

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

А.А. Цыганков, В.Б. Хубанов, А.В. Филимонов

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: tsygan@gin.bsnet.ru

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 центральной части гранитоидного ареала. Бимодальный субвулканический (дайковый) магматизм (305-285 млн. лет) предшествовал более мощным рифтогенным процессам, начавшимся в поздней перми (\approx 250 млн. лет) и с перерывами продолжавшимся до конца кайнозоя.

В последние годы [Ярмолюк и др., 1998; Воронцов и др., 2007] основное внимание исследователей было приковано к мезо-кайнозойскому 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 постколлизийного плутонического к 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.

Скопления даек в центральной части Западного Забайкалья (Селенга – Удинское междуречье) известны давно, однако лишь работами последних лет [Шадаев и др., 2005] было установлено, что многочисленные дайки группируются в протяжённые пояса северо-восточного простирания, в целом согласные 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 образующие единый дайковый пояс, протяженностью около 200 км при ширине 12 – 15 км. Внутреннее строение пояса на разных участках однотипно: это скопления субпараллельных, субвертикальных даек северо-восточного простирания ($60^\circ - 70^\circ$) мощностью от 1 – 2 до 20 м. Наблюдаемая протяжённость 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 вулканотектоническая структура является одной из наиболее крупных позднепалеозойских структур Селенгино-Витимского вулканоплутонического пояса. Она расположена на территории Западного Забайкалья и Северной Монголии. Изученный район находится в междуречье Хилок – Чикой, в пределах западной части Малханского хребта.

Согласно данным И.В.Гордиенко с соавторами [Гордиенко и др., 1998] формирование ВТС началось в среднем-позднем карбоне или ранней перми с площадных излияний базальтов, выделяемых в качестве унгуркуйской свиты. В поздней перми базальтовый вулканизм сменился собственно бимодальным трахибазальт-трахириолитовым, продукты которого объединяются в тамирскую свиту. Вместе с тем, чередование основных и кислых лав и вулканокластитов характерно не для всех разрезов тамирской свиты. В её стратотипе (по р.Тамир) продукты базальтового магматизма присутствуют только в виде субвулканических интрузий небольшой мощности (десятки метров), тогда как собственно базальтовые лавы

появляются лишь в верхней части разреза, фиксируя переход от тамирской к черноморской свите.

Мало-Хамардабанская вулканотектоническая структура располагается в левобережье среднего течения р.Джида (приток р.Селенги) 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 подчинённом 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 подчинённое значение и, по-видимому, гибридный характер. Трахибазальты ичетуйской свиты занимают почти всю площадь Мало-Хамардабанской ВТС, тогда как трахитами сложено крупное поле в её северо-восточной части. Формирование ВТС, согласно данным [Воронцов и др., 2002] продолжалось со 160 до 135 млн. лет.

Рассматриваемые ассоциации, независимо от возраста и геологического строения, обладают ярко выраженной бимодальностью состава и повышенной щелочностью слагающих их пород. Среди даек и в составе Мало-Хамардабанской ВТС доминируют трахибазальты, тогда как кислые разности имеют относительно подчинённое значение; в составе Тамирской ВТС кислые и основные разности 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, свидетельствующие об одновременном внедрении основных и кислых магм.

Базальтоиды всех трёх бимодальных ассоциаций обладают внутриплитной геохимической спецификой, отличаясь от типоморфных внутриплитных базальтов резким Nb минимумом и Pb максимумом. Трахиты «наследуют» геохимические особенности базальтов, что, скорее всего, связано с их происхождением из тех же мантийных источников, что и базальты, но при меньшей степени парциального плавления, либо, они являются дифференциатами трахибазальтов. Изотопный состав рассматриваемых образований характеризуется отрицательными значениями ϵNd (от 0 до -4) и повышенной величиной I_{Sr} (>0.705), причем не только в кислых разностях (трахиты, трахириолиты), но и в трахибазальтах. Такие геохимические особенности внутриконтинентальных базальтов объясняются контаминацией астеносферных магм материалом континентальной коры [Грачев, 2003], и/или - образованием базитовых магм за счет плавления верхней (литосферной) мантии, модифицированной (метасоматизированной) субдуцированным веществом [Zhang et al., 2008].

Для контаминированных базальтов характерны повышенные содержания кремнезема, высокие значения первичных отношений Sr (>0.707) при их широких вариациях в мафических породах, отражающие смешение двух и более компонентов с различными значениями I_{Sr} . На примере пород дайкового пояса, наиболее детально изученных изотопно-геохимически, видно, что увеличение содержания SiO_2 и соответствующее снижение MgO , при переходе от базальтов к средним разностям, не сопровождается изменением величины I_{Sr} (≈ 0.706), что свидетельствует о ведущей роли процессов фракционирования базитовых магм. Среди кислых членов рассматриваемой ассоциации отчетливо выделяются разности с низким (базальтовым) первичным отношением изотопов 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 километров которой были сложены почти исключительно гранитами [Литвиновский и др., 1992]. Однако, судя по изотопным данным, влияние этого фактора не было, по-видимому, 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 ϵNd , модельные Nd возраста ($T_{DM} - 930-1170$ Ma) 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 содержания калия в базальтовых магмах, обусловленное плавлением флогопитсодержащего мантийного протолита. Доказательством присутствия флогопита в мантийном источнике является положительная корреляция отношения La/K - La в породах, 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/K [Vigouroux et al., 2008].

Высокое отношение (La/Yb_n) 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 [Macdonald et al., 2001; Wang et al., 2002]. На диаграмме Tb/Yb - La/Yb составы трахидолеритов дайкового пояса ложатся в область плавления гранатсодержащей ($\approx 2\%$ 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 ($< 1\%$ Grt 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° C [Vigouroux et al., 2008]. 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° C [Xiong et al., 2005]. Принимая во внимание геохимические особенности рассматриваемых базитов, вероятным источником магм из которых они кристаллизовались, могла быть метасоматизированная флогопит-гранат-рутилсодержащая литосферная мантия на глубинах не менее 80 км.

Сходство изотопного состава и унаследованность геохимических характеристик силикатных членов рассматриваемых бимодальных ассоциаций, а также относительно небольшой объем кислых разностей, по сравнению с трахибазальтами, вероятно, за исключением Тамирской структуры, приводит к выводу о том, что трахитовые и трахириолитовые расплавы, являлись продуктом глубинной дифференциации мантийных трахибазальтовых магм.

Приведенные выше данные позволяют сформулировать следующие основные выводы. Источники магм разновозрастных бимодальных ассоциаций имели несколько различающийся, 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 изотопно-геохимического 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 щёлочность, содержание REE и степень дифференцированности REE спектра, возрастает величина отрицательной Eu аномалии. Всё это, с одной стороны - отражает более дифференцированный характер наиболее поздних образований, а с другой - может свидетельствовать о генерации магм из различных (разноглубинных) мантийных источников, либо об изменении условий магмогенерации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-Сибирь (08-05-98017), РФФИ-МНТИ (06-05-72007), интеграционного проекта СО РАН № 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.

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.

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.

Литвиновский Б.А., Занвилевич А.Н., Алакшин А.М. и др. Ангаро-Витимский батолит – крупнейший гранитоидный плутон. Новосибирск: Изд. ОИГГМ СО РАН, 1992. 141с.

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.

Macdonald R., Rogers N.W., Fitton J.G. et al. Plume-lithosphere interactions in the generation of the basalts of the Kenya rift, East Africa // *J. Petrology*, 2001. V. 42. № 5. P. 877-900.

Vigouroux N., Wallace P.J., Kent A.J.R. Volatiles in high-K magmas from the Western Trans-Mexican volcanic belts: Evidence for fluid fluxing and extreme enrichment of mantle wedge by subduction processes // *Journal of Petrology*, 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 // *Chemical Geology*, 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 // *Chemical Geology*, 2008. V. 256. P. 12-23.