БИМОДАЛЬНЫЕ ВУЛКАНОГЕННЫЕ И СУБВУЛКАНИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ (PZ₃-MZ): ИСТОЧНИКИ МАГМ, ЭВОЛЮЦИЯ, ГЕОДИНАМИКА

© 2010 г. А. А. Цыганков, В. Б. Хубанов, А. В. Филимонов

Геологический институт СО РАН 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, ба E-mail: tsygan@gin.bscnet.ru Поступила в редакцию 12.04.2010 г.

Представлены результаты сравнительного петролого-геохимического изучения трех разновозрастных бимодальных ассоциаций Западного Забайкалья: дайкового пояса (305–285 млн. лет), Тамирской (≈250 млн. лет) и Мало-Хамардабанской (160–145 млн. лет) вулкано-тектонических структур, сложенных трахибазальтами, трахитами и трахириолитами (эффузивной и субвулканической фаций) в разных пропорциях. На основе изотопно-геохимических данных сделан вывод о том, что источники магм разновозрастных бимодальных ассоциаций имели несколько различающийся, но в целом близкий состав, существенно отличающийся от типичных мантийных источников внутриплитных базальтов. Высказано предположение, что это отличие связано с процессами мантийного метасоматоза, протекавшими на предшествующем (субдукционном) этапе развития рассматриваемого региона. Установлено, что изменение макрокомпонентного состава пород во времени проявляется лишь в базальтах: в них несколько возрастает общая щелочность, содержание РЗЭ и степень дифференцированности РЗЭ спектра, возрастает величина отрицательной Еи аномалии. Это свидетельствует о более дифференцированнох характере наиболее поздних образований, но, в то же время, может отражать последовательное "заглубление" области магмогенерации или/и уменьшение степени парциального плавления.

Ключевые слова: трахибазальт-трахит-трахириолитовая бимодальная ассоциация, дайковый пояс, вулкано-тектонические структуры, Западное Забайкалье, внутриплитный магматизм, источники магм, эволюция.

Позднепалеозойская геологическая история Западного Забайкалья ознаменовалась формированием гигантского объёма разных по составу гранитоидов, занимающих порядка 80% площади региона. Заключительный этап гранитоидного магматизма сопровождался внедрением многочисленных трахибазальт-трахит-трахириолитовых даек, группирующихся в виде протяженного (не менее 200 км) пояса, приуроченного к юго-западной части гранитоидного ареала (рис. 1). Бимодальный субвулканический (дайковый) магматизм (305–285 млн. лет) предшествовал более мощным рифтогенным процессам, начавшимся в поздней перми (≈250 млн. лет назад) и с перерывами продолжавшимся до конца кайнозоя.

В последние годы [2, 11] основное внимание исследователей было приковано к мезокайнозойскому этапу развития рассматриваемого региона, тогда как наиболее ранние рифтовые структуры, заложившиеся в конце перми, а также позднепалеозойский дайковый магматизм, фиксирующий самую раннюю стадию растяжения земной коры региона и знаменующий переход от постколлизионного плутонического к внутриплитному рифтогенному, преимущественно вулканогенному магматизму, изучены явно недостаточно. Нами получены новые геологические, геохимические и отчасти геохронологические данные по дайковым поясам центральной части Западного Забайкалья (карбон-пермь), Тамирской (поздняя пермь) и Мало-Хамардабанской (поздняя юра-ранний мел) вулканотектоническим структурам, которые позволяют проследить эволюцию бимодального магматизма Западного Забайкалья в позднем палеозое и мезозое.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Скопления даек в центральной части Западного Забайкалья (рис. 1) известны давно, однако лишь работами последних лет [10] было установлено, что многочисленные дайки группируются в протяженные рои северо-восточного простирания, в целом согласного с простиранием мезозойских рифтогенных впадин. На основании изучения ряда опорных разрезов в бассейнах рек Тугнуй и Уда выявлено два района скопления даек – Жиримский и Удинский, соответственно, в совокупности образующих единый дайковый пояс, протяженностью около 200 км при ширине 12–15 км. Внутреннее строение пояса на разных участках однотипно: это скопления субпараллельных, субверти-



Рис. 1. Схема распространения позднепалеозойских и мезозойских магматических ассоциаций в Западном Забайкалье.

1 – позднеюрско-раннемеловые вулканиты [11], 2 – пермские вулканиты, 3 – пермь-триасовые щелочные гранитоиды [4], 4 – позднепалеозойский бимодальный дайковый пояс, 5 – контуры полихронной РZ₃–КZ рифтовой зоны, 6 – контуры позднепалеозойского Ангаро-Витимского гранитоидного батолита, 7 – государственная граница России; МХД – Мало-Хамардабанская и TC- Тамирская вулкано-тектонические структуры.

кальных даек северо-восточного простирания (60-70°) мощностью от 1-2 до 20 м. Наблюдаемая протяженность отдельных даек - от первых сотен метров, до первых километров. В пределах пояса дайки обычно занимают 10-20% от общего объёма пород, однако на некоторых участках их количество возрастает до 80-85%. Контакты даек с вмещающими породами резкие, в крупных дайках, в том числе и на контакте между различными дайками, наблюдаются зоны закалки. По составу дайки отвечают трахибазальтам, трахитам, трахидацитам и трахириолитам, степень кристалличности и структурные особенности которых варьируют в широких пределах. Наряду с простыми дайками встречаются комбинированные трахибазальт-трахитовые дайки, а также мафические включения в простых трахитовых и трахириолитовых дайках.

Тамирская вулкано-тектоническая структура (Тамирская ВТС) является одной из наиболее крупных позднепалеозойских структур Селенгино-

пироких предеторого объединяются в тамирскую свиту. Вместе с тем, в стратотипе тамирской свиты (по р. Тамир) пролукты базальтового магматизма присутствуют

тем, в стратотипе тамирской свиты (по р. Тамир) продукты базальтового магматизма присутствуют только в виде субвулканических интрузий основного состава, тогда как собственно базальтовые лавы появляются лишь в верхней части разреза, что послужило основанием для выделения их в самостоятельную чернояровскую свиту, надстраивающую

Витимского вулкано-плутонического пояса. Она

расположена на территории Западного Забайкалья

и Северной Монголии. Изученный район находит-

ся в междуречье Хилок-Чикой, в пределах запад-

ми [5], формирование ВТС началось в среднем-

позднем карбоне или ранней перми с площад-

ных излияний базальтов, выделяемых в качестве

унгуркуйской свиты. В поздней перми базальто-

вый вулканизм сменился собственно бимодаль-

ным трахибазальт-трахириолитовым, продукты ко-

Согласно данным И.В. Гордиенко с соавтора-

ной части Малханского хребта (рис. 1).

ЛИТОСФЕРА № 3 2010



Рис. 2. Классификационные диаграммы (Na₂O + K₂O)–SiO₂ [9] и K₂O–SiO₂ [14] для магматических пород позднепалеозойского дайкового пояса (305–285 млн. лет), Тамирской (≈250 млн. лет) и Мало-Хамардабанской (160–145 млн. лет) вулкано-тектонических структур.

1–3 – позднепалеозойский дайковый пояс (сплошной контур): 1 – трахидолериты и трахибазальты, 2 – трахиты и кварцевые трахиты, 3 – трахириодациты и трахириолиты; 4–7 – Тамирская вулканотектоническая структура (пунктирный контур): 4 – риолитовые лавы и туфы, 5 – базальты чернояровской свиты, 6 – базальты унгуркуйской свиты, 7 – субвулканические интрузии основного и кислого состава; 8–12 – Мало-Хамардабанская вулканотектоническая структура (серое поле): 8 – трахибазальты, 9 – гибридные трахиандезиты, 10 – трахиты, 11 – сиенит-порфиры, 12 – кислые дайки.

разрез тамирской. Соотношения унгуркуйской и чернояровской свит не ясны, однако геохимические различия слагающих их трахибазальтов (см. ниже) подтверждают справедливость их разделения.

Мало-Хамардабанская вулкано-тектоническая структура (МХД ВТС) располагается на левобережье среднего течения р. Джида (рис. 1) и приурочена к южным и юго-восточным склонам хр. Малый Хамар-Дабан. Рассматриваемая структура сложена разнообразными вулканическими, субвулканическими и осадочными породами, среди которых первые абсолютно преобладают. Эффузивы представлены трахибазальтами, в подчиненном количестве присутствуют трахиты. Вулканогенная толща делится на две свиты: худогинскую, залегающую в основании разреза и сложенную переслаивающимися трахитами и трахибазальтами (примерно в равных соотношениях) с редкими прослоями терригенных пород, и более позднюю - ичетуйскую, которая почти целиком состоит из трахибазальтов. Породы среднего (трахиандезитового) состава имеют резко подчиненное значение и, по-видимому, гибридный характер. Трахибазальты ичетуйской свиты занимают почти всю площадь Мало-Хамардабанской ВТС, тогда как трахитами сложено крупное поле в ее северо-восточной части. Субвулканическая фация представлена силлами, штоками и дайками долеритов, сиенит-порфиров, микросиенитов, микрогранитов и пантеллеритов, среди которых резко доминируют сиенит-порфиры, занимающие площадь в десятки квадратных километров. Формирование ВТС, согласно данным [1] продолжалось со 160 до 135 млн. лет.

Рассматриваемые ассоциации, независимо от возраста и геологического строения, обладают ярко выраженной бимодальностью состава и повышенной калиевой щелочностью слагающих их пород (рис. 2). При этом в МХД структуре и дайковой ассоциации бимодальность осложняется подразделением салической части породного спектра на трахит-сиенит-порфировую и трахидациттрахириолитовую составляющие, а также наличием гибридных трахиандезитов [3], занимающих промежуточное положение между базитовой и трахитовой составляющими. В составе дайкового пояса соотношение салических (трахиты, трахириолиты) и мафических (трахибазальты, трахидолериты) разностей примерно 3 : 2. В Мало-Хамардабанской ВТС, напротив – доминируют трахибазальты, тогда как средние по кремнекислотности разности, главным образом трахиты и их субвулканические аналоги (сиенит-порфиры) имеют относительно подчиненное значение, а более кислые разности встречаются лишь в виде даек; в составе Тамирской ВТС породы кислого и основного состава развиты примерно одинаково, но практически отсутствуют трахиты. Согласно имеющимся геологическим данным, развитие Тамирской и Мало-Хамардабанской ассоциаций имело антидромную направленность, тогда как в составе дайкового пояса встречаются, как отмечалось, комбинированные дайки и мафические включения в салических дайках, свидетель-



Рис. 3. Соотношение магнезиальности (Mg #), некоторых петрогенных оксидов и редких элементов с кремнеземом. Условные обозначения см. рис. 2.

ствующие об одновременном внедрении основных и кислых магм.

ГЕОХИМИЯ

Состав однотипных пород разновозрастных бимодальных ассоциаций достаточно близок. Тем не менее, выявляется определенный тренд эволюции состава однотипных пород во времени, что наиболее характерно для базитовой и трахириолитовой составляющих. От наиболее ранних образований дайкового пояса к поздним в базальтах (долеритах) увеличивается содержание SiO₂, фосфора, отчасти титана и циркония, уменьшается магнезиальность пород (рис. 3). В результате – основные породы МХД структуры и большая часть тамирских ба-

81

ЛИТОСФЕРА № 3 2010



Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов, нормированых по хондриту [16] в основных типах пород дайкового пояса, Тамирской и Мало-Хамардабанской вулканотектонических структур.

зальтов на классификационной диаграмме (рис. 2) занимают поле трахиандезибазальтов. В кислой части породного спектра отмечается существенное увеличение магнезиальности тамирских трахириолитов, по сравнению с близкими по кремнекислотности породами дайковой ассоциации, при этом уменьшается содержание Zr и Nb. Трахиты дайковой серии и МХД структуры не обнаруживают существенных различий.

Спектры распределения РЗЭ в однотипных породах разновозрастных ассоциаций в целом сходны (рис. 4). Следует отметить меньшее содержание LREE в трахибазальтах чернояровской свиты, по сравнению с унгуркуйской (Тамирская ВТС), а также сходство редкоземельного спектра в трахитах и субвулканических сиенит-порфирах МХД ВТС. Вместе с тем выявляется определенная эволюционная направленность, выражающаяся в увеличении во времени дифференцированности редкоземельного спектра: отношение (La/Yb)n увеличивается от 14.4 в дайках трахибазальтов и трахидолеритов (305-285 млн. лет) до 17.3 в трахибазальтах унгуркуйской свиты (Тамирская BTC, ≈250 млн. лет) и 39 в трахиандезибазальтах МХД ВТС (160-145 млн. лет). В этом же ряду увеличивается отрицательная Eu аномалия ((Eu/Eu*)n = -0.95, -0.88, -0.75, соответственно). Из этой последовательности "выпадают" чернояровские трахибазальты и комагматичные им субвулканические интрузии, отличающиеся меньшей величиной рассматриваемых параметров: (La/Yb)n = 8.9 и 9.8, $(Eu/Eu^*)n = 0.93$ и 0.86, соответственно. Трахиты (дайковая ассоциация и МХД ВТС) "наследуют" геохимические особенности базальтоидов. Величина (La/Yb)n отношения возрастает от 19.5 в дайках, до 39.9 в трахитах и 35.4 - в сиенит-порфирах МХД структуры, однако поведение Еи противоположно базальтам. Для даек характерна отрицательная Еи аномалия ((Eu/Eu*)n = -0.76), в трахитах МХД она чуть меньше (-0.84) а в сиенит-порфирах сменяется на положительную (1.2), что вероятно связано с наличием сверхкотектического ("кумулусного") калиевого полевого шпата, образующего крупные фенокристаллы.

Дайки трахириодацитов и трахириолитов весьма схожи с кислыми вулканитами Тамирской структуры (рис. 4). Для них характерны пониженная величина (La/Yb)n отношения (11.3 и 8.2, соответственно), глубокая Еи аномалия (0.29 и 0.41). Дайка пантеллеритов МХД отличается резкой обогащенностью LREE ((La/Yb)n = 29.2), при близкой величине европиевой аномалии (0.33).

Нормированные по OIB мультиэлементные спектры базальтоидов (рис. 5а) сходны по конфигу-

рации и различаются лишь по абсолютным концентрациям некоторых элементов. Для всех рассматриваемых образований характерны резкий Nb минимум, положительная Рb аномалия, обогащенность Cs, Ва в меньшей мере Sr, дефицит HFSE по сравнению с OIB. Кроме того, следует отметить наиболее высокие концентрации всех некогерентных элементов в трахиандезибазальтах МХД, по сравнению с более древними базальтоидами. Трахиты (рис. 5б) отличаются более высоким содержанием LILE и LREE, меньшей величиной Nb аномалии, но при этом небольшая положительная аномалия Sr (за исключением базальтов МХД) сменяется его дефицитом (кроме гибридных трахиандезитов МХД) и особенно заметным дефицитом титана. В кислых разностях эта тенденция усиливается еще больше (рис. 5в).

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ И ИСТОЧНИКИ МАГМ

Представленные выше данные показывают, что имеет место явная геохимическая и, по-видимому, генетическая взаимосвязь базальтоидов, трахитов и трахироиолитов рассматриваемых бимодальных ассоциаций. При этом салические разности могут быть как производными тех же самых мантийных источников (трахиты), так и продуктами дифференциации трахибазальтовых магм. Последние, по уровню концентраций некогерентных элементов, близки к внутриплитным базальтам OIB типа, отличаясь от них резким Nb минимумом и обогащенностью Рb, что вероятно отражает существенный вклад корового компонента. Это предположение подтверждается изотопными данными (рис. 6). Базальты и трахиты дайкового пояса характеризуются близкими отрицательными значениями є_{Nd} и высоким є_{Sr}, располагаясь в поле изотопных составов континентальной коры. Изотопный состав трахибазальта унгуркуйской свиты Тамирской ВТС соответствует позднепермским базальтам Северной Монголии [13]. Для базальтоидов МХД ВТС значения $\epsilon_{\rm Nd}$ варьирует от –2 до +2 и ε_{Sr} – от 8 до 16 (I_{Sr} = 0.7047–0.7054) [1]. Отрицательные значения є_{Nd} могут объясняться смешением мантийных и коровых магм в разных пропорциях, либо контаминацией мантийных магм материалом континентальной коры, и/или – образованием базитовых магм за счет плавления верхней (литосферной) мантии, модифицированной (метасоматизированной) субдуцированным веществом [20]. Для контаминированных базальтов характерны повышенные содержания кремнезема, высокие значения первичных отношений Sr (>0.707) при их широких вариациях в мафических породах, отражающих смешение двух и более компонентов с различными значениями I_{Sr} [6]. На примере пород дайкового пояса и МХД ВТС, наиболее детально изученных изотопно-геохимически, видно, что увеличение со-

ЛИТОСФЕРА № 3 2010



Рис. 5. Диаграммы средних составов основных типов пород дайкового пояса, Тамирской и Мало-Хамардабанской вулкано-тектонических структур. Трахибазальты (а): 1 – трахидолериты и трахибазальты дайкового пояса, 2 – базальты унгуркуйской и 3 – чернояровской свит, 4 – субвулканические интрузии основного состава Тамирской ВТС, 5 – трахиандезибазальты МХД. Трахиты (б): 1 – трахиты и кварцевые трахиты дайкового пояса, 2 – гибридные трахиандезиты, 3 – трахиты, 4 – сиенит-порфиры Мало-Хамардабанской ВТС. Трахириолиты (в): 1 – трахириодациты и трахириолиты дайкового пояса, 2 – риолитовые лавы и туфы Тамирской ВТС, 3 – дайка пантеллеритов Мало-Хамардабанской ВТС. Нормировано по OIB [16].



Рис. 6. Изотопная характеристика $\varepsilon_{Nd} - \varepsilon_{Sr}$ (а) и диаграмма (${}^{87}Sr/{}^{86}Sr)_0$ -SiO₂ (б) пород бимодальных ассоциаций.

ДП – позднепалеозойский (305–285 млн. лет) дайковый пояс; P_2 – позднепермские (≈250 млн. лет) базальтоиды Северной Монголии [13]; ТС – Тамирская ВТС (≈250 млн. лет); МХД – позднемезозойские базальтоиды Юго-Западного Забайкалья, в том числе Мало-Хамардабанской структуры (частично использованы данные [1]); КК – рифейско-каледонская кора Западного Забайкалья [7, 12]. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

держания SiO₂ и соответствующее снижение MgO (не показано), при переходе от базальтов к средним разностям, не сопровождается изменением величины $I_{Sr} \approx 0.706$ и 0.705, соответственно (рис. 6б), что свидетельствует о ведущей роли процессов фракционирования базитовых магм. Среди кислых членов рассматриваемой ассоциации отчетливо выделяются разности с низким (базальтовым) первичным отношением изотов Sr (дифференциаты) и породы с повышенным, иногда с аномально высоким I_{Sr} , что может указывать на их коровое происхождение.

Таким образом, в базальтах не обнаружено изотопных свидетельств существенной контаминации материалом континентальной коры. Вместе с тем, среди базитовых даек рассматриваемого пояса и в целом, среди позднепалеозойских мафических серий Западного Забайкалья не зафиксированы и породы с типичными геохимическими метками мантии OIB-типа. В свете изложенных данных отрицательные Nb (Ta) и положительные Pb аномалии на мультиэлементных графиках скорее всего отражают геохимические особенности мантийного источника (метасоматизированная мантия) либо условия его плавления. Очевидно, что полностью исключить вклад коровой контаминации нельзя, особенно учитывая тот факт, что рассматриваемый PZ₃-MZ₁ бимодальный магматизм развивался на континентальной коре, верхние 10–15 км которой были сложены почти исключительно гранитами [8]. Однако, судя по изотопным данным, влияние этого фактора не было определяющим.

Геохимическая специфика мантийного источника, продуцировавшего деплетированные Nb (Ta) базальты, может быть связана с контаминацией коровым материалом самой литосферной мантии до ее плавления в позднем палеозое. О контаминации мантийного источника веществом более древней сиалической коры (за счет субдукции) свидетельствуют отрицательные значения є_{Nd}, модельные Nd возраста (Т_{DM} – 900–1400 млн. лет) и геохимические характеристики базитов - деплетированность HFSE и обогащенность LILE, что считается типоморфным признаком магм надсубдукционного происхождения. Кроме того, это может быть результатом плавления мантии, метасоматизированной флюидами и/или расплавами, выделявшимися из субдуцированной коры на предшествующем этапе развития региона. Дополнительным аргументом в пользу этого предположения является повышенное содержание калия в базальтовых магмах, обусловленное плавлением флогопитсодержащего мантийного протолита. Доказательством присутствия флогопита в мантийном источнике является положительная корреляция отношения La/K-La в породах (рис. 7а), особенно четко проявленная в трахидолеритовых дайках. Плавление флогопита, главного концентратора калия в мантии, приводит к заметному уменьшению величины La/K в базальтовом расплаве, при одновременном снижении концентрации La, тогда как увеличение степени плавления безфлогопитовой мантии сопровождается только уменьшением La, при постоянной величине La/К [17].

Высокое отношение La/Yb в мафических членах бимодальных ассоциаций – от 8–25 в трахидолеритовых дайках до 32–54 в трахибазальтах Мало-Хамардабанской структуры, предполагает выплавление базитовой магмы из гранатсодержащего мантийного протолита. Отношение Tb/Yb наиболее чувствительно к присутствию граната в источнике, в то же время, величина этого отношения не сильно изменяется при фракционировании магм [15, 18]. На диаграмме Tb/Yb–La/Yb составы трахидолеритов дайкового пояса ложатся в область плавления гранатсодержащей (≈2% граната в рестите) фертильной лерцолитовой мантии. Для трахибазальтов Мало-Хамардабанской структуры, исходя из этих соотношений, можно предположить более высокое содержание граната в мантийном рестите – порядка 4%, тогда как трахибазальты Тамирской структуры образовались при большей степени плавления гранатовых лерцолитов (<1% граната в рестите), что согласуется с геохимическими характеристиками пород.

Согласно экспериментальным работам по плавлению флогопитсодержащих лерцолитов, фазовое равновесие флогопит-гранат-расплав существует при давлении более 25 кбар и температуре более 1000°С [17]. Поле устойчивости рутила, присутствие которого в рестите ("обводненные" условия) приводит к обеднению расплавов Nb и Ta, распространяется на давления свыше 25 кбар и температуру более 1000°С [19]. Из этого следует, что источником трахибазальтовых магм могла быть метасоматизированная флогопит-гранат-рутилсодержащая литосферная мантия на глубинах не менее 80 км.

Сходство изотопного состава и унаследованность геохимических характеристик салических членов рассматриваемых бимодальных ассоциаций приводят к выводу о том, что трахитовые и трахириолитовые расплавы являлись продуктами глубинной дифференциации мантийных трахибазальтовых магм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше данные позволяют сформулировать следующие основные выводы. Источники магм разновозрастных бимодальных ассоциаций имели несколько различный, но в целом близкий состав, существенно отличающийся от типичных мантийных источников внутриплитных базальтов. Это отличие, скорее всего, связано с процессами мантийного метасоматоза, протекавшими на предшествующем (субдукционном) этапе развития рассматриваемого региона. Определенный вклад в формирование изотопногеохимического облика рассматриваемых образований, прежде всего, трахибазальтов, внесла коровая контаминация, однако оценить количественно этот вклад пока не представляется возможным. В целом, изменение макрокомпонентного состава пород во времени проявляется лишь в базальтах, что, возможно, связано с их более примитивным характером, по сравнению с кислыми членами бимодальных ассоциаций. Во времени в них несколько возрастает общая щелочность, содержание РЗЭ и степень дифференцированности РЗЭ спектра, возрастает величина отрицательной Еи аномалии. Все это, с одной стороны, отражает более дифференцированный характер наиболее поздних образований, а с другой - может свидетельствовать о последовательном "заглублении" области магмогенерации или/и об уменьшение степени парциального плавления.

ЛИТОСФЕРА № 3 2010



на диаграммах La/K–La (а) и Tb/Yb–La/Yb (б). а – векторы изменения составов расплавов в зависимости от степени плавления и дифференциации по [17]; б – изолинии содержания граната в фертильной лерцолитовой мантии по [15]. Условные обозначения см. рис. 2.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-Сибирь (08–05–98017), РФФИ-МНТИ (06–05–72007), интеграционных проектов СО РАН № 6.5 и 37.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Иванов В.Г. и др. Позднемезозойский магматизм Джидинского сектора Западно-Забайкальской рифтовой области: этапы формирования, ассоциации, источники // Петрология. 2002. Т. 10, № 5. С. 510–531.
- Воронцов А.А., Ярмолюк В.В., Лыхин Д.А. и др. Источники магматизма и геодинамика формирования раннемезозойской Северо-Монгольской–Западно-Забайкальской рифтовой зоны // Петрология. 2007. Т. 15, № 1. С. 37–60.
- Врублевская Т.Т., Цыренов А.А., Цыганков А.А. Роль процессов гибридизации при формировании Мало-Хамардабанской вулканно-тектонической структу-

ры (Западное Забайкалье) // Вулканизм и геодинамика: мат-лы **IV Всерос. симпоз. по вулканологии и па**леовулканологии. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 305–307.

- Занвилевич А.Н., Литвиновский Б.А., Андреев Г.В. Монголо-Забайкальская щелочно-гранитоидная провинция. М.: Наука, 1985. 232 с.
- 5. Гордиенко И.В., Баянов В.Д., Жамойцына Л.Г. и др. Бимодальные вулканоплутонические ассоциации позднего палеозоя Забайкалья и геодинамические условия их формирования // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 2. С. 190–203.
- 6. *Грачев А.Ф.* Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканитов и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 618–654.
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П. и др. Источники фанерозойских гранитоидов Центральной Азии: Sm-Nd изотопные данные // Геохимия. 1996. № 8. С. 699–712.
- Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Алакшин А.М. и др. Ангаро-Витимский батолит – крупнейший гранитоидный плутон. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1993. 141 с.
- 9. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
- Шадаев М.Г., Хубанов В.Б., Посохов В.Ф. Новые данные о Rb-Sr возрасте дайковых поясов в Западном Забайкалье // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 7. С. 723–730.
- Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. Источники внутриплитного магматизма Западного Забайкалья в позднем мезозое–кайнозое (на основе геохимических и изотопно-геохимических данных) // Петрология. 1998. Т. 6, № 2. С. 115–138.
- 12. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др. Nd-

изотопная систематика коровых магматических протолитов Западного Забайкалья и проблема рифейского корообразования в Центральной Азии // Геотектоника. 1999. № 4. С. 3–20.

- 13. Ярмолюк В.В., Самойлов В.С., Иванов В.Г. и др. Состав и источники базальтов позднепалеозойской рифтовой системы Центральной Азии (на основе геохимических и изотопных данных) // Геохимия. 1999. № 10. С. 1027–1042.
- Le Maitre R.W. A Classification of igneous rocks and Glossary of terms. Blackwell Scientific Publ. Oxford, 1989. 193 p.
- MacDonald R., Rogers N.W., Fitton J.G. et al. Plumelithosphere interactions in the generation of the basalts of the Kenya rift, East Africa // J. Petrol. 2001. V. 42, № 5. P. 877–900.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the oceanic basins. Geol. Soc. Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345.
- 17. Vigouroux N., Wallace P.J., Kent A.J.R. Volatiles in high-K magmas from the Westrn Trans-Mexican volcanic belts: Evidence for fluid fluxing and extreme enrichment of mantle wedge by subduction processes // J. Petrol. 2008. V. 19, № 9. P. 1589–1618.
- Wang K., Plank T., Walker J.D. et al. A mantle melting profile across the Basing and Range, SW USA // J. Geophys. Res., 2002. V. 107, № B1. 10.1029/2001JB000209.
- Xiong X.I., Adam J., Green T.H. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis // Chem. Geol. 2005. V. 218. P. 339–359.
- Zhang L.C., Zhou X.H., Ying J.F. et al. Geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xinggan Range, NE China: Implication for their origin and mantle source characteristics // Chem. Geol. 2008. V. 256. P. 12–23.

Рецензент Г.Б. Ферштатер

Bimodal volcanogenic and subvolcanic associations of West Transbaikalia (Pz₃-Mz): Magma sources, evolution, geodynamics

A. A. Tsygankov, V. B. Khubanov, A. V. Filimonov

Geological Institute, Siberian Branch of RAS

The results of comparative petrological and geochemical studies of West Transbaikalian three bimodal various age associations: (1) dike belt (305–285 Ma), (2) Tamir (~250 Ma) and (3) Maly-Khamar-Daban (160–145 Ma) are presented. This volcano-tectonic structures are composed by trachybasalts, trachytes and trachyrhyolites (effusive and subvolcanic facies) in various proportions. Based on the isotope-geochemical data, it was concluded that magma sources of various age bimodal associations had somewhat different, but generally similar composition sources that significantly differed from typical mantle of intraplate basalts. It is suggested that the difference associated with processes of mantle metasomatism occurred in the previous (subduction) stage of the studied region development. It was found that the change in rock compositions in time is observed only in basalts: total alkalinity, REE contents, extent of REE spectrum differentiation and value of Eu negative anomaly increase. It testifies to more differentiated character of the latest formations. However, at the same time it can reflect progressive "depth growth" of magma generation area or/and decrease in extent of partial melting.

Key words: trachybasalt-trachyte-trachyrhyolite bimodal association, dike belt, volcano-tectonic structures, West Transbaikalia, intraplate magmatism, magma sources, evolution.