

На правах рукописи



ЛАНЦЕВА Валентина Сергеевна

**ВУЛКАНИЗМ УДИНО-ВИТИМСКОЙ ЗОНЫ КАЛЕДОНИД
ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЯ (СОСТАВ, ВОЗРАСТ,
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ)**

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Улан-Удэ – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН).

Научный руководитель:

ГОРДИЕНКО Иван Власович, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, советник РАН, ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ)

Официальные оппоненты:

КИСЕЛЕВ Александр Ильич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии и магматизма древних платформ, ИЗК СО РАН (г. Иркутск)

ГОЛИОНКО Борис Глебович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики позднего докембрия и фанерозоя, ГИН РАН (г. Москва)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Иркутск)

Защита состоится «23» декабря 2014 г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 003.002.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием ФИО, почтового и электронного адреса, места работы, должности автора, просим направлять по адресу:

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, ГИН СО РАН;

Факс: 8(3012)43-39-55; e-mail: gin@gin.bsnet.ru

Все отзывы размещаются на официальном сайте ГИН СО РАН не позднее, чем за 10 дней до защиты диссертации. (п.28 Положение о присуждении ученых степеней)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГИН СО РАН <http://geo.stbur.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



О.К. Смирнова

Актуальность работы. Вулканические процессы являются одними из грандиозных явлений в эндогенной эволюции Земли на протяжении всей её геологической истории. Они широко проявлены на континентах и в океанах, в островных вулканических дугах и активных континентальных окраинах (АКО). Слагающие их вулканические породы всегда привлекали внимание исследователей в связи с тем, что они являются не только свидетелями катастрофических извержений, но и индикаторами различных геодинамических обстановок, происходящих в коре и мантии. Поэтому изучение фрагментов континентальной коры, запечатленных в островных и окраинноморских комплексах древних складчатых областей, представляет одну из фундаментальных проблем современной геологии. Данная проблема особенно актуальна в связи с исследованием геодинамической эволюции Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП), сформированного преимущественно в раннем палеозое на месте Палеоазиатского океана [Зоненшайн и др., 1976, 1990; Хаин, 2001; Гордиенко, 1987, 2006; Ярмолюк и др., 2006; Богатиков и др., 2010; Добрецов, 2003, 2010 и др.]. Соответственно, изучение древнего вулканизма и геодинамических условий формирования труднодоступной и малоизученной территории Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья ЦАСП является важнейшей задачей, решаемой в настоящей диссертационной работе.

Актуальность исследований также определяется тем, что с вулканической деятельностью связано образование многочисленных проявлений и месторождений полезных ископаемых. Известно, что около 50 % твердых полезных ископаемых мира, доступных для извлечения, расположены в современных и древних вулканических дугах и АКО [Мархинин, 1967; Лучицкий, 1972; Добрецов, 2011 и др.]. В Западном Забайкалье с раннепалеозойской вулканической деятельностью связано крупнейшее в России Озерное колчеданно-полиметаллическое месторождение, что также определяет актуальность выполненных исследований.

Основной **целью проведенных исследований** было комплексное изучение геологических структур, сложенных вулканогенными, осадочно-вулканогенными и субвулканическими породами нижнего кембрия, связанными с развитием Удино-Витимской зоны каледонид, оценка вещественного состава, возраста и условий формирования пород.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- Комплексное геологическое изучение палеовулканических построек Удино-Витимской зоны, сложенных породами нижнекембрийской олдындинской свиты, выявление особенностей их внутреннего строения и выяснение взаимоотношений с вмещающими образованиями.
- Изучение петрографического, минералогического и геохимического состава вулканитов олдындинской свиты, выяснение их особенностей и

отличий от вулканитов среднего ордовика и верхнего палеозоя, также распространенных в пределах этой зоны.

- Определение возраста и источников формирования вулканогенных пород олдындинской свиты с использованием комплекса методов радионуклидного датирования (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr, Ar-Ar).
- Выявление поперечной вещественной зональности в распространении близковозрастных вулканитов Удино-Витимской островодужной системы.
- Реконструкция геодинамических обстановок формирования вулканотектонических структур Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положен оригинальный материал, собранный автором в период 2004-2012 гг. на территории Западного Забайкалья в составе экспедиционных отрядов лаборатории геодинамики ГИН СО РАН. Автор принимала участие в выполнении научных (бюджетных) тем, интеграционных проектов РАН и грантов РФФИ (05-05-64035а, 08-05-00290а, 10-05-93160 монг_а, 12-05-00324а) лаборатории.

В работе использованы результаты изучения более 200 проб вулканических и субвулканических пород. Петрографическими методами с помощью микроскопа Olympus BX51 исследовано 470 шлифов, на электронном сканирующем микроскопе LEO 1430 VP электронно-зондовым методом получено 620 микрозондовых анализов породообразующих минералов. Рентгено-флуоресцентным, химико-спектральным, ICP AES и ICP MS методами в лабораториях ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ), в ИГХ СО РАН (г. Иркутск), в ИГЕМ РАН (г. Москва) и в ИГТ УрО РАН (г. Екатеринбург) выполнено 113 силикатных анализов и 113 анализов проб на редкие и 90 на редкоземельные элементы. Датирование магматических пород осуществлялось U-Pb методом по цирконам на ионном зонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39}$ методом по валу и плагиоклазам в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

Обработка геохимических и минералогических данных проводилась с помощью стандартных текстовых и графических редакторов (Microsoft Office и CorelDraw), а также прикладных геохимических программ MINPET 2.02, Grapher 9 и программ для пересчета минералогических данных WinPytox, WinAmphcal [Yavuz, 2007, 2013].

Научная новизна. Впервые петрологическими, геохимическими, изотопно-геохронологическими методами с использованием палеонтологических и палеомагнитных данных подтверждено близко-одновременное формирование нижнекембрийских вулканогенных пород на всей площади Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья. В результате петролого-геохимического изучения состава вулканических пород

получены новые данные о мантийно-коровом происхождении изученных вулканитов. На основе полученных материалов, с учетом ранее проведенных геодинамических реконструкций, подтверждена островодужная природа исследованных вулканических ассоциаций. Автором впервые установлена поперечная вещественная зональность островодужной системы, которая сопоставляется с подобной зональностью современной Курило-Камчатской островной дуги.

Практическая значимость работы. Получены новые минералогические, изотопно-геохимические и геохронологические результаты комплексных исследований нижнекембрийской олдындинской свиты, которые использованы при составлении ГГК-200/2, лист N-49-XXVIII, металлогенических и поисковых работах на различные виды полезных ископаемых, а также при разработке легенды к ГГК-200.

Защищаемые положения:

1. Еравнинская, Олдындинская и Кыджимитская вулканотектонические структуры (ВТС) являются отдельными центрами вулканизма и вулканогенно-осадочной седиментации в пределах Удино-Витимской зоны каледонид. Вулканогенные породы в ней представлены близковременной дифференцированной серией базальт-андезит-дацит-риолитового состава, сформировавшейся в период от атдабанского до ботомского ярусов нижнего кембрия (542-530 млн лет) и частично тойонского яруса среднего кембрия (530-513 млн лет).

2. По петрографическим, петро- и геохимическим параметрам изученные кембрийские вулканиты относятся к высокоглиноземистым и низкотитанистым породам. Они подразделяются на нормальную и субщелочную серии, а также низко-, умеренно-, высококалийную и шошонит-латитовую серии с островодужными характеристиками.

3. Исследованные вулканогенные породы Удино-Витимской зоны каледонид сформировались в островодужной геодинамической обстановке, в пределах одноименной островодужной системы. По минеральному и химическому составу кембрийских вулканитов выявлена поперечная вещественная зональность, выраженная в смене минеральных парагенезисов в основных и средних вулканитах с юго-востока на северо-запад (в современных координатах). Установлено увеличение среднего содержания K_2O в породах равной кремнекислотности, а также смена толеитового тренда дифференциации вулканитов юго-восточной части на известково-щелочной в северо-западной части островодужной системы.

Публикация и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах по Перечню ВАК. Основные результаты работы обсуждались на III, IV Всероссийском симпозиуме по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика» (Улан-Удэ, 2006; Петропавловск-Камчатский,

2009), на Всероссийской конференции с иностранным участием посвященной 50-летию СО РАН и 80-летию чл.-корр. РАН Ф.П. Кренделева «Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах» (Улан-Удэ, 2007), на научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (Иркутск, 2007, 2008), на Всероссийской конференции «Тектоника и глубинное строение Востока Азии» VI Косыгинские чтения (Хабаровск, 2009), на конференции посвященной 125-летию со дня рождения академика А.Н. Заварицкого «Магматизм и рудообразование» (Москва, 2009), на XI Всероссийском петрографическом совещании «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (Екатеринбург, 2010), на V Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2010), на всероссийских молодежных научных конференциях «Геология Западного Забайкалья» (Улан-Удэ, 2011) и «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2011, 2013), на всероссийской научно-практической конференции «Геодинамика и минералогия Северо-Восточной Азии» (Улан-Удэ, 2013).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Она содержит 144 страницы текста, 59 иллюстраций, 12 таблиц, список литературы из 111 наименований и 2 приложения.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института СО РАН. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему наставнику и учителю чл.-к. РАН И.В. Гордиенко, под научным руководством которого была закончена аспирантура и выполнена настоящая диссертационная работа. В разное время автор имел возможность консультироваться и обсуждать материалы данной работы с В.С. Климук, О.Р. Мининой, Г.Е. Некрасовым, А.Б. Перепеловым, В.С. Платовым, А.Н. Булгатовым, А.Ю. Антоновым, В.Г. Беличенко, В.А. Макрыгиной, Л.И. Ветлужских, В.А. Беляевым, Н.А. Дорониной, А.Л. Елбаевым, Д.В. Гороховским, Н.И. Ласточкиным, Т.А. Гонегер, Е.А. Хромовой. Всем им автор выражает искреннюю признательность. Автор благодарен А.А. Цыреновой, Б.Ж. Жалсараеву, С.В. Канакину, Е.В. Ходыревой, Р.Ж. Ринчиновой, Т.И. Казанцевой, Л.А. Левантуевой, Г.И. Булдаевой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой, В.Ф. Посохову, а также сотрудникам ЦИИ ВСЕГЕИ, принимавшим участие в выполнении аналитических работ. Автор благодарит всех коллег по совместным экспедициям за многолетнюю поддержку и сотрудничество в геологических исследованиях.

Глава 1. История геологической изученности Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья

Удино-Витимская зона каледонид Западного Забайкалья является одной из основных структур благоприятных для изучения отложений нижнего палеозоя. Характерным для нее являются широко распространенные вулканогенные отложения олдындинской свиты нижнего кембрия, являющейся объектом исследований автора. Геологическое и геофизическое строение района, стратиграфия и палеонтологическая характеристика стратифицированных образований, их минералогия, описаны во многих публикациях и производственных отчетах (Беличенко и др., 1962, Беличенко, 1969, 1977, Дистанов и др., 1972; Язмир и др., 1975; Васильев, 1977; Гордиенко и др., 1978; Царев, 1988, Постников и др., 1997 и др.). Олдындинская свита, вмещающая Озерное колчеданно-полиметаллическое и ряд других месторождений интенсивно изучаются до настоящего времени. В последние годы получены новые данные по стратиграфии и магматизму Удино-Витимской зоны, в строении которой выделены образования каледонского, ранне- и позднегерцинского структурных этажей. Особое внимание было уделено изучению Удино-Витимской островодужной системы (УВОС) [И.В. Гордиенко, С.В. Руженцев, О.Р. Минина, В.С. Платов и др.].

Глава 2. Геологическое строение вулканотектонических структур Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья

Современная структура Удино-Витимской зоны каледонид и сформированной на её месте УВОС охватывает обширную территорию Западного Забайкалья и протягивается от низовий р. Селенги на северо-восток до среднего течения р. Витима на расстояние около 800 км, при ширине от 80-100 до 200 км. Основные вулканические структуры УВОС сосредоточены в ее центральной части, в пределах так называемого Еравнинского островодужного террейна [Булгатов и др., 2004]. Сохранившиеся от эрозии фрагменты УВОС объединены в отдельные вулканотектонические структуры (ВТС): Еравнинская, Олдындинская, Кыджимитская и другие [Гордиенко и др., 2010] (рисунок 1).

Еравнинская вулканотектоническая структура (ВТС) расположена в пределах хребта Байсыхан и восточной части хребта Улан-Бургасы (Кыджимит-Запа-Холойское междуречье). В ее строении участвуют: нижнекембрийская олдындинская свита (C_1), озёрный (олдындинский) субвулканический комплекс (C_1), а также магматические комплексы и отложения верхнего палеозоя [Гордиенко и др., 2010, Руженцев и др., 2012].

Нижнепалеозойские отложения в разрезе ВТС занимают более 150 км². Из них около 60% приходится на вулканические породы, 18% - на туффыты, около 20% - на карбонатные отложения (главным образом рифогенные

известняки) и менее 5% - на терригенные, большей частью вулканомиктовые породы. В северо-западной половине площади развиты преимущественно породы риолитового, дацитового, андезит-дацитового составов; на юго-востоке – лавово-пирокластические отложения андезитового состава. В бассейне р. Ульзутуй в составе олдындинской свиты преобладают лавовые, пирокластические и субвулканические фации, в тесной ассоциации с раннекембрийскими биогермными археоциатово-водорослевыми известняками и осадочно-вулканогенными породами (рисунок 2).

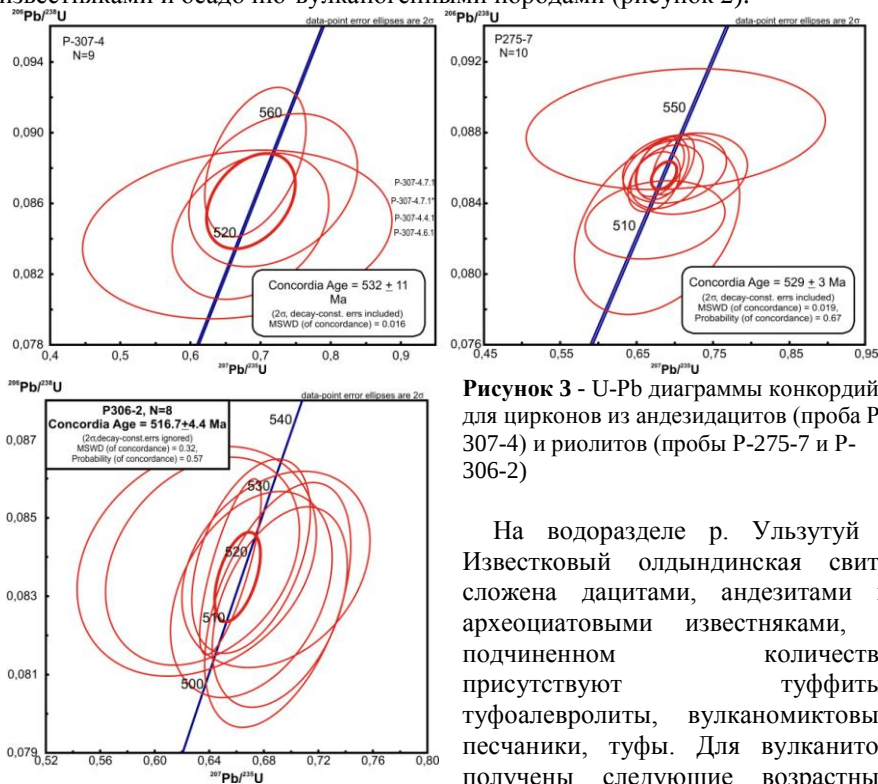


Рисунок 3 - U-Pb диаграммы конкордий для цирконов из андезидацитов (проба P-307-4) и риолитов (пробы P-275-7 и P-306-2)

На водоразделе р. Ульзутуй - Известковый олдындинская свита сложена дацитами, андезитами и археоциатовыми известняками, в подчиненном количестве присутствуют туффы, туфоалевролиты, вулканомиктовые песчаники, туфы. Для вулканитов получены следующие возрастные датировки (здесь и далее U-Pb метод по цирконам, SHRIMP-II) 532 ± 11 млн лет (андезидацит) и 529 ± 3 млн лет (риолит). На водоразделе Ульзутуй – Сурхегт разрез сложен преимущественно вулканитами андезит-дацит-риолитового ряда и вулканомиктами. Риолиты имеют возраст $516,7 \pm 4,4$ млн лет (см. рисунки 2, 3) [Гордиенко и др., 2010, Руженцев и др., 2012].

По левобережью р. Ульзутуй были установлены тела андезидацитов и дацитов, для первых получен изохронный возраст $466,1 \pm 3,6$, для вторых - $470,4 \pm 3,8$ млн лет [Руженцев и др., 2012, Минина и др., 2013].

Возраст карбонатных пород по многочисленным находкам фауны археоциат, трилобитов и водорослей соответствует атдабанскому, ботомскому и отчасти тойонскому ярусам нижнего кембрия. Известняки содержат водорослево-археоциатовые биогермы, тафостромы и остатки трилобитов [Постников и др., 1997; Ветлужских, 2011].

Широким распространением в рассматриваемом районе пользуются кварцевые порфиры, фельзиты, гранит-порфиры озёрного (олдындинского) субвулканического комплекса. Их состав и возраст (517–513 млн лет) позволяет рассматривать их как комагматы олдындинских вулканитов.

Олдындинская вулканотектоническая структура расположена на правом берегу среднего течения р. Кыджимит, правого притока р. Витим. Вулканогенные образования с линзами рифогенных известняков, содержащих фауну археоциат, являются стратотипом олдындинской свиты нижнего кембрия [Беличенко и др., 1962] и распространены на площади около 100 км² (рисунок 4).

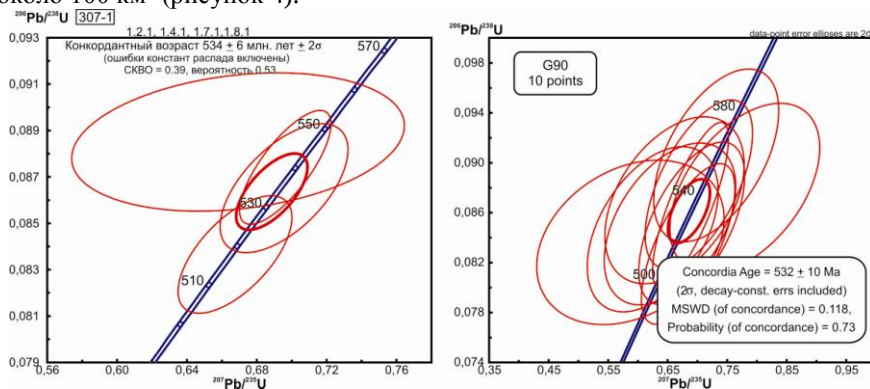


Рисунок 5 - U-Pb диаграммы конкордий для цирконов из риолитов (пробы 307-1 и G-90)

Среди них доминируют лавы и туфы андезитов (50%), риолитов и дацитов с горизонтами игнимбритов, агломератовых туфов и туфобрекчий (40%), а также линзы туфитов, туфоалевролитов, туфоаргиллитов, известняков и кремнистых пород. Общая мощность вулканогенных пород свыше 2000 м.

В трех пробах из кислых вулканитов, расположенных по право- и левобережью р. Левая Олдында (см. рисунок 4), получены конкордантные значения возраста в 534±6, 532±10 и 529,8±3,6 млн лет (рисунок 5), которые подтверждают нижнекембрийский возраст свиты, ранее определенный по фауне археоциат [Гордиенко и др., 2010, Минина и др., 2013].

Крылья Олдындинской ВТС сложены средними и основными вулканогенными породами (андезитами, андезибазальтами, базальтами и их туфами) с редкими линзами рифогенных известняков. Центральная часть

структуры образована преимущественно кислыми вулканитами (дациты, риодациты и риолиты). На риолитах с конгломератами в основании залегает ульзутуйская микститовая толща (D_3-C_1ul) [Минина и др., 2007, 2013].

Кыджимитская вулканотектоническая структура расположена в бассейне ручьев Сосновский и Хортяк (левобережье р. Кыджимит). В кыджимитском разрезе тектонически совмещены вулканогенный нижнекембрийский (олдындинская свита) и известково-терригенно-туфовый верхнепалеозойский (озернинская и кыджимитская толщи) вещественные комплексы. Автором детально изучена олдындинская свита (рисунок 6), сложенная базальтами, андезибазальтами и андезитовыми порфиритами, с прослоями дацитов, кислыми туфами и туффитами.

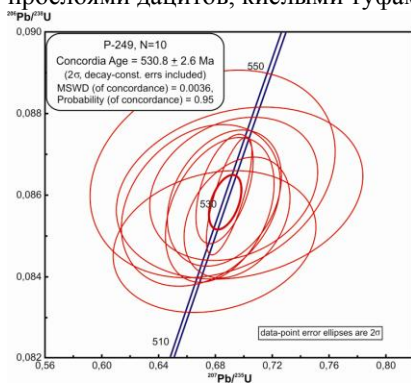


Рисунок 7 - U-Pb диаграмма конкордий для цирконов из дацитов (проба P 249)

Возраст дацитов составляет $530,8 \pm 2,6$ млн лет, $СКВО=0,0036$ (левобережье руч. Сосновый, выс. 1485,8) (рисунок 7). Возраст андезидацитов $513,0 \pm 3,8$ млн лет, $СКВО=0$ (правобережье руч. Хортяк, $53^{\circ}12'46,2''$ с.ш., $110^{\circ}44'37,8''$ в.д.) [Руженцев и др., 2012; Минина и др., 2013]. Отличительной чертой разреза

свиты является незначительное распространение известняков, слагающих единичные маломощные прослои.

Выше олдындинской свиты во всех вулканотектонических структурах несогласно, на различных ее горизонтах, залегают отложения верхнего палеозоя [Минина и др., 2008, 2013; Руженцев и др., 2009, 2010, 2012].

Глава 3. Петрография и минералогия вулканогенных пород

Установлено, что поперек простираения УВОС от Еравнинской ВТС через Олдындинскую к Кыджимитской ВТС, в нижнекембрийских вулканогенных породах наблюдается изменение соотношения продуктов различной кремнеземистости. Так, если в пределах Еравнинской и Олдындинской ВТС среди вулканических образований были проявлены образования (лавы и туфы) лишь андезит-риолитового ряда, то в пределах Кыджимитской ВТС – образования базальт-андезитового ряда с преобладанием низкокремнеземистых разностей.

В вулканических образованиях близкой кремнекислотности проявляется изменение минерального состава вкрапленников. Так, в Еравнинской и Олдындинской ВТС андезиты (как и базальты) характеризуются пироксен-

плагиоклазовым парагенезисом вкрапленников, а в Кыджимитской ВТС – амфибол-клинопироксен-плагиоклазовым и даже биотит-амфибол-клинопироксен-плагиоклазовым. Это свидетельствует о различных Р-Т условиях зарождения и кристаллизации магм в пределах УВОС.

В изученных ВТС практически все вулканические образования характеризуются в различной степени вторичными изменениями. Так, в Еравнинской ВТС плагиоклаз в базальтах и андезитах полностью замещен альбитом. Темноцветные минералы-вкрапленники в андезитах Олдындинской ВТС практически не сохранили свой первичный состав. При этом, несмотря на проявление, там множества вторичных минералов, сформировавшихся, в результате процессов регионального низкотемпературного метаморфизма фации зеленых сланцев, альбитизация минералов очень слабая. Вулканиды базальт-андезитового ряда Кыджимитской ВТС во многом сохранили свой первичный состав, однако альбитизация там также проявлена слабо.

Глава 4. Петрохимическая и геохимическая характеристика вулканических образований Удино-Витимской зоны каледонид

Петрохимия вулканогенных пород. Вулканогенные породы олдындинской свиты во всех рассматриваемых (Еравнинской, Олдындинской и Кыджимитской) вулканотектонических структурах представлены следующими разновидностями: базальт, андезибазальт, андезит, андезидацит, дацит, риодацит и риолит. Кыджимитская ВТС характеризуется преобладанием основных пород, Олдындинская и Еравнинская ВТС – средними и кислыми разностями. Но в целом олдындинская свита представлена дифференцированной серией от базальтов до риолитов (рисунок 8).

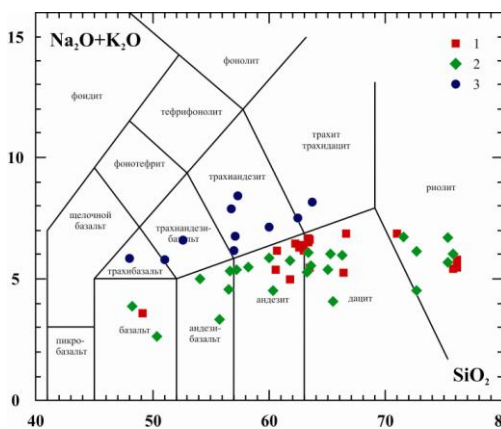


Рисунок 8 - Соотношение содержаний SiO_2 - ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) в раннекембрийских вулканитах олдындинской свиты на классификационной диаграмме [Le Maitre et al., 1989] 1 – вулканиды Еравнинской ВТС, 2 – вулканиды Олдындинской ВТС, 3 – вулканиды Кыджимитской ВТС

По суммарному содержанию щелочей здесь выделяются породы нормального и субщелочного ряда, а по концентрации K_2O – лавы низко-, умеренно-, высококалиевых и шощонит-латитовой серий (причем все

субщелочные лавы высококалийные и шошонит-латитовые) (рисунок 9 а). Все вулканиты ВТС отличаются низкой титанистостью и высокой глиноземистостью, хотя среди базальтов иногда устанавливаются умеренно-глиноземистые разности. Базальты всех трех ВТС – низкотитанистые, но в них намечается тенденция к некоторому увеличению содержания TiO_2 от Еравнинской к Кыджимитской ВТС.

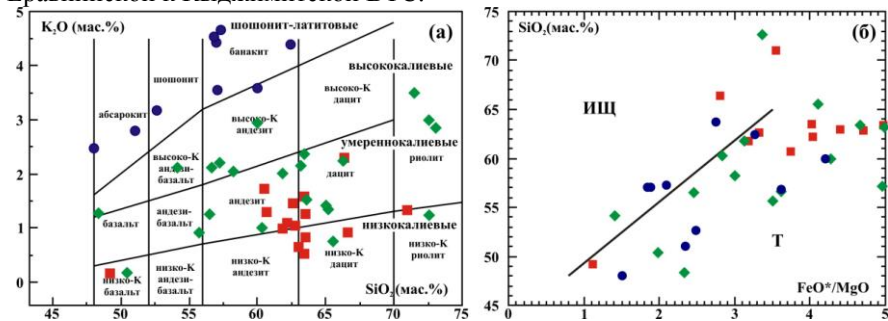


Рисунок 9 – а. Классификационные диаграммы K_2O - SiO_2 (Taylor, McLennan, 1985) и б. SiO_2 – FeO^*/MgO (Myashiro, 1974) для раннекембрийских вулканитов олдындинской свиты. Усл. обозн. см. рисунок 8

По соотношению величин FeO^*/MgO с SiO_2 среди вулканитов различаются толеитовые и известково-щелочные серии. Выделяются также промежуточные серии, в которых базальты лежат в поле толеитов, андезитобазальты - на границе поля толеитовых - известково-щелочных пород, а андезиты и кислые лавы - в поле последних (рисунок 9 б).

Геохимия вулканогенных пород. В вулканитах олдындинской свиты концентрации когерентных элементов (Ni, Cr, Co, V) изменяются в широких пределах. Концентрации Ni, Co и V проявляют хорошо выраженную зависимость от содержания кремнезема (уменьшаются с увеличением SiO_2).

Содержания некогерентных элементов (Rb, Ba, Sr, Zr, Th, U, Cs и Y) в связи с их свойством накапливаться в остаточном расплаве, как правило, наиболее высоки в породах с повышенным содержанием кремнезема и калия. В этой связи в вулканитах олдындинской свиты, по мере падения основности пород, прослеживается отчетливая тенденция к накоплению Rb, Ba, Zr, Y, Th и U. В отличие от остальных некогерентных элементов, концентрация Sr с ростом кремнеземистости пород уменьшается.

Базальты свиты характеризуются отчетливо выраженными Ba, Sr-максимумами и Nb-минимумом, что типично для островодужных лав. В средних и умеренно кислых породах наблюдается хорошо выраженный Sr-минимум.

Распределение редкоземельных элементов (REE) в исследованных базальтах олдындинской свиты характеризуется умеренной степенью фракционирования легких лантаноидов по отношению к тяжелым и

отсутствием Eu-минимума. В более кислых разностях наблюдается увеличение содержания редкоземельных элементов.

Изотопная геохимия. По геохимическим характеристикам изученные породы принадлежат к островодужным магматическим образованиям, которые формировались в нижнем кембрии на гетерогенном байкальском основании, в пределах рифейской изотопной провинции [Коваленко и др., 1999].

Изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ показывают, что при формировании пород основного и среднего состава олдындинской свиты, участвовал корово-мантийный источник, а для более кислых вулканитов – коровый.

Глава 5. Геодинамические условия формирования вулканогенных пород Удино-Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья

5.1. Субдукционный магматизм и окраинноморское осадконакопление

Известно, что субдукционный магматизм и связанное с ним окраинноморское осадконакопление проявлены на деструктивных границах литосферных плит. Изученные нами Еравнинская, Олдындинская и Кыджимитской ВТС входят в состав Удино-Витимской островодужной системы [Гордиенко и др., 2010]. Установлено, что по палеомагнитным данным УВОС в начале кембрия имела (в древних координатах) субмеридиональную ориентировку и располагалась в приэкваториальной области $5-10^\circ$ с.ш. Палеоазиатского океана [Гордиенко, 2006; Метелкин и др., 2006; Метелкин, 2012].

Согласно петролого-геохимических исследований вулканогенные породы олдындинской свиты представлены дифференцированной серией базальт-андезит-дацит-риолитового состава с разным объемом отдельных разновидностей пород. По геохимическим характеристикам изученные нижнекембрийские породы принадлежат к островодужным магматическим образованиям и формировались на гетерогенном рифейском основании. Все это в целом указывает на формирование вулканитов олдындинской свиты в надсубдукционных (островодужных) условиях.

5.2. Особенности состава и условий образования раннепалеозойских вулканитов олдындинской свиты

Для определения вещественной зональности большой интерес представляет сравнение Удино-Витимской островодужной системы с Курило-Камчатской островной дугой.

В пределах Большой Курильской ОД поперечная зональность (вкрест дуги) обоснована и детально охарактеризована по различным критериям, таким как степень дифференцированности вулканов, химический и минеральный состав слагающих их лав и состав выносимых ими включений и др. [Богатиков, Цветков, 1988; Авдейко и др., 1992; Антонов, 2008; Гриб и

др., 2012 и др.]. Используя эти критерии профиль поперечной зональности УВОС был проведен с юго-востока на северо-запад (рисунок 10) от Еравнинской через Олдындинскую к Кыджимитской ВТС.

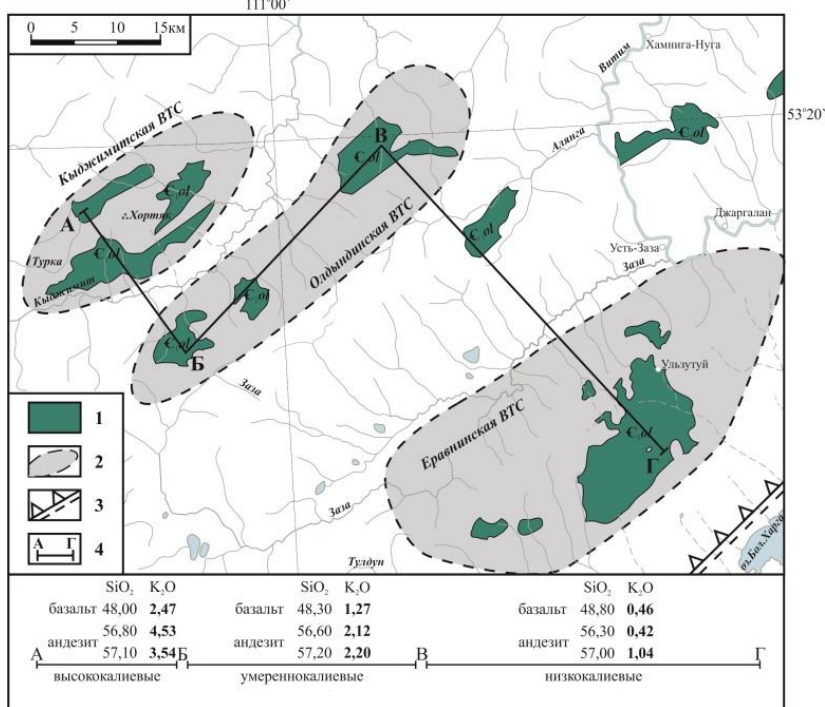


Рисунок 10 - Схема поперечной зональности Удино-Витимской островодужной системы. Условные обозначения: 1 – олдындинская свита, 2 – вулканотектонические структуры, 3 – предполагаемая зона субдукции, 4 – профиль поперечной зональности

а) Зональность по степени дифференцированности вулканов. Состав нижнекембрийских вулканитов УВОС широко варьирует от базальтов (47-51% SiO₂) до риолитов (70-75% SiO₂). Андезиты являются наиболее распространенными породами - 30-35%, дациты и риолиты составляют по 20-25% каждые, базальты и андезибазальты – 10-15%. Наибольшим распространением пользуются сильнодифференцированные базальт (андезибазальт)-андезит-дацит-риолитовые ассоциации пород.

Лавы фронтальной зоны юго-восточной части УВОС (Еравнинская ВТС) в целом более дифференцированы, чем в тыловой, что выражается в большей частоте встречаемости каждого типа пород по кремнеземистости. В тыловой зоне северо-западной части УВОС (Кыджимитская ВТС) преобладают слабо- (базальт-андезибазальтовой) и умереннодифференцированные (базальт-

андезибазальтовой-андезитовой) ассоциации пород. Сильнодифференцированная (базальт (андезибазальт)-андезит-дацит) ассоциация пород в тыловой зоне УВОС встречается крайне редко.

Таким образом, в распределении ассоциаций вулканитов по кремнекислотности устанавливается поперечная зональность, выражающаяся в более широком проявлении глубоко дифференцированных ассоциаций пород во фронтальной зоне УВОС.

б) Минералогическая зональность. Содержание вкрапленников в вулканитах колеблется от 5-10 до 20-30%, однако преобладают умереннопорфировые разности с 15-20% вкрапленников. Основные различия в минеральных ассоциациях и в составе минералов лав проявляются в следующем: 1) в базальтах фронтальной зоны отмечается пироксен-плагиоклазовый парагенезис минералов вкрапленников, а в базальтах тыловой зоны – пироксен-амфибол-плагиоклазовый; для андезитов и андезидацитов фронтальной зоны характерен пироксен-плагиоклазовый парагенезис, а для аналогичных лав тыловой зоны – плагиоклаз-амфибол-биотитовый; 2) плагиоклазы лав фронтальной зоны с более высокими концентрациями Fe, чем плагиоклазы лав тыловой зоны, в которых содержание ортоклазовой молекулы выше.

в) Геохимическая зональность. В близких по кремнеземистости лавах УВОС наблюдаются существенные вариации щелочности, железистости и т.д. По общему содержанию щелочей среди вулканических пород УВОС согласно [Рессерилло, Taylor, 1976; Классификация ..., 1981], выделяются лавы нормального и субщелочного рядов. Первые распространены как во фронтальной, так и в промежуточной зоне дуги, а вторые отмечены только в тыловой зоне. По содержанию K_2O в УВОС установлено: во фронтальной зоне распространены лавы низкокалиевой (преобладают) и умереннокалиевой серий, в промежуточной зоне – умеренно- и высококалиевой серий, а в тыловой зоне – высоко- и весьма высококалиевой серий, что убедительно доказывает наличие в регионе по данным параметрам поперечной зональности. Стоит отметить, что в сравнении с более мафическими разностями в кислых дацит-риолитовых серий УВОС поперечная зональность по сумме щелочей проявлена слабо.

В среднем все типы пород УВОС обогащены глиноземом, железом и обеднены титаном, магнием. По соотношению содержаний $SiO_2 - FeO^*/MgO$ в вулканитах олдындинской свиты выделяются толеитовые (обогащенные железом) и известково-щелочные (обедненные железом) серии. В целом толеитовые серии характерны для фронтальной, а известково-щелочные – для тыловой зоны УВОС.

От фронта к тылу дуги во всех типах вулканитов по кремнекислотности четко возрастают средние концентрации не только калия, но и таких некогерентных и редких элементов, как Rb, Sr, U, Th, La, Ce (вместе со всей

суммой легких лантаноидов), Nb, Zr, Hf, а также величины отношений Rb/Sr, La/Yb, Sr/Ce, Th/U, Zr/Y, La/Nb, $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$.

Таким образом, несмотря на некоторые противоречия, поперечная вещественная зональность раннекембрийского вулканизма олдындинской свиты в немалой степени сопоставляется с подобной вещественной зональностью современной Курило-Камчатской островной дуги (рисунок 11 А). Используя соответствующую методику [Dickinson, Natherton, 1967] можно оценить такие важнейшие параметры этой островодужной системы, как глубина и угол ее погружения (рисунок 11 Б).

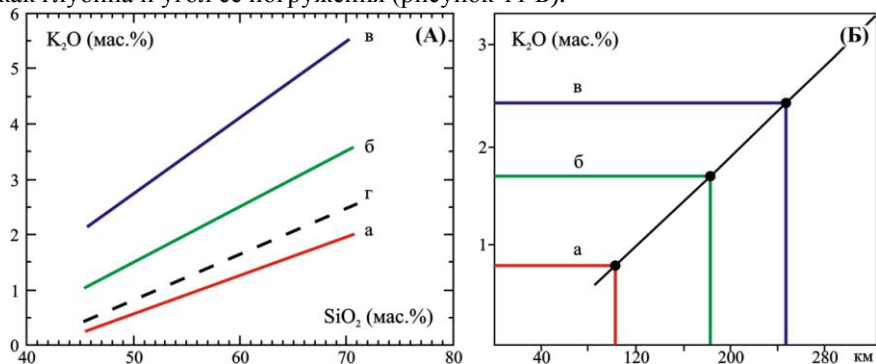


Рисунок 11 – А) Вариационная диаграмма содержаний K_2O относительно SiO_2 в раннекембрийских вулканитах Еравнинской (а), Олдындинской (б), Кыджимитской (в) ВТС и лавах вулканов Курильской островной дуги (г), по [Чашин, Мартынов, 2011]. **Б)** График корреляции K_2O (при $\text{SiO}_2=55\%$) в раннекембрийских вулканитах Еравнинской (а), Олдындинской (б), Кыджимитской (в) ВТС с глубиной залегания зоны субдукции, по [Dickinson, Natherton, 1967]

Так, расчеты глубины залегания ископаемых зон субдукции по методике [Dickinson, Natherton, 1967] показывают, что предполагаемые области плавления субдукцированной океанической плиты во фронтальной части УВОС (а-Еравнинская ВТС) находились на глубине 100 км (рисунок 11 Б), а в тыловой части УВОС очаги плавления океанической плиты резко уходили под окраину Сибирского континента до глубины 180 км (б-Олдындинская ВТС) и 250 км (в-Кыджимитская ВТС).

Предполагаемое положение зоны субдукции УВОС в районе Еравнинских озер косвенно подтверждается крупной гравитационной ступенью северо-восточного простиранья [Нефедьев, 2009].

Заключение

Анализ полученных геологических, петрографических, минералогических, петро-геохимических и геохронологических данных по вулканизму Удино-

Витимской зоны каледонид Западного Забайкалья позволяет сделать ряд выводов:

1. Отдельные центры вулканизма Удино-Витимской зона каледонид представлены дифференцированной серией базальт-андезит-дацит-риолитового состава сформировавшихся в период от атдабанского яруса нижнего кембрия (542-530 млн лет) до ботомского яруса и частично до тойонского яруса среднего кембрия (530-513 млн лет).
2. Вулканогенные породы нижнекембрийской олдындинской свиты всех трех вулканотектонических структур по петрографическим, петро- и геохимическим характеристикам относятся к высокоглиноземистым, низкотитанистым породам. Вулканиды подразделяются на нормальную и субщелочную серии, а также низко-, умеренно-, высококалиевую и шшонит-латитовую серии, с соответствующей редкоэлементной характеристикой. С юго-востока на северо-запад в соответствующих по кремнеземистости породах прослежено изменение минеральных парагенезисов в базальтах от пироксен-плагиоклазового до пироксен-амфибол-плагиоклазового, а в андезитах от пироксен-плагиоклазового до пироксен-амфибол-биотит-плагиоклазового. Изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ свидетельствуют о корово-мантийном источнике вулканогенных пород.
3. Геологическое положение вулканотектонических структур, петро- и геохимический состав, и абсолютный возраст вулканогенных пород олдындинской свиты подтвердили островодужную природу исследованных вулканических ассоциаций.
4. Установлена поперечная вещественная зональность УВОС, которая сопоставляется с подобной вещественной зональностью современной Курило-Камчатской островной дуги.

Список основных публикаций по теме диссертации:

(В 2011 г. была изменена фамилия Ситникова на Ланцеву).

1. Гордиенко И.В. Состав, U-Pb изотопный возраст (SHRIMP-II) офиолитовой ассоциации Шаманской палеоспредиговой зоны и условия ее формирования (Северное Забайкалье) / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, Н.И. Ласточкин, **В.С. Ситникова** // ДАН. – 2009. – Т.429. – №3. – С. 359–364. (рекомендовано Перечнем ВАК)
2. Гордиенко И.В. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее-палеозое / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, С.В. Руженцев, О.Р. Минина, В.С. Климук, Л.И. Ветлужских, Г.Е. Некрасов, Н.И. Ласточкин, **В.С. Ситникова**, Д.В. Метелкин, Т.А. Гонегер, Е.Н. Лепехина // **Геология и геофизика**. – 2010. – Т.51. – №5. – С. 589–614. (рекомендовано Перечнем ВАК)

3. Минина О.Р. Стратиграфия и вулканизм нижнего и среднего палеозоя Байкальской горной области / О.Р. Минина, Л.И. Ветлужских, **В.С. Ланцева** // **Отечественная геология.** – 2013. – №3. – С. 38–46. (*рекомендовано Перечнем ВАК*)
4. **Ситникова В.С.** Раннекембрийские вулканогенные породы Олдындинской вулканотектонической структуры (Западное Забайкалье): петрография, геохимия, геодинамическая принадлежность / **В.С. Ситникова** // Вестник БНЦ СО РАН. – октябрь-декабрь 2009. – С. 62–68.
5. Гордиенко И.В. Новые данные по составу и возрасту палеозойских осадочно-вулканогенных толщ и интрузивов Еравнинского островодужного террейна (Забайкалье) / И.В. Гордиенко, О.Р. Минина, Э. Хегнер, **В.С. Ситникова** // Вулканизм и геодинамика: Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – 2006. – Т.1. – С. 154–158.
6. Гордиенко И.В. Вулканизм Олдындинской вулканической структуры Удино-Витимской островодужной системы Палеоазиатского океана / И.В. Гордиенко, В.С. Климук, Л.И. Ветлужских, **В.С. Ситникова** // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2007. – В 2-х томах. – Т.1. – С. 64–65.
7. Климук В.С. Особенности вещественного состава островодужных вулканитов Олдындинской вулканотектонической структуры (Забайкалье) / В.С. Климук, **В.С. Ситникова** // Тектоника и глубинное строение Востока Азии: VI Косыгинские чтения: доклады всероссийской конференции. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. – 2009. – С. 187–190.
8. **Ситникова В.С.** Петрология и геохимия вулканитов вмещающих колчеданно-полиметаллическое месторождение Озерное (Западное Забайкалье) / **В.С. Ситникова** // Магматизм и рудообразование: материалы конференции, посвященной 125-летию со дня рождения академика А.Н. Заварицкого. – М.:ПРОБЕЛ-2000, ИГЕМ РАН. – 2009. – С. 259–262.
9. Булгатов А.Н. Рифейские и палеозойские вулканические комплексы в структурах Западного Забайкалья (состав, возраст, условия формирования) / А.Н. Булгатов, В.С. Климук, Н.И. Ласточкин, **В.С. Ситникова** // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. – 2009. – Т.1. – С. 287–289.
10. Климук В.С. Петрогенезис вулканических пород Удино-Витимской палеоостроводужной системы (Западное Забайкалье) / В.С. Климук, **В.С. Ситникова** // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. – 2010. – Т.1. – С. 305–306.
11. **Ситникова В.С.** Геохимические особенности вулканитов Кыджимитской вулканотектонической структуры Удино-Витимской зоны палеозоид (Западное Забайкалье) / **В.С. Ситникова** // Материалы 5-ой Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск. 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
12. **Ланцева В.С.** Вулканизм Еравнинской зоны Западного Забайкалья / **В.С. Ланцева** // Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию Геологического института СО РАН. – Улан-Удэ, ИД «Экос». – 2013. – С. 210–213.

