

МАГМАТИЗМ ЗОН СКОЛЬЖЕНИЯ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.И. Ханчук¹, Ю.А. Мартынов¹, А.Б. Перепелов², Н.Н. Крук³

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: director@fegi.ru

²Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, e-mail: region@igc.irk.ru

³Институт геологии и минералогии, г. Новосибирск, e-mail: Kruk@sbras.nsc.ru

Магматизм, связанный с режимом скольжения литосферных плит, как показывают результаты наших исследований, широко распространен не только в настоящее время, но и в геологическом прошлом, причем его геохимические характеристики являются индивидуальными, а не переходными (трансформными). Выделяются два типа подобного геодинамического режима – *окраинноконтинентальный и внутриконтинентальный*. В данном сообщении основное внимание будет уделено границам скольжения *континентальных и океанических плит*, широко распространенных на различных временных этапах формирования СЗ Пацифики.

Современными, достаточно хорошо изученными примерами магматизма подобной геодинамической обстановки являются западная часть Северной Америки и Новая Зеландия. На западе США последовательность формирования вулканических комплексов (риолиты - бимодальные серии – высокоглиноземистые базальты) объясняется внедрением и разрастанием астеносферных диапиров после прекращения субдукции. Исследования, выполненные в последнее десятилетие, в том числе и наши наработки, позволили идентифицировать подобные магматические комплексы в пределах восточной окраины Евразии, реконструировать механизмы их формирования на основании новых геологических и изотопно-геохимических данных, ретроспективно выделить плутонические ассоциации и временные интервалы существования границ скольжения – начало позднего мела, палеоцен-ранний миоцен и плиоцен-квартер. После субдукции зоны спрединга, структурные элементы переходной зоны (аккреционные призмы, островные дуги и турбидитовые бассейны) в результате синдвиговых деформаций и трансляций были прижаты к окраине континента с образованием за их счет новой континентальной литосферы. Становление литосферы сопровождалось внедрением гранитоидов ильменитовой серии. На более древней континентальной литосфере в синдвиговых структурах растяжения накапливались вулканогенно-осадочные комплексы. Эти структуры ориентированы косо или поперек палеограницам континент-океан и распространены на большой площади.

Одним из важнейших индикаторов геодинамического режима скольжения континентальных и океанических плит является магматизм. Смена геодинамических обстановок всегда сопровождается резким изменением характера магматической активности, сменой источников мантийных и коровых магм, путей их эволюции и условий кристаллизации. Эти процессы находят свое отражение в (1) геохимических и изотопных характеристиках пород, (2) пространственно-временных соотношениях эффузивных и интрузивных серий формирующих крупные магматические пояса, (3) соотношениях объемов пород мантийного и корового генезиса в составе магматических серий.

Исследование перечисленных выше признаков играет ключевую роль в выявлении индикаторных характеристик магматических проявлений геодинамических обстановок. Очевидно, что в рассмотрение должны вовлекаться разновозрастные эталонные объекты. Особенности вещественного и изотопного состава вулканических пород целесообразно рассматривать на примере современных геодинамических обстановок, где есть возможность независимой проверки геофизическими данными. Вопросы соотношения эффузивных и интрузивных фаций целесообразнее рассматривать на примере палеотипных структур, где для непосредственного наблюдения доступны разноточные уровни земной коры.

Особенности магматизма молодых обстановок скольжения литосферных плит на восточной окраине Евразии мы рассмотрим на примере детально изотопно-геохимически изученных палеоцен-раннемиоценовых (восточный Сихотэ-Алинь, Камчатка), олигоцен-миоценовых и плиоцен-четвертичных (Камчатка) вулканических комплексов пород.

Геологические и изотопно-геохимические признаки вулканических серий геодинамических обстановок скольжения литосферных плит до сих пор являются предметом

дискуссии. Основные расплавы, связанные с их формированием, считаются результатом декомпрессионного плавления астеносферного диапира и должны отличаться от типично субдукционных магм геохимическими характеристиками MORB и OIB источников. Такая картина действительно наблюдается в пределах активных континентальных окраин Южной и Северной Америки и Антарктиды, где в зонах разрыва субдуцирующей плиты распространены щелочные базальтоиды с геохимическими характеристиками OIB [Gorring et al., 2003; Hole et al., 1991]. Но в пределах зоны сочленения Камчатской и Алеутской островных дуг, где астеносферный диапиризм отчетливо диагностируется методами сейсмической томографии, картина менее отчетливая. Например, вулкан Ключевской, расположенный в зоне влияния потока астеносферной мантии вдоль северной границы субдуцирующей Тихоокеанской плиты [Авдейко и др., 2001; Portnyagin et al., 2005], характеризуется базальтовым вулканизмом с типично субдукционными геохимическими признаками [Kersting, Argulus, 1994]. Существенная роль надсубдукционного мантийного клина в магмогенезисе, подтверждается и особенностями изотопного состава кислорода в породообразующих минералах [Dorendorf et al., 2000].

Важным индикатором мантийного диапиризма в зонах разрыва субдуцирующей плиты являются адакиты - особый тип андезитовых лав с геохимическими признаками (высокие отношения LREE/HREE) плавления гранатсодержащего вещества (эклогита) океанической плиты в условиях высокого содержания воды и повышенных температур, связанных или с молодым возрастом субдуцирующей океанической плиты, или с потоком горячей океанической мантии в областях разрыва субдуцирующей плиты. Но этот тип пород пользуется очень небольшим распространением и часто отсутствует в областях, где другие признаки отчетливо указывают на разрыв субдукционной пластины и астеносферный диапиризм.

Такая вариабильность геохимических признаков вулканитов зон скольжения литосферных плит свидетельствует о том, что их состав, в отличие от магматитов иных геодинамических обстановок, во многом определяется особенностями геодинамики и только изучение эволюции, как в геологическом, так и геохимическом аспектах, позволяют надежно их диагностировать.

Геологическими признаками начала тектонической перестройки восточного Сихотэ-Алиня, разрушения субдукционной пластины трансформными разломами, начала формирования субдукционных «окон» (slab-window), являются резкая смена характера вулканизма с преимущественно кислого на преимущественно базальтовый и смещение в северном направлении ареалов распространения [Ханчук и др., 1997; Мартынов, 1999 а, 1999 б]. На начальных этапах в маастрихт-палеоценовое время происходили излияния сравнительно небольших по объему, преимущественно андезитовых по составу лав с геохимическими признаками типично субдукционных образований. Геохимические признаки адакитов отсутствуют - La/Yb отношения не превышают 5-10 для основных и 15 для кислых эффузивов, что противоречит существенному вовлечению в магмогенезис гранатсодержащего вещества [Мартынов и др., 2007]. Таким образом, здесь реализовывался сценарий, проявляющийся в настоящее время в пределах северной Камчатки [Portnyagin et al., 2005], когда источником первичных магм продолжал оставаться надсубдукционный мантийный клин, но в результате нарастающего растяжения мантийные расплавы получили возможность проникать в верхние горизонты земной коры, взаимодействовать с вмещающими породами, формируя гибридные андезитовые лавы.

Дальнейшая эволюция отчетливо прослеживается как в геохимических, так и изотопных характеристиках (рис 1). В интервале 60 – 38 млн. лет наблюдается нивелирование субдукционных признаков вулканических пород, возрастание степени их геохимической и изотопной деплетированности. В возрастном диапазоне 38 – 18 млн. лет эти процессы резко усилились. Наиболее информативным является резкое падение значения $\Delta 8/4Pb$, указывающее на возрастающую роль в магмогенезисе немодифицированной мантии MORB тихоокеанского типа, индикатора внедрения океанической астеносферы в субконтинентальную мантию.

В интервале 40 – 17 млн. лет наблюдается резкое возрастание степени микроэлементной и изотопной деплетированности пород. Падение $\Delta 8/4Pb$ указывает на внедрению в литосферную мантию типа индийской MORB – деплетированного астеносферного диапира с изотопными характеристиками MORB тихоокеана.

На заключительном этапе источником магматических расплавов вновь являлась субконтинентальная литосфера с изотопными признаками MORB индийского океана. Тем не менее метасоматически измененная мантия продолжала играть определенную роль в

происхождении эоцен-раннемиоценовых базальтов [Мартынов, 1999а, 1999б] и даже позднемиоцен-плиоценовых платобазальтов внутриплитного геохимического типа [Мартынов и др., 2002].

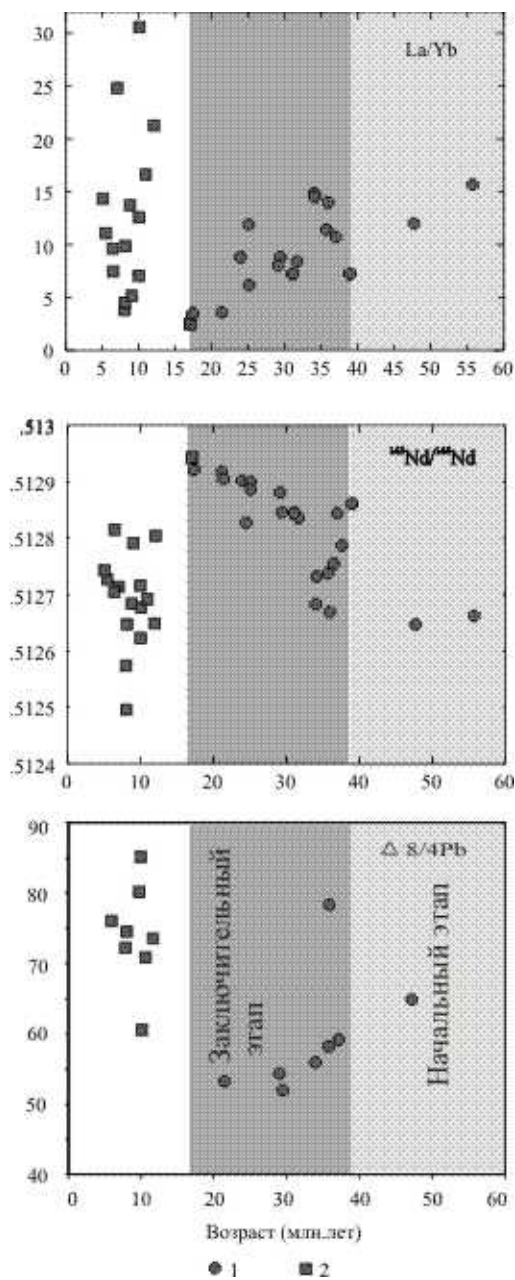


Рис. 1. Индикаторные микроэлементные и изотопные отношения в кайнозойских базальтах восточного Сихотэ-Алия. 1 – эоцен – раннемиоценовый этап; 2- позднемиоцен- плиоценовый.

В истории кайнозойского геодинамического развития Камчатского сегмента Курило-Камчатской островодужной системы для различных возрастных этапов и структурных зон могут быть реконструированы обстановки, связанные с процессами скольжения литосферных плит и с формированием субдукционных окон в погруженной океанической плите (slab-window).

В олигоцене (E_3) и раннем миоцене (N_1^1) в результате субдукции с востока океанической плиты Кула под окраинно-континентальную структуру Западной Камчатки формируется протяженный вулканический пояс Срединного хребта и Южной Камчатки с развитием умеренно- и высококалийного магматизма островодужного геохимического типа (IAB). С этого времени континентальная окраина приобретает характеристики АКО. Далее в среднем и позднем миоцене (N_1^{2-3}) после аккреции с востока к активной окраине внутриокеанических островных дуг возникает граница скольжения на фронте и в тыловой области реализуются сдвиговые процессы с проявлением нового этапа рассеянного рифтогенеза. Этот этап сопровождается в позднемиоцен-раннеплиоценовое ($N_1^3-N_2^1$) время магматизмом внутриплитного геохимического типа (WPB) с проявлением базанит-щелочно-базальтовых магм, формирование которых связывается с подъемом астеносферного вещества в условиях образования «slab-window» [Волынец и др., 1990; Перепелов и др., 2006]. В этот же период в результате коллизионных напряжений и сдвиговых процессов происходит смещение центральных сегментов континентальной окраины на запад-северо-запад с образованием

Малко-Петропавловской зоны поперечных разломных дислокаций. Вблизи границ поперечного сдвига и на фронте континентального литосферного блока Южной Камчатки в миоцене и раннем плиоцене (N_2^1) реализуются процессы палингенного магнеобразования с проявлением диорит-гранодиоритового магматизма. В этот и более поздние периоды (N_2-Q) поперечная структура продолжает оставаться магматически активной с формированием высококалийных вулканических комплексов АКО геохимического типа и эпизодическими проявлениями переходных между WPB и IAB типов магм. В миоцене и раннем плиоцене ($N_1-N_2^1$) проявлениями диорит-гранодиоритового магматизма характеризуется и континентальная окраина Западной Камчатки. Здесь на территории олигоцен-миоценового (E_3-N_1) вулканического пояса Срединного хребта гранитоидный магматизм эпизодически проявлен в зоне субмеридианального простираения и трассирует, таким образом, фронтальную зону континентального литосферного блока. Предполагается, что $N_1-N_2^1$ гранитоидный магматизм Срединного хребта также, как и для структуры Южной Камчатки, является результатом палингенного магнеобразования и связан с коллизионными и продольными сдвиговыми процессами, обусловленными скольжением литосферных плит. В Срединном хребте и Южной Камчатке в плиоцене и плейстоцене проявляются магматические ассоциации с умеренно-

калиевыми, высококалиевыми и шшонит-латитовыми сериями пород. В центральных и тыловых областях вулканического пояса Срединного хребта в этот период наблюдаются проявления не типичных для надсубдукционных обстановок щелочно-оливин-базальт-трахит-командитовой и щелочно-базальт-гавайитовой вулканических серий, породы которых имеют геохимические характеристики, переходные между IAB и WPB вещественными типами [Волынец и др., 1993; Перепелов и др., 2006]. Геодинамический режим, определяющий формирование таких переходных между IAB и WPB геохимических типов магм может рассматриваться в рамках моделей поступления астеносферного вещества в область метасоматизированной литосферной мантии в связи с образованием «slab-window» в субдуцированной океанической плите. В свою очередь «разрывы» субдуцированной океанической литосферы могут быть связаны на этом этапе с реализацией новых сдвиговых процессов, обусловивших скольжение литосферных плит и формирование условий растяжения на фронте и в тылу АКО. Одним из следствий этого процесса могло стать формирование крупной структуры растяжения на фронте АКО, а именно Центральной Камчатской депрессии. Проявление в раннем плейстоцене на западном фланге депрессии в зоне субмеридианального простиранья NEB-адакитового магматизма дают основание предполагать длительное развитие процессов скольжения литосферных плит, приводящих к нарушению сплошности субдуцируемой океанической литосферы [Перепелов и др., 2009 этот сборник]. Таким образом, процессы скольжения литосферных плит, определяющие формирование «slab-window» и возможность взаимодействия метасоматизированной надсубдукционной мантии и подлитосферного источника, могли стать причиной проявления на различных этапах кайнозойской истории Камчатки магматических комплексов внутриплитного и E-MORB геохимических типов, а также приводили к реализации процессов палингенеза и NEB-адакитового магматизма.

Процессы пространственно-временного соотношения, объемов, особенностей состава и изотопных характеристик пород эффузивной и интрузивной фаций в *палеотипных структурах* достаточно полно реконструированы для девон-раннекаменноугольной Алтайской континентальной окраины Сибирского континента.

В среднем девоне на этой территории существовала классическая» активная континентальная окраина Андского типа, формирование которой было связано с погружением океанической литосферы Обь-Зайсанского бассейна под край Сибирского континента [Ротараш и др., 1982 и др.]. Этому этапу отвечало формирование системы вулканических поясов, сложенных базальт-андезит-риолитовыми сериями нормальной и слабо повышенной (в тыловых частях) щелочности. Для известково-щелочных базальтов характерны отношения $(La/Yb)_N = 4,5 - 12,0$; $Ce/Nb = 7,3 - 9,1$; $E(Nd)_t = +3...+4$ [Тикунов, 1995; Крук и др., 2008], указывающие на генерацию первичных магм за счет вещества мантийного клина. Кислые члены серии (дациты и риолиты) относятся к породам известково-щелочного типа и характеризуются $E(Nd)_t = +1...+2$, типичным для пород нижней коры Горного Алтая [Крук и др., 2007].

На рубеже среднего и позднего девона фиксируется латеральная деформация континентальной окраины, обусловленная коллизионным вдавливанием в ее структуру Алтае-Монгольского террейна и его фрагментов [Владимиров и др., 2003]. Этот процесс сопровождался интенсивными сдвиговыми деформациями в зонах глубинных разломов и формированием метаморфических комплексов НТ\LP-типа. Одновременно в позднем живетераннем фране фиксируется резкая смена магматизма. Линейные пояса существенно дацит-риолитового вулканизма завершающего этапа АКО сменяются локальными ареалами, в которых происходит формирование преимущественно базальт-андезитовых серий, сохраняющих «надсубдукционные» геохимические характеристики. Синхронно с ними в осевой части АКО фиксируется внедрение гипабиссальных габбро-диорит-гранитных и гранит-лейкогранитных интрузий (возраст 384-380 млн. лет, U-Pb метод по циркону, [Владимиров и др., 2001] и авторские данные), основные породы которых отвечают известково-щелочному ряду и имеют «надсубдукционные» геохимические характеристики ($La/Yb = 4,5 - 5,5$; $Ce/Nb = 4,5-5,0$; $E(Nd)_t = +3...+4$), в то время как среди кислых разностей преобладают субщелочные и щелочные породы. В отличие от магматитов эффузивной фации, характеризующихся преобладанием пород основного и среднего состава, в интрузивной фации резко доминируют кислые разности.

Поздний фран и фамен на территории Алтайской континентальной окраины характеризуются полным отсутствием вулканизма и аномально широким развитием интрузивного магматизма, намного превосходящего объемы надсубдукционных магматических комплексов. В этот период на территории Горного Алтая формируются крупные гранитоидные батолиты, сложенные породами известково-щелочной и плюмазитовой петрохимических серий. Ранние фазы интрузивных серий (менее 10% от объема) представлены толеитовыми и известково-щелочными габброидами, геохимические и изотопные характеристики которых ($La/Yb = 4,5 - 7,5$; $Ce/Nb = 3,5-4,5$; $E(Nd)_t = 0 \dots +1$) свидетельствуют о формировании базитовых расплавов преимущественно за счет вещества мантийного клина с небольшой примесью обедненного в отношении $^{143}Nd/^{144}Nd$ источника, природа которого пока остается неясной. Sm-Nd изотопные характеристики гранитоидов меняются в различных сегментах АКО ($E(Nd)_t$ от -4 до +2, обнаруживая отчетливую корреляцию с породами верхней коры [Плотников и др., 2003; Крук и др., 2007], что свидетельствует о подъеме очагов магмогенерации и массовом вовлечении в процессы гранитообразования верхнекоровых субстратов.

Имеющиеся данные позволяют предположить, что магматизм границ скольжения плит был проявлен в перми-раннем триасе на Урале, в раннем мелу по южному обрамлению Сибирской платформы, в кайнозойе на памире и Гималаях и в ряде других районах мира. С таким магматизмом связано образование крупных медно-порфировых, золото-серебрянных и серебрянных месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ДВО 09-II-CO-08-002 и Президиума СО РАН, интеграционный проект № 13.

Список литературы

Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Современная тектоническая структура Курило-Камчатского региона и условия магмообразования // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский. 2001. с. 9 – 34.

Богданов Н.А., Чехович В.Д. О коллизии Западно-Камчатской и Охотоморской плит // Геотектоника, 2002. № 1. С. 72-85.

Владимиров А.Г., Козлов М.С., Шокальский С.П. и др. Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтая и Калбы (по данным U-Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика, 2001. Т. 42. № 8. С. 1157-1178.

Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н. и др. Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизионных орогенов // Геология и геофизика, 2003. Т. 44. № 12. С. 1321-1338.

Волынец О.Н., Аношин Г.Н., Пузанков Ю.М., Перепелов А.Б., Антипин В.С. Калиевые базальтоиды Западной Камчатки - проявление пород лампроитовой серии в островодужной системе // Геология и геофизика, 1987. № 11. С. 41-51.

Волынец О.Н., Успенский В.С., Аношин Г.Н. и др. Эволюция геодинамического режима магмообразования на Восточной Камчатке в позднем кайнозойе (по геохимическим данным) // Вулканология и сейсмология, 1990а. № 5. С. 14-27.

Волынец О.Н. Петрология и геохимическая типизация вулканических серий современной островодужной системы. Автореф. дис. докт. геол.-мин.наук. М.: МГУ. 1993. 67 с.

Мартьянов Ю.А. Геохимия базальтов активных континентальных окраин и зрелых островных дуг на примере северо-западной Пацифики. Владивосток: Дальнаука, 1999а. 215 с.

Мартьянов Ю.А. Высокоглиноземистый базальтовый вулканизм Восточного Сихотэ-Алиня: петрология и геодинамика // Петрология. 1999б. Т. 7, № 1. С. 58-79.

Мартьянов Ю.А., Чашин А.А., Симаненко В.П., Мартьянов А.Ю. Маастрихт-датская андезитовая серия восточного Сихотэ-Алиня – минералогия, геохимия и вопросы петрогенезиса // Петрология, 2007. Т. 15. № 3. С. 282-303.

Мартьянов Ю.А., Чашин А.А., Рассказов С.В., Саранина Е.В., Позднемиоцен-плиоценовый базальтовый вулканизм Юга Дальнего Востока России как индикатор гетерогенности литосферной мантии в зоне перехода континент-океан // Петрология. 2002. Т. 10. № 2. С. 189-209.

Крук Н.Н., Бабин Г.А., Крук Е.А. и др. Два типа континентальной коры в Центрально-Азиатском складчатом поясе (на примере западной части АССО) // Геодинамическая эволюция

литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы Всероссийского научного совещания. Иркутск: изд-во ИЗК СО РАН, 2007. Т. 1. С. 120-122.

Крук Н.Н., Бабин Г.А., Крук Е.А. и др. Петрология вулканических и плутонических пород Уймено-Лебедского ареала, Горный Алтай // Петрология, 2008. Т. 16. № 5. С. 548-568.

Перепелов А.Б., Татарников С.А., Павлова Л.А. Демонтерова Е.И. NEB-Адакитовый магматизм Центральной Камчатской Депрессии: новые минералого-геохимические данные и геодинамическая интерпретация // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский. 2009.

Перепелов А.Б., Иванов А.В. Западно-Камчатский ареал калиевого щелочного магматизма (эоцен – олигоцен) // Глава 5. Магматические пояса и зоны типовых геодинамических обстановок. Магматические образования обстановок трансформных континентальных окраин // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 369-382.

Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В., Дриль С.И. Геодинамическая позиция и геохимические типы Pg-Ng внутриплитного щелочно-базальтового магматизма Западной Камчатки // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) / Материалы Всероссийского научного совещания. Вып. 5. Т. 2. 9-14 октября 2007 г. Иркутск. С. 30-32.

Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Иванов А.В. и др. Неогеновые базаниты Западной Камчатки: минералого-геохимические особенности и геодинамическая позиция // Петрология, Т. 15. № 5. С. 524-546.

Перепелов А.Б., Пузанков М.Ю., Колосков А.В. и др. Происхождение щелочно-базальтовых магм с конвергенцией «внутриплитных» и «островодужных» геохимических признаков (вулкан Большой Паялпан, Срединный хребет Камчатки) // Вулканизм и геодинамика. Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ, 2006. Т. 3. С. 578-583.

Плотников А.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г. и др. Sm-Nd-изотопная систематика метаморфических пород западной части Алтае-Саянской складчатой области // Докл. РАН, 2003. Т. 388. № 2. С. 228-232.

Ротараш И.Л., Самыгин С.Г., Гредюшко Е.А. Девонская активная континентальная окраина на Юго-Западном Алтае // Геотектоника, 1982. № 1. С. 44-59.

Тикунов Ю.В. Геохимия девонского базальт-андезитового вулканизма западной части Горного Алтая // Геология и геофизика, 1995. Т. 36. № 2. С. 61-69.

Ханчук А.И., Голозубов В.В., Мартынов Ю.А., Симаненко В.П. Раннемеловая и палеогеновая трансформные континентальные окраины (калифорнийский тип) Дальнего Востока России // Тектоника Азии. М.: ГЕОС. 1997. С. 240 – 243.

Gorring M., Singer B., Gowers J., Kay S.M. Plio – Pleistocene basalts from the Meseta del Lago Buenos Aires, Argentina: evidence for asthenosphere-lithosphere interactions during slab window magmatism // Chemical Geology, 2003. V.193. P. 215-235.

Dorendorf F., Wiechert U., Worner G. Hydrated sub-arc mantle: a source for the Kluchevskoy volcano, Kamchatka/Russia // Earth and Planetary Science Letters, 2000. V. 175. P. 69-86.

Hole M.J., Rogers G., Saunders A.D., Storey M. Relation between alkalic volcanism and slab-window formation // Geology. 1991. V. 19. P. 657-660.

Kersting A.B., Arculus R.J. Klyuchevskoy volcano, Kamchatka, Russia: the role of high-flux recharge, tapped and fractionated magmachamber(s) in the genesis of high-Al₂O₃ from high-MgO basalt // Journal of Petrology, 1994. V. 35. P. 1-41.

Portnyagin M., Hoernle K., Avdeiko G. et al. Transition from arc to oceanic magmatism at the Kamchatka-Aleutian junction // Geology, 2005. V. 33. № 1. P. 25–28.