Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1983, т. 95

УДК 552.331

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

В.Г.ЛАЗАРЕНКОВ

Проблеме происхождения щелочных пород и формаций посвящено значительное количество исследований, высказано много, нередко достаточно противоречивых точек зрения. По мнению ряда петрологов, магма, обогащенная щелочами, формируется в особых геологических условиях, и, следовательно, проблема происхождения щелочных формаций заключается в выяснении этих условий, в выявлении генетических причин, вызвавших эти условия. Параллельно с развитием классических ассимиляционных и дифференциационных взглядов относительно недавно были выдвинуты представления об анатектическом генезисе щелочных пород [I2-I4, 30].

В настоящее время назрела необходимость общего рассмотрения процесса анатексиса для всей совокупности щелочных формаций с учетом геологических данных. Представляется целесообразным рассмотреть принципиальные геологические возможности самостоятельного выплавления щелочных магм, определить потенциальные возможности дискретного анатексиса щелочных формаций в самом широком плане. Второй важной целью является определение места действия щелочного анатексиса - в мантии и в земной коре, а одной из дополнительных задач - выявление индивидуальных особенностей глубин зарождения щелочных формаций.

Группа формаций щелочных ультрамафитов и габброидов натриевого ряда. Предположения об анатектическом способе образования щелочно-ультраосновной магмы высказывались Ю.М.Шейнманном [I3], Р.Балтитудом, Д.Грином [I8] и другими исследователями. Остановимся на признаках дискретного происхождения магмы.

В ряду щелочных эффузивных формаций эквивалентная формация щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами нефелинитовая с карбонатитами формация занимает автономное пространственное и временное положение между щелочными базальтами и кимберлитами [9]. Классическим примером является восточноугандийский комплекс Восточно-Африканской щелочной провинции.

Экспериментальные исследования в системе перидотит - летучий компонент подтверждают возможность прямого анатексиса щелочно-ультраосновной магмы из перидотитов [I8].

Следующим, представляющим значительный интерес, является вопрос о месте выплавления щелочно-ультраосновной магмы: I) интрузивные комплексы щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами обладают большой верти-

кальной протяженностью – их корни прослеживаются вплоть до уровня верхней мантии; это оказывается в хорошем соответствии с находками в нефелинитах мантийных включений гранатовых и шпинелевых перидотитов и шпинелевых лерцолитов [25]; 2) низкая распространенность пород рассматриваемой формации среди других щелочных пород [8], с нашей точки зрения, имеет простое объяснение – чем более редки данные разновидности среди других щелочных пород, тем более глубинными они являются по своему происхождению; 3) петрохимический состав анализируемой формации близок к среднему составу мантии; 4) величины отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ в карбонатитах, мельтейгитах и ийолитах [25] отвечают мантийным; 5) проблема происхождения щелочно-ультраосновной магмы является частью проблемы генезиса ультраосновных пород, для которых рядом исследователей предполагается мантийный генезис; 6) обогащенность пород щелочно-ультраосновной формации некогерентными элементами (см. таблицу) находит наиболее удовлетворительное решение с точки зрения идеи о преданатектической метасоматической переработки ультрабазитовой матрицы трансмагматическими растворами [2].

Средние составы элементов-примесей в щелочных интрузивных формациях, г/т

Элемент	Формации[x]										
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Li	6	3	—	66	I24	25	80	I2	25	5I	42
Rb	53	50	I60	200	420	I70	230	97	480	I80	240
Sr	I070	—	I200	65	40	2I0	48	690	I320	600	890
Ba	940	—	4500	290	200	650	I80	650	4I50	I200	990
Th	37	—	I4	—	—	I9	46	I0	40	20	2I
TR	920	—	430	370	5I0	270	—	I90	I50	680	980
Y	20	—	28	76	220	II0	I85	—	—	5I	73
Zr	290	—	250	2400	520	640	570	500	86	790	I600
Nb	I80	—	6	53	200	I40	I55	I30	30	I80	330
V	280	240	340	6	—	23	6	25	5I	—	39
Cr	6I0	400	900	5	—	I	25	I8	—	—	I6
Co	60	I30	45	I	—	I	I0	II	—	5	II
Ni	570	34	80	7	—	9	I0	5	—	85	36
Ga	I7	9	I6	33	33	29	45	30	20	30	44

[x] 1 – щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами; 2 – миаскитовых нефелиновых сиенитов-габбро; 3 – псевдолейцитовых сиенитов-шонкинитов; 4 – эгирин-арфведсонитовых гранитов; 5 – эгирин-арфведсонитовых и колумбитоносных биотитовых гранитов; 6 – миаскитовых нефелиновых сиенитов-сиенитов; 7 – миаскитовых нефелиновых сиенитов-сиенитов с карбонатитами; 8 – сиенитов-миаскитовых нефелиновых сиенитов; 9 – псевдолейцитовых сиенитов; 10 – сиенитов-агпаитовых и миаскитовых нефелиновых сиенитов; 11 – агпаитовых нефелиновых сиенитов.

В целом в подходе к генезису щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами весьма перспективной представляется анатектическая модель. Первичный состав щелочно-ультраосновной магмы скорее всего соответствовал нефелиновым пикритам или близким им породам [6].

Группа формаций нефелиновых и щелочных сиенитов. Возникновение нефелиновых сиенитов занимает центральное место в проблеме образования щелочных пород. Анатектические гипотезы связывают образование нефелиновых сиенитов с плавлением гранитного, базальтового и перидотитового слоев.

Вопрос о дискретном анатексисе интересующих нас формаций решается достаточно определенно на основании следующих данных.

I. Эффузивный эквивалент рассматриваемых формаций - фонолитовая формация - занимает автономное пространственно-временное положение. Замечательным геологическим примером является платофонолитовый комплекс Кении, где большие массы фонолитов, примерно равные по объему нефелиновым сиенитам всех геологических эпох и развитые на значительной площади, залегают на древнем фундаменте и не подстилаются более ранними эффузивными породами.

2. Крупнейший хибино-ловозерский комплекс агпаитовых нефелиновых сиенитов тоже характеризуется независимым пространственно-временным положением. Вопрос о его возможных базальтовых предшественниках в настоящее время, по-видимому, снимается, ввиду того что в комагматичной контозерской вулканической свите признаки мощных базальтовых излияний отсутствуют.

3. Общий высокий уровень концентрации элементов примесей в крупных массивах формации агпаитовых нефелиновых сиенитов по сравнению с уровнем, достигаемым в других щелочных формациях лишь в небольших массивах, находит лучшее объяснение с позиции потока трансмагматических растворов и анатексиса, чем с позиций кристаллизационной дифференциации.

Вопрос о месте возникновения первичных расплавов, дающих начало породам рассматриваемых формаций, как нам представляется, решается в пользу верхов мантии. Об этом свидетельствуют следующие данные.

I. Промежуточное положение платофонолитовой формации между мантийными нефелинитовой с карбонатитами и лейцититовой формациями во временно́м и латеральном ряду щелочных формаций [9], позволяющее предполагать близкий уровень ее выплавления.

2. Промежуточный характер распространения нефелиновых сиенитов - между щелочными ультрабазитами и щелочными гранитами, говорящий о промежуточном характере глубин их образования [8].

3. Геохимическая близость рассматриваемых формаций (см. таблицу) к формации щелочных и ультраосновных с карбонатитами и щелочных гранитов, указывающая на более или менее сходный состав трансмагматических растворов, инициировавших плавление.

4. Наличие в щелочных базальтах ряда мест земного шара санидина и анортоклаза - мегакристов высокого давления. Везде, где эти интересные

образования найдены, они встречаются совместно с включениями шпинелевых лерцолитов и фенокристаллами высокобарических минералов – граната и пироксена. По величине отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7040 [28]) мегакристы близки к щелочным полевым шпатам нефелиновых сиенитов (0,70483 [24]). Близки мегакристы к этим минералам и по ряду геохимических и кристаллооптических характеристик, что позволяет предполагать высокобарическое и мантийное происхождение самих нефелиновых сиенитов, в которых щелочной полевой шпат относится к числу основных породообразующих фаз. Санидин, сам по себе, является типичным высокобарическим минералом. Его присутствие отмечается в алмазе и во включениях гроспидита в кимберлитах [27].

5. Значительная вертикальная протяженность щелочных массивов рассматриваемой формации. Корневая часть Октябрьского массива древнего комплекса, по сейсмическим данным, прослеживается до подкорового субстрата.

6. Близость макроэлементного состава формации нефелиновых сиенитов к составу формации щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, для которой предполагается мантийный генезис.

7. Мантийная величина отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в нефелиновых сиенитах (0,7043–0,7046 [25]).

8. Находки включений шпинелевых лерцолитов в фонолитах [20].

Экспериментальные работы по анатексису нефелиновых сиенитов из мантийных пород пока отсутствуют. В качестве мантийных пород, производящих первичную фонолитовую магму, больше всего подходят эклогиты, содержащие омфацит с жадеитовой и акмитовой "молекулами" [12], а в качестве продуктивных слоев – эклогитовые прослои в перидотитах. Первичный состав фонолитовой магмы, по-видимому, был близок к составу платофонолитов Кении.

Группа формаций щелочных гранитов. Большинство исследователей щелочных гранитов вопрос об их генезисе отрывает от общей проблемы образования гранитов и рассматривает их, хотя и не совсем обычными, но все же коровыми магматическими образованиями. Современные представления об образовании щелочных гранитов (типа Кийв или Северной Нигерии) изложены в работах В.И.Коваленко [5], Л.С.Бородина [3], Г.Брауна, П.Боудена [17] и других исследователей. Веским аргументом в пользу дискретного анатексиса щелочных гранитов является независимый характер залегания крупнейшего в мире комендит-пантеллеритового комплекса Эфиопии, который с полным правом можно рассматривать как эффузивный аналог, например, кейвского интрузивного комплекса. Эфиопский комплекс щелочных липаритов, хотя и залегает на толеитовых и щелочных базальтах, тем не менее прямой генетической связи с этими породами не обнаруживает, поскольку отделен от них определенным интервалом времени, в течение которого в соседних с Эфиопией областях сформировались нефелинитовый с карбонатитами комплекс Уганды и платофонолитовый комплекс Кении. Следующими важными аргументами, не позволяющими рассматривать комендиты и пантеллериты Эфиопии как дифференциаты базальтовой магмы, является «бимодальный" характер распределения базальтов и щелочных липа-

ритов и чрезвычайно большой объем последних, превышающий в три раза то их количество, которое может произвести базальтовая магма даже в самых благоприятных условиях дифференциации. О дискретном происхождении интересующей нас группы формаций свидетельствует также независимое пространственно-временное положение северотигерийского комплекса, который не обнаруживает связей ни с базальтовыми, ни с гранитными комагматичными ассоциациями.

Вопрос о месте выплавления щелочных гранитов представляет значительный интерес. С одной стороны, горные породы этой группы формаций несут на себе признаки корового происхождения: I) пространственное тяготение ее многочисленных комплексов к границам подвижных поясов, к срединным массивам и к авлакогенам позволяет смотреть на проблему их происхождения, как на частную проблему гранитного анатексиса; 2) в латеральном ряду щелочных эффузивных формаций эквивалентная формациям щелочных гранитов комендит-пантеллеритовая формация занимает наиболее удаленное от центра платформ положение на границе с подвижными областями [9]; это обстоятельство сближает генезис формаций щелочных гранитов с генезисом гранитных формаций геосинклинального ряда; 3) для комплексов щелочных гранитов характерен крупный масштаб проявления, не свойственный комплексам щелочных пород, но свойственный комплексам известково-щелочных гранитов; это также сближает группу формаций щелочных гранитов с формациями нормальных гранитов; 4) наличие в составе щелочногранитных формаций нормальных гранитов сближает их с гранитными формациями известково-щелочного ряда; 5) петрохимический состав формаций щелочных гранитов близок к составу гранитного слоя; 6) величина отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ в щелочных липаритах [I5] и в щелочных гранитах [I6] корова.

С другой стороны, установление мантийного генезиса других щелочных формаций ставит вопрос о выявлении таких признаков и в рассматриваемой группе формаций: I) обогащенность формаций щелочных гранитов теми же некогерентными элементами, что и формации щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами (см. таблицу), свидетельствует о ее большей геохимической близости к мантийным формациям, чем к гранитным коровым; 2) исключительная бедность формаций щелочных гранитов стронцием, возможно, указывает на мантийный генезис, поскольку мантия обеднена этим элементом; 3) большая вертикальная протяженность кейвского комплекса, который пронизывает весь гранитный слой и уходит своими корнями в базальтовый [I], а может быть и в мантию, также свидетельствует о мантийном характере данной формации.

В целом совмещение в формациях щелочных гранитов черт корового и мантийного происхождения позволяет предполагать, что образование щелочной магмы происходило за счет коровых пород - кварцево-полевошпатовых гранулитов, чарнокитов - в широком диапазоне глубин на границе раздела коры и мантии или в верхах мантии, куда могли быть погружены горные породы кислого состава. Плавление щелочногранитной магмы скорее всего имело место в линейных тектонических зонах в условиях сконцентрирован-

него, не неоднородного по плотности потока трансмагматических растворов натриевого состава, обогащенных характерными для щелочных гранитов элементами-примесями.

Группа формаций щелочных ультрамафитов калиевого ряда. Гипотеза анатектического происхождения этих формаций была предложена А.Уотерсом [30] и поддержана В.С.Соболевым [13]. При анализе условий образования данной формации сначала укажем на признаки дискретного происхождения.

Эффузивный аналог рассматриваемой формации – лейцititовая формация – занимает независимое пространственно-временное положение в ряду щелочных формаций [9]. Замечательным примером является лейцititовый комплекс Западного Рифта, пространственно отделенный от родственных щелочных комплексов Восточно-Африканской провинции. Принципиальная возможность прямого выплавления калиевых щелочно-ультраосновных пород из мантийных слюдяных перидотитов была показана экспериментами П.Модрески и А.Бетчера [22].

При решении вопроса о месте выплавления щелочно-ультраосновных расплавов калиевого типа принимаем во внимание: I) сближенное пространственное положение лейцititовой и кимберлитовой формаций, с нашей точки зрения, свидетельствующее о близости глубин их образования; 2) наличие включений мантийного происхождения в калиевых эффузивных породах (пироксенитов, слюдяных пироксенитов, глиммеритов, эклогитов, шпинелевых и гранатовых перидотитов), наличие в фидроитах и волкидитах, как в кимберлитах, фенокристаллов флогопита, а также редкие находки алмазов в фидроитах, сближающее калиевые ультрабазиты с кимберлитами по глубине формирования [4, 21, 11]; 3) низкую распространенность пород лейцititовой формации среди щелочных интрузивных пород (менее I %), сопоставимую лишь с распространенностью кимберлитов (около I5 км^2 для всей территории земного шара), что, по нашему мнению, также свидетельствует об их мантийном генезисе; 4) наличие постепенных формационных и петрографических переходов между щелочными ультрабазитами калиевого ряда и кимберлитами [I0, 2I]; 5) близость петрохимического состава данных формаций к среднему составу мантии; 6) значительное сходство геохимических черт щелочных ультрабазитов калиевого ряда и кимберлитов, указывающее на родственность геохимической обстановки, в которой они образовывались; 7) сейсмологические данные о глубинах зарождения щелочных магм калиевого типа, показывающие, что первичные очаги индонезийских калиевых вулканов залегают на глубинах I60–220 км и 300 км [3I], а итальянских – 300 км [23]; это примерно соответствует глубинам залегания нижних слоев астеносферы под платформами и сопоставляется с глубинами формирования кимберлитов, рассчитанными из термодинамических параметров кристаллизации алмаза; 8) экспериментальные данные по изучению областей устойчивости калийсодержащих минералов – лейцита [29], флогопита [22], свидетельствующие о том, что если лейцит устойчив только в верхах мантии, то область устойчивости флогопита распространяется в глубь мантии на 200 км и более.

Итак, в верхней мантии вблизи границ алмазоносных и широповых ультрабазитов, возможно, происходило частичное плавление субстрата с об-

разованием мелалейцититового расплава. Щелочно-ультрабазитовый анатексис, по-видимому, также сопровождался метасоматической переработкой субстрата трансмагматическими растворами с обогащением его калием и характерными элементами [7].

В целом, исходя из того что в большинстве щелочных формаций главная масса щелочных пород сконцентрирована всего в одном-двух крупных комплексах, наряду с которыми существует много мелких, заключающих в себе лишь небольшую долю этих образований, проблема происхождения щелочных формаций, в первую очередь, сводится к анатексису этих крупных комплексов. Анализ совокупности геологических и других данных об анатексисе щелочных формаций позволяет прийти к следующим выводам.

I. Первичные магмы, давшие начало щелочным комплексам и формациям, представляют собой д и с к р е т н ы е а н а т е к т и ч е с к и е выплавки. Формационный анализ щелочных пород дает хорошие доказательства существования в природе таких субщелочных и щелочных магм.

Характерной особенностью условий залегания ряда крупных щелочных комплексов является пространственно-временна́я обособленность как от других щелочных, так и от известково-щелочных, в том числе базальтовых комплексов, что указывает на полную самостоятельность их выплавления и дальнейшего развития. Самым замечательным из таких формирований является гигантский платофонолитовый комплекс Кении, весьма показательными - лейцититовый комплекс Западного Рифта и огромный комендит-пантеллеритовый комплекс Эфиопии. Примечательной чертой щелочных комплексов Восточно-Африканской провинции является пространственная разделенность или своего рода «магматическая диспергированность" по латерали вследствие громадного размера этой провинции и исключительно рельефного характера магматической деятельности. Аналогичная картина имеет место и для ряда интрузивных комплексов: хибино-ловозерского, сыннырского, северонигерийского и других.

Данные о количественно-породных и химических составах щелочных комплексов и формаций свидетельствуют об их значительной гетерогенности. Этот факт с позиций дискретного анатексиса находит не менее простое и естественное объяснение, чем с позиций магматической дифференциации.

На дискретный характер выплавления субщелочных и щелочных магм указывает подмеченный еще Р.Дали «бимодальный" характер распределения базальтов и щелочных пород. В этой связи обращает на себя внимание, что новые данные о распространенности горных пород в крупнейших континентальных провинциях подтверждают соображения Р.Дали [I9].

В экспериментальном отношении процесс щелочного анатексиса изучен еще недостаточно, поскольку ассимиляционные и дифференциационные взгляды на происхождение щелочных пород не стимулировали эти эксперименты.

2. Местом выплавления субщелочных и щелочных первичных магм скорее всего является в е р х н я я м а н т и я.

В общем временно́м и пространственном ряду платформенных формаций щелочные формации занимают промежуточное положение между мантийными кимбер-

литовой и базальтовой формациями, что позволяет предполагать их образование в интервале глубин между этими формациями.

По геофизическим данным ряд щелочных массивов и комплексов обладает значительной вертикальной протяженностью вплоть до подкорового субстрата.

Достоверные включения мантийного происхождения в настоящее время фиксируются только в субщелочных и щелочных породах. Этот важный и пока находящийся в тени факт сам по себе уже проливает свет на всю проблему происхождения щелочных пород, определенно указывая на мантийный характер главнейших уровней щелочного магмаобразования. Для петрогенезиса щелочных пород необходимо подчеркнуть важную роль мегакристов санидина и анортоклаза.

Незначительная распространенность и уникальность состава некоторых типов щелочных пород, как и кимберлитов, может также свидетельствовать об их сверхглубинном происхождении.

Экспериментальные данные указывают на устойчивость главнейших породообразующих минералов щелочных пород - санидина, альбита, жадеита, лейцита, флогопита, керсутита - в термодинамических условиях верхней мантии.

3. Процесс щелочного анатексиса происходит на разных мантийных уровнях. Из данных о положении формаций в латеральном ряду, о мантийных включениях и о распространенности щелочных пород складывается впечатление, что области анатексиса щелочных формаций образуют определенный ряд глубинности. Наиболее глубинное положение занимает зона магмаобразования формации псевдолейцитовых сиенитов-монкинитов, располагающаяся вблизи зоны кимберлитового анатексиса. На несколько меньших глубинах, по-видимому, располагается зона анатексиса формации щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами. Выше нее залегает зона магмаобразования группы формаций нефелиновых и щелочных сиенитов. Образование формаций группы щелочных гранитов предполагается на границе коры и мантии. Представляет интерес увязка уровней щелочного магмаобразования, намеченных по данным формационного анализа, с уровнями залегания астеносферных слоев, выделенных по данным сейсмологии. Под платформами верхняя кромка астеносферы фиксируется на глубинах 120-130, иногда 150 км, а нижняя - 300-400 км, следовательно, зона кимберлитового магмаобразования, видимо, связана с нижними, а зона базальтового - с верхними частями астеносферы. Астеносферные слои, производящие магму формаций псевдолейцитовых сиенитов-монкинитов и щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, очевидно, располагаются в интервале глубин 150-300 км. Астеносферные зоны, дающие магму нефелиновых и щелочных сиенитов, возможно, находятся ниже и выше слоя базальтового анатексиса, а слои, рождающие щелочногранитный магматизм - на глубинах 20-120 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов В.И. Вычисление гравитационных аномалий от трехмерных тел. Л., Наука, 1974, 96 с.

2. Бородин Л.С., Лапин А.В., Пятенко И.К. Петрология и геохимия даек щелочно-ультраосновных пород и кимберлитов. М., Наука, 1976, 243 с.

3. Бородин Л.С., Пожиенева Е.А. О закономерностях развития щелочного магматизма на территории СССР. – Изв. АН СССР. Серия геол., 1977, № 9, с.5–18.

4. Дмитриев Э.А. Кайнозойские калиевые щелочные породы Восточного Памира. Душанбе, Дониш, 1976, 168 с.

Коваленко В.И. Петрология и геохимия редкометальных гранитоидов. М., Наука, 1977, 206 с.

6. Кононова В.А. и др. Роль щелочного магматизма в формировании месторождений ...зных ископаемых. – В кн.: Магматизм и эндогенное образование. М., Наука, 1976, с.70–97.

...С. ...сть состава магм от щелочности трансмагм флюидов. ДАН СССР, 1977, т.235, 2, .454–457.

8. Лазаренков В.Г. О распространенности главнейших разновидностей щелочны... пород. – ДАН СССР, 1979, т.247, с.1240–1241.

9. Лазаренков В.Г. О времени... и латеральном рядах щелочных платформенных формаций. – Геология и геофизика, 1981, с.61–69.

10. Маракушев А.А., Перчу Л.Л. Основные направления эволюции магматизма в развитии земной коры. В кн.: Кора и верхняя мантия Земли. Вып.2. М., Изд-во МГУ, 1975, с.18–35.

Минералогия щелочных массивов и их месторождений / Под ред. Е.И.Семенова. М., Наука, 1974, 245 с.

12. Соболев В.С. Строение верхней мантии и способы образования магмы. М., Наука, 1973, 82 с.

13. ...ьманн ... О новой петрографической провинции на севере Сибирской платформы. .АН СССР. Серия 1947, № с.17–25.

14. Щелочные породы ... Х.Сересенса. Мир, 400 с.

B a r b e r a.o. J.Petrol., 1975, v.16, N 1, p.22–56.

16. B r e e m e n O., u c h i n s o n J., B w d e n Contrib. Miner... Petrol., 1975, v.50, N 3, p.157–172.

17. B r o w n G.C., B o w d e n P. – Contrib. Mineral. Petrol., 1973, v.40, 2, p.131–139.

18. t i t u d e R.S., G r e e n D.H. – Earth and Planet. Lett., 1968, v.3, N 4, p.325–327.

19. C h y e s F. Amer.mineral., 1977, v.62, N 7–8, p.830–837.

20. I r v i n g A., P r R. – Geochim.Cosmochim. Acta, 1981, v.45, N 8, p.713–720.

21. e y e r H. – J.Geol., 1977, v.84, N 4, p.530–541.

22. M o d r e s k i P.J., B o e t t c h e r A.L. – Amer.J. Sci., 1973, v.273, N 5, .395–415.

23. N i n k o v i c h D., H a y s J.D. – Earth Planet. Sci. Lett., 1972, 16, N 3, p.318–335.

24. P a n k h u r s t R.I., B r o o k s C.K., B e c k i n s a l e R.D. – Contr. Mineral. Petrol., 1976, v.54, N 1, p.17–42.

25. R o c k N.M.S. – Contr.Mineral. Petrol., 1976, v.56, N 2, p.205–228.

26. S i a l A.N. - Bull. Geol. Soc. Amer., 1977, v.58, N 8, p.1173-1176.

27. S m i t h J.R., H a t t o n C.J. - Earth and Planet. Sci. Lett., 1977, v.34, N 2, p.284-290.

28. S t u c k l e s s J.S., I r v i n g A.I. Geochim. et Cosmochim. Acta, 1976, v.40, N 2, p.209-215.

29. T h o m p s o n R.N. - Contrib. Mineral. Petrol., 1977, v.60, N 1, p.91-108.

30. a t e r s - Spec. paper Geol. Soc. Amer., 1955, v.62, p.703-722.

31. W h i t f o r d D.J., N i c h o l s Potassium variation in lavas across the Sunda arc in Java and Bali. - In: Volcanism in Australia, 1976, Amsterdam, p.63-75.