканитов южной части дуги, для которых показано геохимическое влияние осадков - обычно рассматриваются и особенности источника, и контаминации на верхних уровнях (напримр, ассимиляция).

Полевое картирование, петрология, минералогия, К-Аг датирование и геохимический анализ (главные и второстепенные элементы) указывают на сложную историю петрогенеза, включая фракционирование кристаллов, смешение магм и, неожиданно, ассимиляцию вещества коры. Эти данные впервые демонстрируют роль ассимиляции для вулканитов северной части дуги Lesser Antilles. Смешение магм проявляется в поле в виде тонко переслаивающихся пемз и петрографически и минералогически как сложная зональность минералов-вкрапленников (например, в виде обратной зональности плагиоклазов), появлением неравновесных минеральных ассоциаций (например, кварц и оливин) и отсутствием равновесия между составами минералов и общим составом пород (наприммер, содержание форстеритового компонента в оливинах). Моделирование баланса масс главных и второстепенных элементов подтверждает заключение, что фракционирование кристаллов (включая амфибол) играет важную роль в эволюции магм. Однако, различные геохимические тренды можно объяснить только, привлекая модель ассимиляции-фракционной кристаллизации; этот вывод вытекает из того, что тренды различных второстепенных элементов и отношений между второстепенными элементами систематически изменяются с увеличением SiO₂. Наконец, не удалось найти признаки контаминации осадочным материалом наиболее мафических пород. Это могло бы быть, но заметно перекрыто более поздними эффектами ассимиляции.

42 хим.анализа пород, содержания второстепенных элементов и в 10 из них содержания TR, Hf, Th и U в компьютере - см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/defant01.xls.

DEVINE J.D., SIGURDSSON H. The liquid composition and crystallization history of the 1979 Soufriere magma, St. Vincent, W.L. *J.Volcanol.Geotherm.Res.*, v.16, No.1-2, pp.1-31, 1983.

*DEVINE J.D. Petrogenesis of the basalt-andesite-dacite association of Grenada, Lesser Antilles island arc, revisited. *J.Volcanol.Geotherm.Res.*, v.69, No.1, pp.1-33, 1995.

Abstract: В основу обработки положена база данных Университета Durham (ARCULUS, 1973; BROWN et al., 1977), но пришлось вводить поправочные коэффициенты в их аналитические данные, чтобы согласовать с новыми определениями автора (коэффициенты от 0.858 для Na₂O до 0.986 для K₂O и от 0.973 для Y до 0.994 для Sr).

Ассоциация базальтов, андезитов и риолитов Гренады образовалась в результате фракционной кристаллизации первичных магм, которые содержат около 15 вес.% MgO и 1-2 вес.% H₂O. Составы первичных магм указывают, что они в конце формирования в мантии находились в рав-

новесии на глубинах более 65 км и должны были быстро подниматься после сегрегации от остаточного мантийного вещества. Предполагается, что в ходе формирования первичных магм островных дуг подъем мантийного диапира обычно сопровождается умеренно высокими степенями (~10-30%) равновесного частичного плавления. Дисперсия содержаний второстепенных элементов в первичных магмах, отражает главным образом, варьирующую степень обогащения источника флюидами, генерируемыми субдуцируемой пластиной. Степень обогащения вещества источника, вероятно, связана с динамикой подъема мантийного диапира.

Увеличение давления воды подавляло кристаллизацию плагиоклаза из производных магм и вело к образованию известково-щелочного вместо толеитового тренда дифференциации. Кристаллизация амфибола обычно происходила только после того, как концентрация MgO понижалась до 4 и ниже вес. %.

Кора островных дуг действует как фильтр плотности. Если коры мощная, первичные базальтовые магмы будут иметь тенденцию к задержке на средних уровнях в коре. То, что базальты доминируют среди пород молодых островных дуг, тогда как андезиты и дациты преобладают в составе вулканитов более зрелых дуг, можно объяснить этим литостатическим контролем: чем толще кора, тем больший объем магм дифференцируется в результате сегрегации кристаллов, становится более легкой и способной к извержению на поверхность.

Конспект: С ссылками на ARCULUS (1973), HAWKESWORTH et al. (1979) и THIRLWALL, GRAMHAM (1984) выделяется две серии: М-серия оливн-микропорфировая, высоко-MgO, и С-серия, изотопно отличающаяся, богатая Са и Sr, авгит-порфировая. Линии эволюции расплавов могут быть оценены, используя анализы включений стекла в минералах-вкрапленниках (Devine, Sigurdsson, 1983; Rutherford, Devine, 1988); состав самых ранних расплавов нужно оценивать по составу тонкозернистых примитивных пород. Линии эволюции пород М-серии Grenada были построены методом наименьших квадратов по диаграмме окислы элементов-MgO по результатам обработки данных по составам пород по исправленным цифрам ARCULUS (1973) и BROWN et al. (1977) и расплавленным включениям DEVINE (1987). Данные для С-серии (THIRLWALL, GRAMHAM) не учитывались при построении регрессий, но точки попадают внутрь полей данных ARCULUS-BROWN et al., среди которых, очевидно, есть породы и М-, и С-серий. Предполагаемые составы первичных магм очень близки к расплавам, формирующимся при равновесном частичном плавлении мантийного перидотита при 20-30 кбар (FALLOON, GREEN, 1988; HIROSE, KUSHIRO 1993). Признаков накопления кристаллов плагиоклаза нет, поэтому высоко-Al₂O₃ расплавы контролируются высоким содержанием H₂O. Подчеркивается большой разброс точек вокруг линий эволюции расплавов, которые указывает на общую, усредненную линию эволюции. Если известно, как изменяется расплав в ходе фракционной кристаллизации, и если известны составы отделяющихся фаз, можно построить количественную модель кристаллизации, используя методы наименьших квадратов (DEVINE, SIGURDSSON, 1983); можно построить более, чем одну модель - чем больше кристаллизуется фаз, тем более можно построить моделей. При расчетах моделей использовались данные по составам минералов DEVINE (1987) и программу PETMIX WRIGHT, DONERETY (1970). Поведение элементов-примесей моделировалось с использованием уравнения ДЕРНЕРА-ХОСКИНСА (SCHILLING, 1966; GAST, 1968). Важно, что AFC-модели [модель ассимиляции-фракционной кристаллизации? - ААЯ], достаточные для объяснения поведения главных элементов, оказываются недостаточными, чтобы объяснить очень большую дисперсию содержаний второстепенных элементов - не хватает степени фракционирования главных фаз. Это требует введения идеи о существенной неоднородности обогащения мантийного источника второстепенными элементами. В "Обсуждении" рассматриваются проблемы: процессы в источнике; генерация расплавов при подъеме мантийного диапира; влияние динамики подъема мантийного диапира на генерацию расплавов; процессы дифференциации (кора как плотностной фильтр, различия средних составов островодужного и MOR базальтов: роль воды в образовании известково-щелочного вместо толеитового).

9 новых хим.анализов пород и содержания некоторых второстепенных элементов М-серии в компьютере - см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/devin95.xls.

DEVINE J.D., SIGURDSSON H. Petrology and eruption styles of Kick'em Jenny submarine volcano, Lesser Antilles island arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, v.69, No.1-2, pp.35-58, 1995.

*DOSTAL J., DUPUY C., CARRON J.P., KARNEIZON LE G.DE, MAURY R.C. Partition coefficients of trace elements: Application to volcanic rocks of St.Vincent, West Indies. *GCA*, v.47, No.3, pp.525-533, 1983.

Островодужные базальтовые породы (от базальтов до андезитобазальтов с SiO₂ <56.5%) из вулкана Soufrière, о-в St.Vincent, Малые Антильские о-ва (Зап.Индии) (доисторические лавы, а также лавы извержений 1902 и 1979 гг.) претерпели фракционную кристаллизацию на различ-

ных уровнях в ходе подъема магмы. Хотя осаждение минералов, входящих в состав грубозернистых кумулятивных включений, является доминирующим процессом, ведущим к формированию андезитобазальтов из базальтовой магмы, распределение второстепенных элементов несовместимо с простым механизмом фракционной кристаллизации. Лавы имеют частично кумулятивный характер и, вероятно, формировались из близких, но самостоятельных первичных магм. Величины коэффициентов распределения переходных элементов и литофильных элементов с крупными ионами между клинопироксеном, амфиболом, оливином, плагиоклазом, титаномагнетитом и базальтовым расплавом, кристаллизовавшимся при определенных *P-T*-условиях, рассчитаны по данным о содержаниях элементов в минералах и стекле в кумулятивных включениях (в компьютере - см. ISOMORPH/dist-coe.doc). Температуры оценены по геотермометрам, основанным на распределении главных элементов и находятся в хорошем согласии с данными геотермометров, построенных с использованием второстепенных элементов.

5 зонд.анализов оливинов из кумулятивных включений в базальтах (указано 40.9-37.1% MgO; 18.9-23.1% FeO; 0.28-0.47% MnO; 905-112 ppm Ni; 149-173 ppm Co; 106-179 ppm Zn; 12-22 ppm V; 47-5 ppm Cr; 4-7 ppm Cu); 3 зонд.анализа Са-пироксенов из кумулятивных включений в базальтах [указано 0.61-1.51% TiO₂; 0.19-0.24% MnO; 21-135 ppm Ni; 27-33 ppm Co; 31-45 ppm Zn; 316-345 ppm V; 1865-190 ppm Cr; 9-7 ppm Cu; в 2-х из них - 147, 129 ppm Sc; 0.5, 0.4 ppm La; 1.7, 1.9 ppm Ce; 1.48, 2.17 ppm Sm; 0.51, 0.54 ppm Eu; 0.42, 0.50 ppm Tb; 1.42, 1.70 ppm Yb; 0.25, 0.27 ppm Lu (на нормированных графиках - 7-10 Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, 1-2 La, Ce); 0.6, 0.6 ppm Hf; 0.01, 0.01 ppm Th; в 1-м из них - 1 ppm Li; 1 ppm Rb; 15 ppm Sr]; 2 зонд.анализа амфибола из кумулятивных включений в базальтах [указано 2.38, 2.14% TiO₂; 0.16, 0.13% MnO; 35, 59 ppm Ni; 52, 53 ppm Co; 58, 40 ppm Zn; 750, 765 ppm V; 86, 70 ppm Cr; 7, 6 ppm Cu; 143, 151 ppm Sc; 0.8, 0.6 ppm La; 3.2, 2.3 ppm Ce; 3.9, 2.2 ppm Sm; 1.17, 0.79 ppm Eu; 0.98, 0.64 ppm Tb; 3.2, 2.3 ppm Yb; 0.50, - ppm Lu; (на нормированных графиках - 10-20 Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, 2-4 La, Ce); 1.1, 0.9 ppm Hf; 0.17, 0.15 ppm Th; -, 0.02 ppm U; 2, 2 ppm Li; 2, 2 ppm Rb; 97, 121 ppm Sr], зонд.анализ Ti-магнетита из кумулятивных включений в базальтах (указано 7.30% Al₂O₃; 7.72% TiO₂; 4.60% MgO; 0.30% MnO; 5700 ppm V; 1050 ppm Cr; 148 ppm Ni; 192 ppm Co; 454 ppm Zn; 22 ppm Cu); 7 зонд.анализов плагиоклазов из кумулятивных включений в базальтах [указано 0.59-0.93% Na₂O; 0.01-0.04% K₂O; 1-2 ppm Li; 1-1 ppm Rb; 270-337 ppm Sr; в 2-х из них - 0.44, 0.61 ppm Ce; 0.07, 0.09 ppm Sm; 0.16, 0.18 ppm Eu; 0.02, 0.04 ppm Tb; 0.05, 0.04 ppm Yb (на нормированных графиках - 0.4-0.7 Ce, Sm, 3 Eu, 0.5-1 Tb, 0.2-0.3 Yb); в 1-м из них - 0.02 ppm Hf; 0.01 ppm Th; 0.01 ppm U].

Хим.анализы пород и содержания в них второстепенных элементов в компьютере - см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/dostal83.xls.

Рассчитали следующие модели: взяв в качестве исходного средний базальт рассчитали методом наименьших квадратов количества удаленных оливина, клинопироксена, плагиоклаза, Ti-магнетита и амфибола известных составов (зонд.анализы минералов из кумулятивных включений), необходимые для получения составов трех разных андезитобазальтов; затем по уравнению РЭЛЕЯ рассчитали эффективные валовые коэффициенты распределения элементов-примесей, необходимые для объяснения наблюдаемых различий их содержаний в исходном базальте и производных андезитобазальтах и сопоставили с валовыми коэффициентами распределения, рассчитанными как средневзвешенные значения для индивидуальных минералов, определенных выше. Получилось: для V, Co, Zn, Sr очень хорошее соответствие; для Cr, Ni, La, Ba, Rb - сильные расхождения; для Ni и Cr геохимические данные можно согласовать, предположив присутствие в андезитобазальтах некоторого количества кумулятивных минералов; для La, Ba, Rb (некогерентных элементов) так не получается, приходится предполагать различные их содержания в расплавах.

ГРАНАМ А.М., ТИРЛВОЛЛ М.Ф. Petrology of the 1979 eruption of Soufrière volcano, St.Vincent, Lesser Antilles. *CMP*, v.76, No., pp.336-342, 1981.

В том числе, приведены геохимические данные.

*GUNN В.М. [Петрохимические сопоставления современной и архейской океанической коры и активных дуг.]. In: *The Early History of the Earth*. Ed. B.F. WINDLEY. L. et al.: J. Wiley-Interscience Publ., 1976, pp. [Русск.перевод в кн.: *Ранняя история Земли*. М.: Мир, 1980, стр.391-406.]

Разнообразие составов пород архея перекрывает все поля более молодых пород – то же разнообразие. Балы предпринята специальная работа по современным островным дугам (базовая – Малая Антильская дуга; для сравнения – литературные данные по другим дугам).

- HATHERTON T., DICKINSON W.R. The relationship between andesitic volcanism and seismicity in Indonesia, the Lesser Antilles, and other island arcs. *JGR*, v.74, No., pp.5301-5310, 1969.
В том числе, о К-зональности поперек дуги.
- HAWKESWORTH C.J., O'NIONS R.K., ARCULUS R.J. Nd and Sr isotope geochemistry of island arc volcanics, Grenada, Lesser Antilles. *EPSL*, v.45, No.2, pp.237-248, 1979.
- HAWKESWORTH C.J., POWELL M. Magma genesis in the Lesser Antilles island arc. *EPSL*, v.51, No., pp.297-308, 1980.
По данным изотопного состава Sr и Nd.
- HEATH E., MACDONALD R., BELKIN H., HAWESWORTH C., SIGURDSSON H. Magma genesis at Soufriere volcano, St. Vincent, Lesser Antilles arc. *J.Petrol.*, v.39, No.10, pp.1721-1764, 1998.
- HEDGE C.E., LEWIS J.F. Isotopic composition of strontium in three basalt-andesite centres along the Lesser Antilles arc. *CMP*, v.32, No.1, pp.39-47, 1971.
- HOFMANN A.W., FEIGENSON M.D. Case studies on the origin of basalt: I. Theory and reassessment of Grenada basalts. *CMP*, v.84, No., pp.382-389, 1983.
- HOVEY E.O. Volcanoes of Martinique, Guadeloupe, and Saba. In: *Rept.Eighth Internat.Geol.Con-gress, Washington, 1904*, pp.447-451.
- LACROIX A. In: *Soc.Geol.Belg., Livre Jubilaire*, 1924, pp.387-.
Описаны лавы (с хим.анализами) Малых Антильских островов.
- LEWIS J.F. *Mineralogical and Petrological Studies of Plutonic Blocks from the Soufrière Volcano, St.Vincent, B.W.I.* Ph.D.Thesis. Univ.Oxford, 1964, pp.
- LEWIS J.F. Composition, optical properties and origin of sodic anorthites from the ejected plutonic blocks of the Soufrière volcano, St.Vincent, West Indies. *CMP*, v.21, No., pp.272-294, 1969.
- *LEWIS J.F. Chemical composition and physical properties of magnetite from the ejected plutonic blocks of the Soufrière volcano, St.Vincent, West Indies. *AM*, v.55, No., pp.793-807, 1970.
- LEWIS J.F. Composition, origin and differentiation of basalt magma in the Lesser Antilles. In: *Caribbean.Geophysical, Tectonic, and Petrographic Studies*. Ed.T.W.DONNELLY. (*Geol. Soc.Am. Mem.130*) 1971, pp.159-179.
- LEWIS J.F. Petrology of the ejected plutonic blocks of the Soufrière volcano, St.Vincent, West Indies. *J.Petrol.*, v.14, No.1, pp.81-112, 1973.
- LEWIS J.F. Mineralogy of the ejected plutonic blocks of the Soufrière volcano, St.Vincent: Olivine, pyroxene, amphibole and magnetite paragenesis. *CMP*, v.38, No., pp.197-220, 1973.
- MACDONALD R., HAWKESWORTH C.J., HEATH E. The Lesser Antilles volcanic chain: A study in arc magmatism. *Earth Sci.Rev.*, v.49, No.1-4, pp.1-76, 2000.
- MACGREGOR A.G. *Phil.Trans.R.Soc.London, Ser.B*, v.229, No.1, pp.1-, 1938.
Описаны лавы (с хим.анализами) Малых Антильских островов.
- *NOCKOLDS S.R., ALLEN R. The geochemistry of some igneous rock series. Part I. *GCA*, v.4, No.3, pp.105-142, 1953. [Русск.перевод в кн.: С.Р.НОККОЛДС, Р.АЛЛЕН. *Геохимические наблюдения. Геохимия некоторых серий изверженных пород*. М.: ИЛ, 1958, стр.9-63.]
Данные для Малых Антильских о-вов в компьютере - см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/nockol53.xls.
- PICHAVANT M., MARTEL C., BOURDIER J.-L., SCAILLET B. Physical conditions, structure, and dynamics of zoned magma chamber Mount Pelee (Martinique, Lesser Antilles arc). *JGR*, v.107, No.B5, pp.1-26, 2002.
На ликвидусе андезитобазальта присутствует магнетит.
- PICHAVANT M., MYSEN B.O., MACDONALD R. Source and H₂O content of high-MgO magmas in island arc settings: An experimental study of a primitive calc-alkaline basalt from St.Vincent, Lesser Antilles arc. *GCA*, v.66, No.12, pp.2193-2209, 2002.
Котектика OI+Срх для высокомагнезиальных базальтов в водосодержащих условиях значительно ближе к природным трендам.
- POWELL M. Crystallization conditions of low pressure cumulate nodules from Lesser Antilles island arc. *EPSL*, v.39, No.1., pp.16-172, 1978.
- REA W.J. *The Geology of Montserrat, British West Indies*. Ph.D.Thesis. Univ.Oxford, 1970, pp.
- REA W.J. The volcanic geology and petrology of Montserrat, West Indies. *J.Geol.Soc. London*, v.130, No., pp.341-366, 1974.

- REA W.J., BAKER P.E. The geochemical characteristics and conditions of petrogenesis of the volcanic rocks of the Northern Lesser Antilles - A review. *Bull.Volcanol.*, v.43, No.2, pp.325-336, 1980.
- REA W.J. The Lesser Antilles. In: *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. Ed. R.S.THORPE. Chichester: J.Wiley and Sons, 1982, pp.167-185.
- ROWLEY K.C. *Stratigraphic and Geochemical Studies of Soufrière Volcano, St.Vincent, West Indies*. Ph.D.Thesis. Univ.West Indies, Trinidad, 1978, pp.
- ROOBOL M.J., SMITH A.L. A comparison of the recent eruptions of Soufrière, St.Vincent, and Mt.Pelée, Martinique. *Bull.Volcanol.*, v.39, No., pp.241-240, 1975.
В том числе, приведены геохимические данные.
- ROWLEY K.C. *Stratigraphic and Geochemical Studies of Soufrière Volcano, St.Vincent, West Indies*. Ph.D.Thesis. Univ.West Indies, Trinidad, 1978, pp.
- RUTHERFORD M.J., DEVINE J.D. Magmatic conditions and magma ascent as indicated by hornblende phase equilibria and reactions in the 1995-2002 Soufriere Hills magma. *J.Petrol.*, v.44, No.8, pp.1433-1453, 2003.
Из диссертации АЛЬМЕЕВА (2005): Роговая обманка должна была бы разрушаться до поступления в вулканический очаг в результате падения давления.
- SHEPHERD J.B., ASPINALL W.P., ROWLEY K.C., PEREIRA J., SIGURDSSON H., FISKE R.S., TOMBLIN J.F. The eruptions of Soufrière volcano, St.Vincent, April-June 1979. *Nature*, v.282, No., pp.24-28, 1979.
- SHERMAN S. *Geochemistry and petrogenesis of Saba, Lesser Antilles*. MS thesis. Univ.South Florida. Tampa, FL, 1992, 114 pp.
- *SHIMIZU N., ARCULUS R.J. Rare earth element concentrations in a suite of basanitoids and alkali olivine basalts from Grenada, Lesser Antilles. *CMP*, v.50, No.4, pp.231-240. 1975. – отд.отт.
Проанализировано содержание TR в серии базанитоидов и щелочных оливиновых базальтов о-ва Гренада, Малые Антильские острова. Содержание TR в этих породах характеризуются небольшими вариациями тяжелых TR (в 7-9 раз выше хондритовых) и значительными вариациями легких TR (в 17-93 раз выше хондритовых). Среди возможных механизмов, которые могли бы объяснить эти закономерности, рассматриваются фракционная кристаллизация при низких и высоких давлениях и частичное плавление (равновесное и фракционное), используются данные о распределении TR между силикатами и расплавами. Предполагается, что наблюдаемые вариации TR лучше всего объясняются различными степенями равновесного плавления, при котором гранат сохраняется как твердая фаза при 2-17% плавления исходного гранатового лерцолита.
Хим.состав 12 образцов и содержаая в них TR и других второстепенных элементов в компьютере – см. PETROLOG/ISL-ARC/LES-ANTI/shimiz75.xls.
- SIGURDSSON H., TOMBLIN J.F., BROWN G.M., HOLLAND J.G., ARCULUS R.J. Strongly undersaturated magmas in the Lesser Antilles island arc. *EPSL*, v.18, No., pp.285-295, 1973.
- SIGURDSSON H., SHEPHERD J.B. Amphibole-bearing basalts from the submarine volcano Kick'em Jenny in the Lesser Antilles island arc. *Bull.Volcanol.*, v.38, No.4, pp.891-910, 1974.
- SMITH A.L., ROOBOL M.J., GUNN B.M. The Lesser Antilles - A discussion of the island arc magmatism. *Bull.Volcanol.*, v.43, No., pp.287-302, 1980.
В том числе, приведены геохимические данные.
- SMITH T.E., THIRLWALL M.F., MACPHERSON C.G. Trace element and isotope geochemistry of the volcanic rocks of Bequia, Grenadine islands, Lesser Antilles arc: A study of subduction enrichment and intra-crustal contamination. *J.Petrol.*, v.37, No., pp.117-143, 1996.
- THIRLWALL M.F., GRAHAM A.M. Evolution of high-Ca, high-Sr-series basalts from Grenada, Lesser Antilles: The effects of intra-crustal contamination. *J.Geol.Soc.London*, v.141, No., pp.427-445, 1984.
- THIRLWALL M.F., SMITH T.E., GRAHAM A.M., THEODOROU N., HOLLINGS P., DAVIDSON J.P., ARCULUS R.J. High field strength element anomalies in arc lavas: Source or process? *J.Petrol.*, v.35, No., pp.819-838, 1994.
- THIRLWALL M.F., GRAHAM A.M., ARCULUS R.J., HARMON R.S., MACPHERSON C.G. Resolution of the effects of crustal assimilation, sediment subduction, and fluid transport in island arc magmas: Pb-Sr-Nd-O isotope geochemistry of Grenada, Lesser Antilles. *GCA*, v.60, No.23, pp.4785-4810, 1996.

- TOMBLIN J.F. *The Volcanic History and Petrology of the Soufrière Region, St.Lucia*. Ph.D.The-sis. Univ.Oxford, 1964, pp.
- TOMBLIN J.F. The Lesser Antilles and Aves Ridge. In: *The Ocean Basins and Margins*, v.3, Chapter 11. Eds.A.E.M.NAIRD, F.G.STEHLI. N.Y.: Plenum, 1975, pp.467-500.
- *TOMBLIN J.F. [Дациты Малых Антильских островов.] In: *Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks*. Ed.F.BARKER. Amsterdam et al., Elsevier Sci.Publ.Co., 1979. [Русск.перевод в кн.: *Тронджемиты, дациты и связанные с ними породы*. Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии. Т.86. М.: Мир, 1983, стр.433-455.]
- TURNER A., HAWKESWORTH C.J., CALSTEREN P.V., HEATH E., MACDONALD R., BLACK S. U-series isotopes and destructive plate margin magma genesis in the Lesser Antilles. *EPSL*, v.142, No., pp.191-207, 1996.
- VIDAL P., LE GUEN DE KERNEIZON M., MAURY R.C., DUPRE B., WHITE W.M. Large role of sediments in the genesis of some Lesser Antilles andesites and dacites (Soufrière, St.Lucia): Isotopic constraints. *Bull.Soc.geol.France*, t.162, No., pp.993-1002, 1991.
- WAGER L.R. Igneous cumulates from the 1902 eruption of Soufrière, St.Vincent. *Bull.Volcanol.*, v.24, No., pp.93-99, 1968.
- WHITE W.M., DUPRE B. Sediment subduction and magma genesis in the Lesser Antilles: Isotopic and trace element constraints. *JGR*, v.91, No., pp.5927-591, 1986.
- WILLS K.J.A. *The Geological History of Southern Dominica and Plutonic Nodules from the Lesser Antilles*. Ph.D.Thesis. Univ.Durham, England, 1974, pp.

**Из библиографической
коллекции
проф.А.А.Ярошевского**

**МАЛАЯ АНТИЛЬСКАЯ
ДУГА
LESSER ANTILLES**

**Коллекция доступна на сай-
те Geowiki
<http://wiki.web.ru/>**

Полная коллекция библиографии находится по адресу:
http://wiki.web.ru/wiki/Ярошевский_Алексей_Андреевич
С комментариями и пожеланиями обращайтесь к автору, aaya@geol.msu.ru