
doi: <https://doi.org/10.15407/gpimo2018.04.037>

Е.Е. Шнюкова

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины

БАЗАЛТЫ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-ЧЕРНОМОРСКОЙ ВПАДИНЫ, ГОРНОГО КРЫМА И СКИФСКОЙ ПЛИТЫ

Базальты и андезибазальты, являющиеся наиболее информативными с геодинамической точки зрения породами, обнаружены и изучены на трех участках развития магматизма в северной части Черного моря на континентальном склоне и близлежащей суше. На основании петрохимических и геохимических признаков выделено 5 петрогенетических типов базальтов и дана их геодинамическая интерпретация.

Ключевые слова: базальты, Черное море, геодинамика.

Выяснение истории и условий формирования Черноморской впадины невозможно без установления генезиса проявившегося в течение этой истории магматизма. Индикатором различных геодинамических режимов, сменявших друг друга, является вещественный состав магматических пород. Единственный достоверно установленный район развития магматизма в Черном море находится в северной его части, в зоне сочленения важнейших тектонических структур — Западно-Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты. Из всего разнообразия магматических пород, обнаженных в этом районе на дне Черного моря вблизи Юго-Западного Крыма и на прилегающей суше, базальты являются наиболее информативными с геодинамической точки зрения и, в то же время, наиболее распространенными, что обусловило выбор их в качестве удобного объекта для сопоставлений. Базальты и андезибазальты (в настоящей работе рассматриваются вулканические породы с содержанием кремнекислоты до 57 % после пересчета на сухое вещество) обнаружены и изучены на трех участках района: **I** — Ломоносовский подводный массив, **II** — мыс Фиолент и прилегающая часть Гераклеийского плато Крыма, **III** — Форосский выступ континентального склона (рис. 1).

© Е.Е. ШНЮКОВА, 2018

I. Ломоносовский подводный массив (ЛПМ) сложен как вулканическими, так и плутоническими породами, обнаженными на протяжении 40 км вдоль континентального склона к юго-западу от Севастополя на глубинах моря от 800 до 1800 м и не имеющими аналогов на близлежащей суше. ЛПМ можно условно подразделить на три части: восточную, центральную и западную. Западная часть состоит из вулканических пород шошонитовой серии, исключенных здесь из рассмотрения из-за их высокой калиевой щелочности. Вулканические породы нормального ряда занимают восточную и центральную части и представлены полным рядом составов: пикробазальты — базальты — андезибазальты — дациты — плагиориодациты — плагиориолиты. По химизму среди них прослеживаются две серии: высокомагнезиальная (ВМ) и умеренномагнезиальная (УМ), однако петрографических различий между одноименными породами разных серий почти нет [1]. Базальты распространены преимущественно в восточной части ЛПМ; андезибазальты встречаются чаще и шире базальтов. Как базальты, так и андезибазальты — преимущественно порфиоровые: авгитофировые либо плагиофировые; афировые разновидности имеют подчиненное значение (рис. 2). Афировые базальты и андезибазальты всегда миндалекаменные, порфиоровые — несколько реже. Структура основной массы обычно апоинтерсертальная с отклонениями до пилотакситовой. Вкрапленники представлены альбитизированным плагиоклазом (в андезибазальтах нередко сохраняется андезин) и авгитом, ортопироксен очень редок, а оливин и первичная роговая обманка не установлены. Основная масса базальтов содержит кварц.

Возраст ЛПМ, согласно многочисленным К-Аг определениям, колеблется от средней юры до палеогена. Конкретно для УМ базальтов получена датировка в 51 млн лет, для УМ андезибазальтов — 124 и 130 млн лет. Возраст ВМ базальтов спорный.

В крайней восточной части ЛПМ характер базальтов меняется: наряду с лавовыми потоками, в которых не сохранились темноцветные минералы, появляются лучше раскристаллизованные базальты — фактически стеклосодержащие диабазы (возможно, дайковые) с гиалофитовой структурой; в них плагиоклаз свежий, основной, а пироксен обилен и разнообразен (рис. 3, а). В самой вос-

Рис. 1. Местоположение наземных и подводных (станции драгирования) выходов базальтов и андезибазальтов на юго-западной оконечности Крыма. Участки: I — Ломоносовский подводный массив, II — мыс Фиолент, III — Форосский выступ



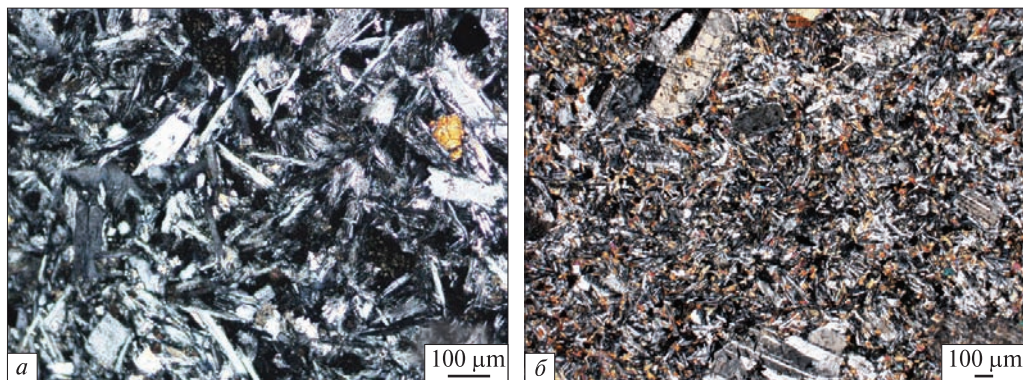


Рис. 2. Базальты-андезитбазальты центральной части ЛПМ. Ник. X: а — ВМ базальт 67/7; б — УМ андезитбазальт 61/1-3г

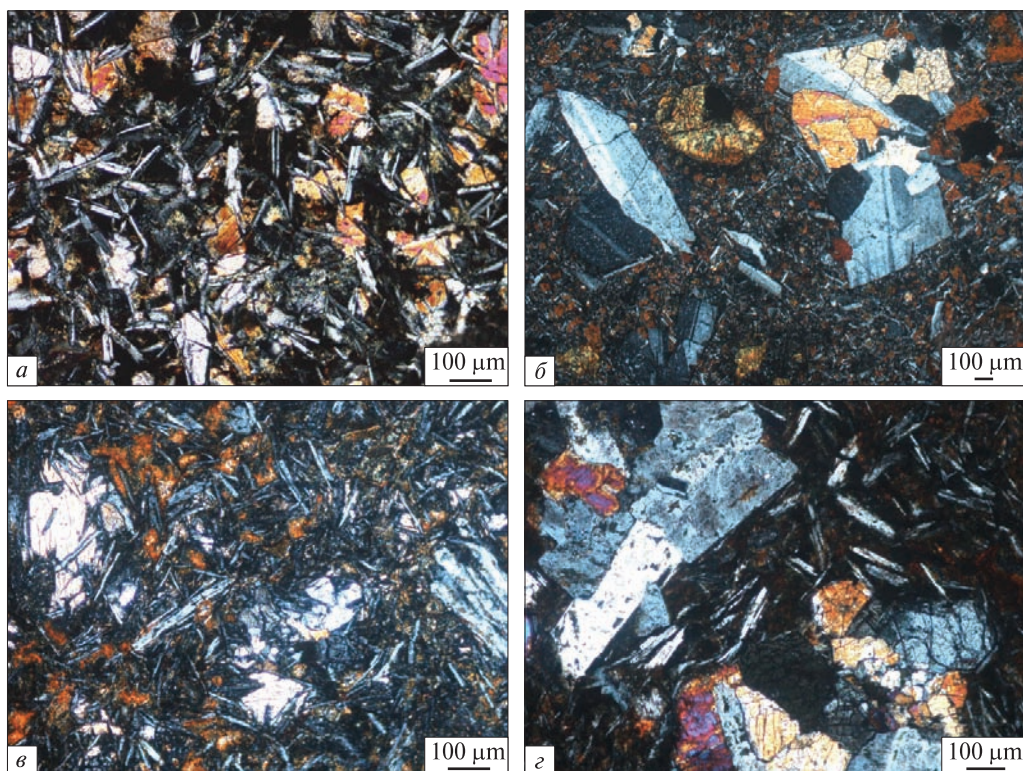


Рис. 3. Базальты восточного края ЛПМ. Ник. X: а — дайковый базальт 8836/1а; б — «океанический» базальт 5/3; в — базальт 44/16; г — «океанический» базальт 45/3

точной оконечности ЛПМ во время последних рейсов НИС «Профессор Водяницкий» (2011 и 2013 гг.) на четырех станциях были драгированы базальты, которые, как оказалось, отличаются от ранее изученных эффузивных базитов, обнаженных западнее. Это порфировые предположительно дайковые породы с микродиабазой структурой основной массы и крупными вкрапленниками плагиоклаза и пироксена; последний представлен диопсидом (рис. 3, б—г). Миндалины в этих базальтах могут как присутствовать, так и отсутствовать. В них ши-

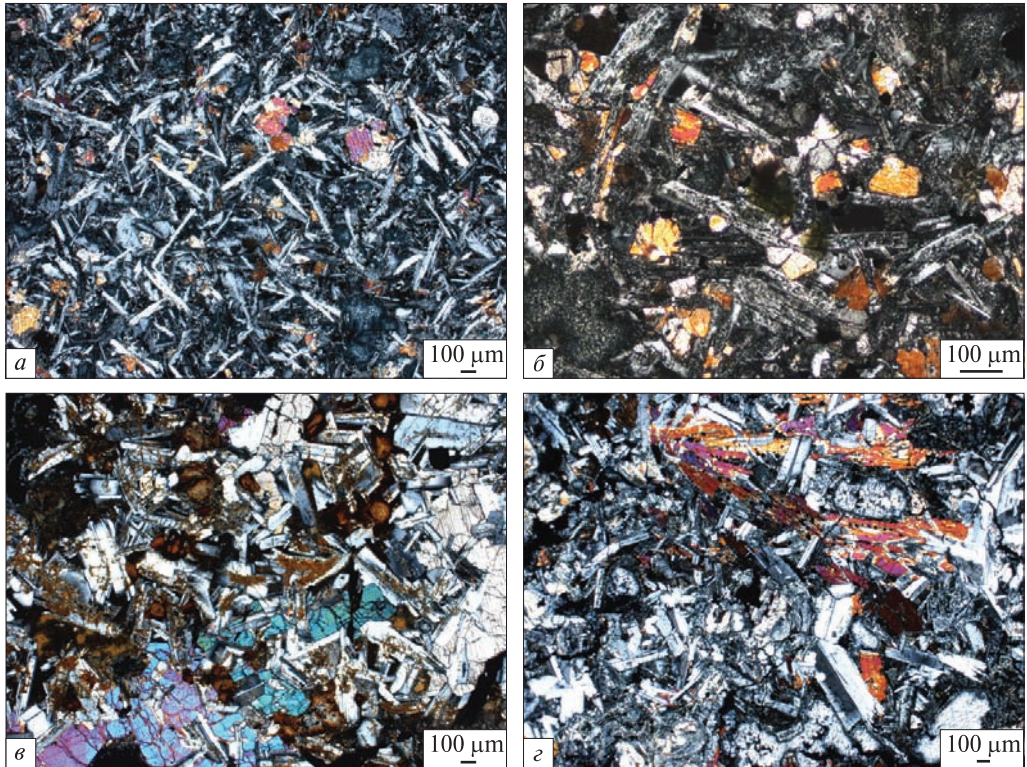


Рис. 4. Базальты мыса Фиолент. Ник. Х: а, б — дайковые базальты (диабазы) центральной части Фиолента (а — Фи 17/1, б — Ф-05); в, з — долериты восточной части Фиолента (в — Л-539/3, з — Фи 7/2)

роко распространены хромшпинелиды. Такие «диабазы» имеют различную магнезиальность. Возраст этих пород еще не определялся.

II. Ближайшие к ЛПМ наземные магматические выходы сосредоточены на Гераклеюмском плато вокруг мыса Фиолент на протяжении 7 км вдоль побережья. Они также условно разделены на три части: западную, центральную и восточную. Только в центральной части существенную роль играют кислые породы, в остальных явно преобладают основные. Западную часть преимущественно занимают интрузивные базиты с прослоями ультраосновных пород; основные эффузивы немногочисленны и похожи на таковые центральной части. Последняя сложена контрастной базальт-плагиориолитовой толщей вокруг самого мыса Фиолент. Базальты (спилиты) с шаровой или подушечной отдельностью чаще всего афировые, альбитизированы, имеют апоинтерсертальную, изредка толеитовую структуру. Спилит-плагиориолитовая толща пересечена дайками диабазов, близких по составу к спилитам. Диабазы имеют офитовую структуру (рис. 4, а, б), сложены лейстами измененного, но неальбитизированного плагиоклаза с промежутками, занятыми мелкими свежими зернами клинопироксена двух генераций (авгит и диопсид). Есть также выходы даек субщелочных неальбитизированных магнезиальных базальтов. В восточной части Фиолентского массива, вблизи Мраморной балки, маркирующей Георгиевский разлом, основные эффузивы совершенно иные: спилитов нет, а появляются миндалекаменные базальты

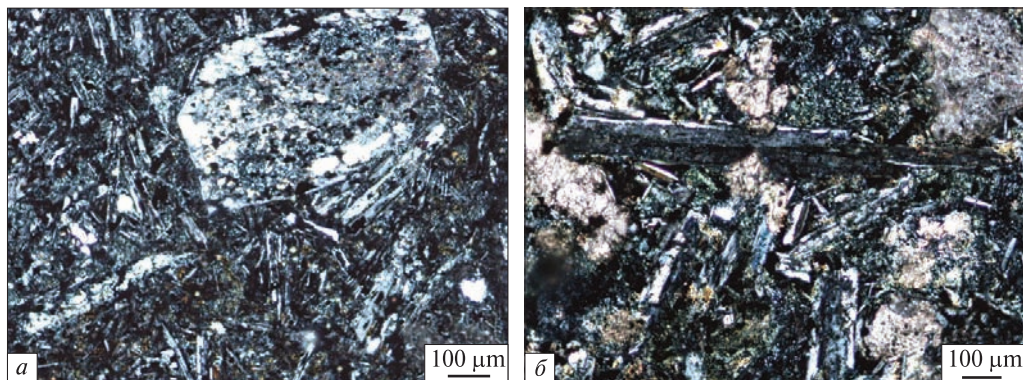


Рис. 5. Базальты Форосского выступа. Ник. X: *a* — миндалекаменный базальт 5605/12; *б* — субщелочной магнезиальный базальт 5605/17

с «капельной» структурой основной массы и карбонатом, замещающим оливин, либо с пилотакситовой структурой и оплавленными вкрапленниками плагиоклаза. С ними в виде даек (?) ассоциируют хорошо раскристаллизованные оливинные долериты (рис. 4, *в*, *г*). Базальты и долериты отмечены также в скважинах на Гераклеяском плато.

Возраст Фиолентского массива считается среднеюрским. Сделано только одно К-Аг определение в 174 млн лет для плагиориолита из центральной спилит-плагиориолитовой толщи; датировок базитов нет.

III. Магматические породы Форосского выступа континентального склона Черного моря представлены преимущественно базальтами; они драгированы с глубин 1200—1800 м в основании склона. Три из четырех установленных здесь разновидностей базальтов аналогичны таковым восточной части Фиолентского массива. Это миндалекаменные неальбитизированные афировые или редкопорфировые базальты с гиалоофитовой, интерсертальной, местами пилотакситовой структурой (рис. 5, *a*); субщелочные магнезиальные базальты (рис. 5, *б*); долериты. Четвертая разновидность — трахибазальты (часто карбонатизированные) — не имеет аналогов ни на суше, ни в ЛПМ.

Возраст магматитов Форосского выступа в 197 млн. лет определялся в редком даците; базальты не датированы.

При столь скудных петрографических различиях генетическую информацию можно извлечь из петрохимических и, особенно, геохимических особенностей базальтов. Общая петрохимическая черта эффузивных базитов всех трех участков — отсутствие толеитовых пород. Базальты-андезибазальты ЛПМ характеризуются высоким содержанием MgO (ВМ — 8—19 %, УМ — 4—11 %), низким содержанием TiO₂ (0,4 — 0,8 %) и относятся к известково-щелочным породам, причем новообнаруженные базальты самого восточного его края располагаются на классификационной диаграмме TAS (рис. 6) вдоль границы с субщелочными породами и имеют переменную, преимущественно промежуточную между ВМ и УМ, магнезиальность.

ВМ вулканическая серия ЛПМ была идентифицирована с бонинитовой серией [1], несмотря на ряд минералогических отличий от типичных бонинитов. Последние являются скорее средними, чем основными породами, так что уве-

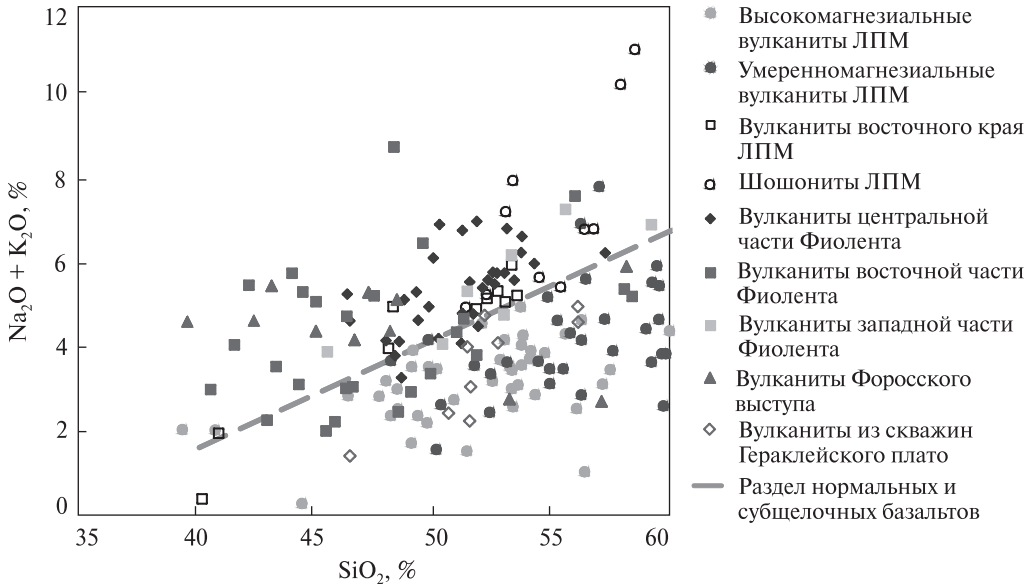


Рис. 6. Отделение субщелочных базальтов-андезибазальтов от таковых нормального ряда на классификационной диаграмме кремнезем — сумма щелочей для изученного района. Составы пород пересчитаны на сухое вещество

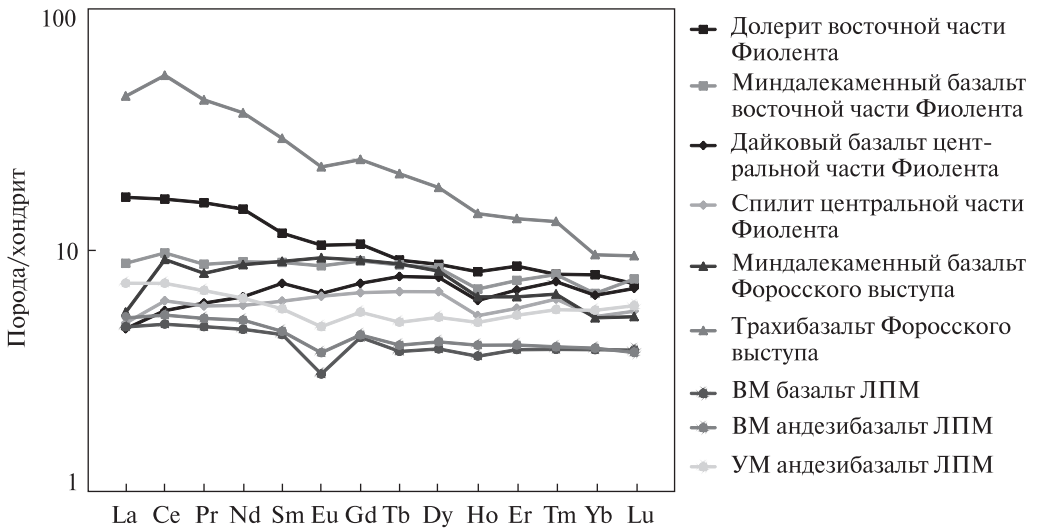


Рис. 7. Нормированные к хондриту спектры распределения РЗЭ в базальтах и андезибазальтах различных участков района

ренно к ним можно относить андезибазальты ЛПМ. А вот базальты, особенно восточного края ЛПМ, могут иметь как бонинитовый, так и иной генезис. Спилиты и диабазы западной и центральной частей Фиолента, базальты и долериты Форосского выступа и большинство базальтов восточной части Фиолента являются субщелочными породами, преимущественно за счет Na (K играет существенную роль лишь в составах трахибазальтов и субщелочных магнезиальных базальтов). Базиты западного и центрального Фиолента содержат MgO в преде-

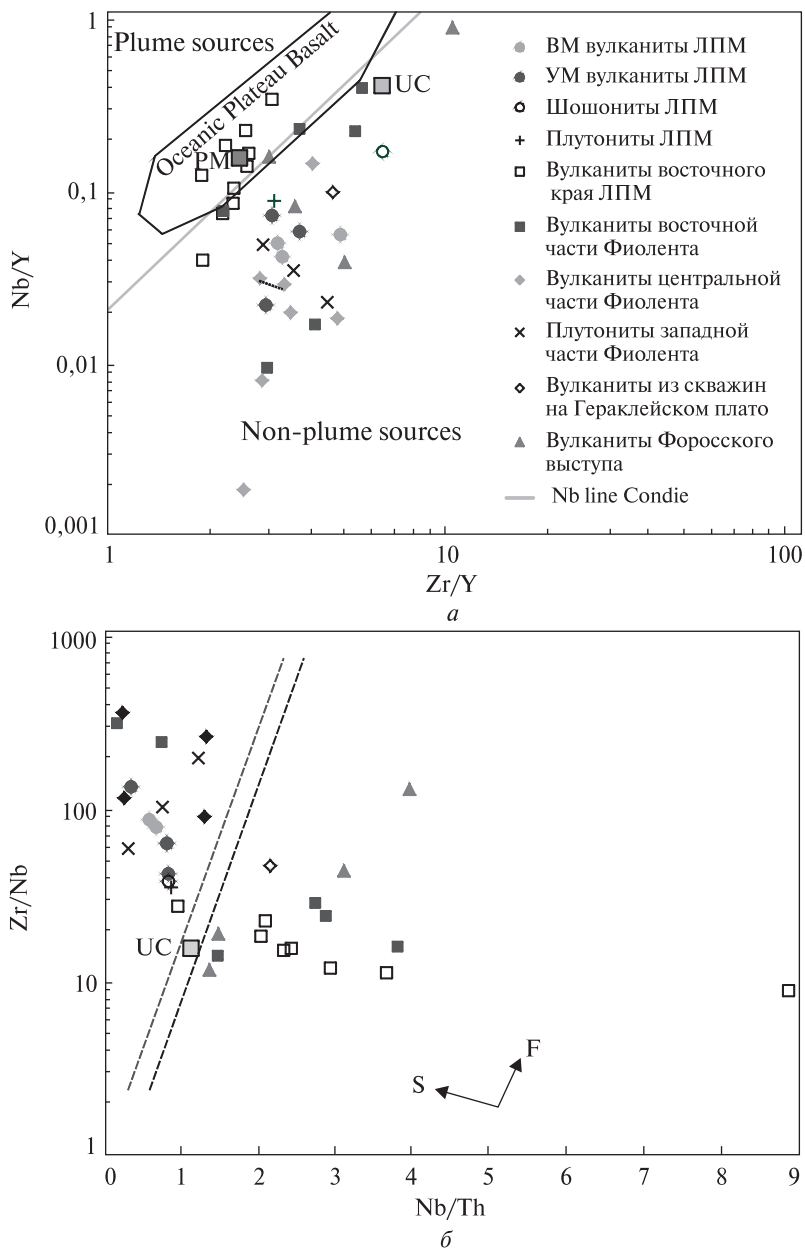


Рис. 8. Положение составов изученных базальтов и андезибазальтов, а также некоторых основных-средних плутонических и субщелочных (калиевых) вулканических пород района на диаграммах $Zr/Y - Nb/Y$ (а) и $Nb/Th - Zr/Nb$ (б) по [2]. UC — верхняя континентальная кора, PM — примитивная мантия, S — эффект субдукции, F — эффект порционного плавления

лах 6—15 % и TiO_2 0,5—1,2 %, а базальтам восточного Фиолента и Форосского выступа присущи низкие содержания MgO (от 2, 5 до 9 %) и относительно высокие — TiO_2 (0,8—1,8 %).

Различие описанных базальтов хорошо прослеживается на уровне редких элементов. На спектрах распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) поро-

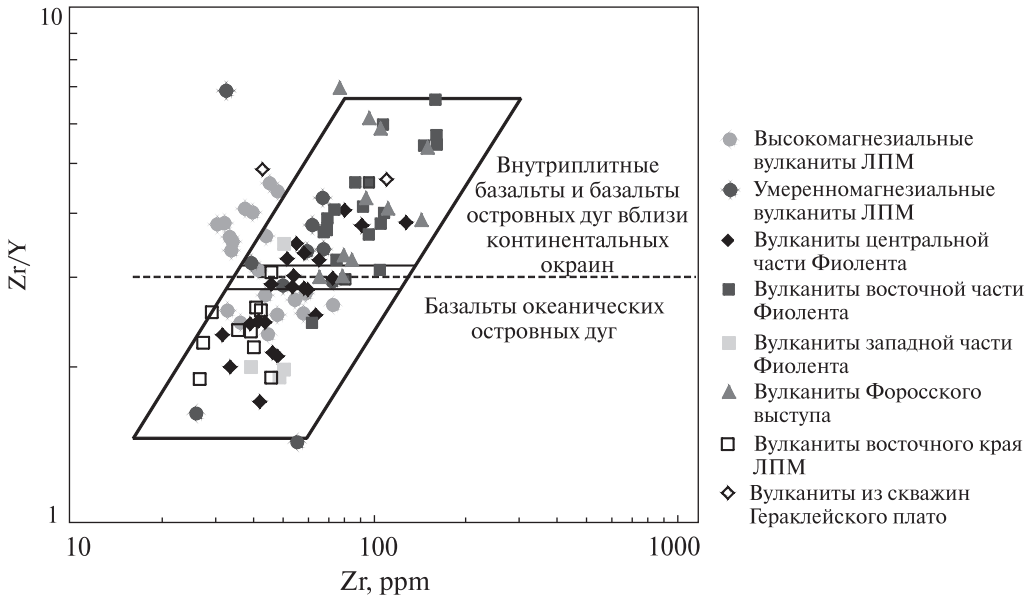
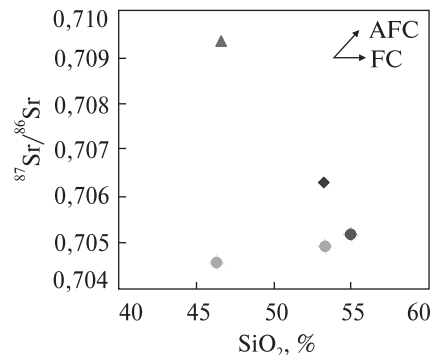


Рис. 9. Положение составов изученных базальтов и андезибазальтов на дискриминационной диаграмме $Zr - Zr/Y$ по [3]

ды ЛПМ расположены ниже уровня 10 относительно хондрита, характеризуются некоторым обогащением легкими РЗЭ и проявляют отрицательную Eu-аномалию, но при этом спектры базитов VM-серии все же не имеют классическую U-образную бонинитовую форму (рис. 7). В расположенных на том же уровне спектрах базитов центральной и западной части Фиолента, напротив, фиксируется обеднение легкими РЗЭ и отсутствие Eu-аномалии. Миндалекаменные базальты как восточной части Фиолента, так и Форосского выступа имеют почти идентичные субгоризонтальные спектры на уровне 10 со стартовым обеднением La, что подчеркивает их родство. Совершенно иной, крутонаклонный спектр с резким обогащением легкими и обеднением тяжелыми РЗЭ имеет трахибазальт Форосского выступа.

Наибольшую геодинамическую нагрузку несут вариации содержаний Ti, Zr, Y, Th и Nb. На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ по Конди [2] все фигуративные точки базитов юго-западной оконечности Крыма (как наземные, так и морские) попадают в поле non-plume sources, которое, по мнению Конди, охватывает базальты субдукционного островодужного и спредингового происхождения либо базальты, контаминированные континентальной корой (рис. 8, a). Исключение составляют недавно обнаруженные базальты самого восточного края ЛПМ: только они пересекают «ниобиевую» линию, отделяющую плюмо-

Рис. 10. Соотношение изотопного состава стронция с кремнекислотностью в некоторых изученных базальтах и андезибазальтах. А — ассимиляция, FC — фракционная кристаллизация. Условные обозначения см. на рис. 6, 8, 9



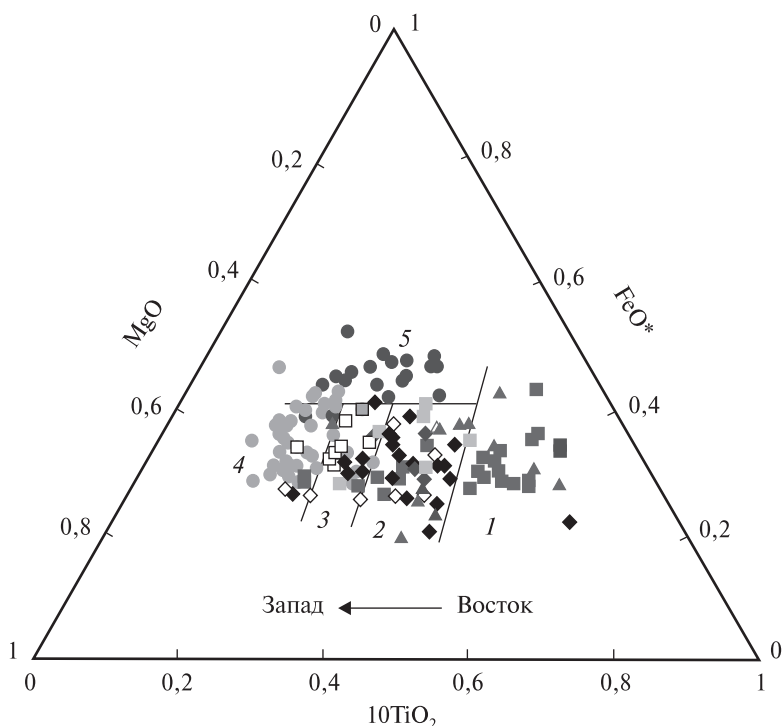


Рис. 11. Положення составов изученных базальтов и андезибазальтов на диаграмме FeO* (суммарное железо) — MgO — 10TiO₂. Условные обозначения см. на рис. 6, интер-претация полей 1—5 дана в тексте

вые источники базальтов от неплюмовых, и попадают в поле базальтов океанических плато. Эти же базальты часто имеют низкое значение индикаторного отношения La/Nb (<1,4), что, по Конди, указывает на океанический источник магмы. На другой диаграмме Конди (Nb/Th — Zr/Nb) изученные базиты (рис. 8, б) оказываются по разные стороны от условной линии, проведенной через точку верхней коры и отделяющей контаминированные корой преимущественно островодужные породы (все точки ЛПМ, а также центра и запада Фиолента) от неконтаминированных несубдукционных пород (вулканиты восточной части Фиолента и Форосского выступа, а также самого восточного края ЛПМ).

При соотношении Zr/Y с содержанием Zr по Пирсу и Норри [3] почти все породы базальт-андезибазальтового состава Фиолента, Форосского выступа и ЛПМ располагаются выше индикаторной линии Zr/Y = 3, в поле внутриплитных базальтов и базальтов островных дуг вблизи континентальных окраин. Только ВМ вулканиты ЛПМ выходят за пределы поля, что подчеркивает «аномальность» (по Пирсу) бонинитового магматизма (рис. 9). А ниже этой линии, в поле базальтов океанических островных дуг, преимущественно находятся базальты крайней восточной части ЛПМ, в том числе и те, которые ранее относились к ВМ и, единично, УМ сериям.

Дополнительные сведения об источниках магмы изученных пород получены по Rb-Sr изотопии (рис. 10). ВМ базальт («диабаз») восточного края ЛПМ характеризуется самыми низкими, мантийными (даже близкими к примитивной мантии) значениями ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr и ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr; чуть выше значение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr у ВМ ба-

зальта ближе к центру ЛПМ; еще выше — у УМ андезибазальта. Более высокое значение (мантийно-коровое) получено для дайкового базальта центральной части Фиолента, а самое высокое, несомненно коровое — для миндалекаменного базальта восточной части Фиолента.

В обобщенном виде смену составов базальтов-андезибазальтов всей юго-западной оконечности Крыма (на суше и в море) можно наглядно представить на тройной диаграмме наиболее контрастных петрогенных окислов $MgO-FeO^*-10TiO_2$, которую предлагается использовать вместо традиционной диаграммы Пирса $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ во избежание наложения точек (рис. 11). Интерпретация намеченных полей, соответствующих выделенным ниже типам базальтов, осуществлена с учетом полученной геохимической информации.

Итак, среди фанерозойских магматических образований зоны сочленения Западно-Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты выделено пять главных петрогенетических типов базальтов, сменяющих друг друга в направлении с востока на запад и примерно от более древних к более молодым (см. рис. 11):

1. Раннеюрские (?) миндалекаменные субщелочные коровые базальты восточной части Фиолента и Форосского выступа, образовавшиеся в обстановке пассивной континентальной окраины. Эти два участка до конца юры составляли единое целое, а затем были разбиты Георгиевским разломом со смещением к югу восточного края. Возможно, дораннеюрскими являются внутриплитные континентальные трахибазальты Форосского выступа.

2. Среднеюрские спилиты и дайковые базальты (диабазы) центральной и западной частей Фиолента, имеющие двойственную природу. С одной стороны, эти члены бимодальной толщи формировались в условиях длительного растяжения и несут некоторые признаки базальтов СОХ, а с другой, имеют отдельные субдукционные, островодужные черты. Для них установлен исходный мантийно-коровый источник и незначительная контаминация корой при внедрении.

3. «Океанические» базальты и диабазы самого восточного края ЛПМ различной магнезиальности; в случае высокой — это мантийные породы, не контаминированные корой. Возможно, их следует включать не в сам ЛПМ, а в соседнюю, примыкающую с востока структуру, отрисованную по результатам интерпретации сейсмопрофилей.

4. Бониниты — высокомагнезиальные андезибазальты и, менее надежно, базальты восточной части ЛПМ. Изначально мантийные породы, контаминированные континентальной корой древнего фундамента. Представляют собой фронт палеоостровной дуги, фрагментом которой является ЛПМ (шошониты западной части — это тыл). Образовывались, предположительно [1], начиная с позднего мела при второй стадии субдукционных процессов в изученном районе в результате раскрытия Западно-Черноморской впадины в тылу очень пологой (flat-slab) субдукции северного падения.

5. Известково-щелочные типично островодужные умеренномагнезиальные андезибазальты и, реже, базальты центральной части ЛПМ. Несколько менее мантийные, но также контаминированные корой породы. Образовывались на обеих субдукционных стадиях, но преимущественно при первой субдукции южного наклона в промежутке времени от средней юры до раннего мела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнюкова Е.Е. Магматизм зоны сочленения Западно-Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты. Київ: Наук. думка, 2016. 235 с.
2. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*. 2005. V. 79. P. 491—504.
3. Pearce J.A., Norry M.J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1979. 69 (1). P. 33—47.

Статья поступила 10.11.2018.

К.Є. Шнюкова

БАЗАЛЬТИ РІЗНОГО ГЕНЕЗИСУ В ЗОНІ ЗЧЛЕНУВАННЯ ЗАХІДНОЧОРНОМОРСЬКОЇ ЗАПАДИНИ, ПІРСЬКОГО КРИМУ ТА СКІФСЬКОЇ ПЛИТИ

Базальти і андезібазальти є найбільш інформативними з геодинамічної точки зору породами, що виявлені і вивчені на трьох ділянках розвитку магматизму в північній частині Чорного моря на континентальному схилі і прилеглий суші. На підставі петрохімічних і геохімічних ознак виділено 5 петрогенетичних типів базальтів і дано їх геодинамічну інтерпретацію.

Ключові слова: базальти, Чорне море, геодинаміка.

K. Ye. Shniukova

BASALTS OF VARIOUS GENESIS IN THE JUNCTION ZONE OF THE WESTERN BLACK SEA, MOUNTAIN CRIMEA AND SCYTHIAN PLATFORM

Basalts and andesibasalts, which are the most informative from a geodynamic point of view, have been discovered and studied within three magmatic areas in the Northern part of the Black Sea on the continental slope and nearby land. Based on the petrochemical and geochemical characteristics, 5 petrogenetic types of basalts have been distinguished; their geodynamic interpretation is given.

Keywords: Basalts, Black Sea, geodynamics.