

На правах рукописи



ЕЛБАЕВ Алексей Леонидович

**РАННЕОРДОВИКСКИЙ ГРАНИДОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ
ДЖИДИНСКОЙ ЗОНЫ КАЛЕДОНИД
(ЮГО-ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Улан-Удэ
2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

Гордиенко Иван Власович, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, советник РАН, Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

Официальные оппоненты:

Гладкочуб Дмитрий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Крук Николай Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится 24 октября 2013 года в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 003.002.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

e-mail: meta@gin.bscnet.ru

тел./факс: 8(3012)43-39-55

<http://geo.stbur.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

Автореферат разослан «__» сентября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к. г.-м. н.



О.К. Смирнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Граниты и близкие по составу кварцсодержащие интрузивные породы – гранитоиды – самые распространенные из магматических пород складчатых областей. По статистическим подсчетам они составляют около 77% объема всех магматических тел верхней части континентальной земной коры [Магматические..., 1987; Попов, 1997]. При расшифровке геологической истории развития складчатых областей изучению гранитоидов уделяется значительное внимание в связи с их важными индикаторными свойствами, связанными с формированием и эволюцией континентальной земной коры, что представляет собой одну из важных фундаментальных проблем современной геологии [Богатиков и др., 2010]. Комплексные исследования геологического положения и строения гранитоидных массивов, особенностей их минералогического, петрографического и геохимического состава, наряду с изотопно-геохимическими и геохронологическими данными, позволяют восстанавливать генезис магматических пород и геодинамические условия их формирования.

Актуальность проведенных исследований определяется также тем, что вопросы расчленения и корреляции раннепалеозойских гранитоидов Джидинской зоны каледонид, а также интерпретация геодинамических условий формирования и их генезис оставались до сих пор недостаточно разработанными. На всех геологических картах раннепалеозойские гранитоиды рассматриваются в составе джидинского диорит-тоналитового комплекса. В настоящее время возникла необходимость получения изотопно-геохронологической и геохимической информации для расчленения раннепалеозойских гранитоидов, образованных на островодужной и аккреционно-коллизивной стадиях эволюции данной зоны, а также для понимания петрологических механизмов гранитообразования.

Целью работы является реконструкция петрологических и геодинамических условий формирования гранитоидов выделенной нами дархинтуйской группы массивов Джидинской зоны каледонид.

Основные задачи исследования:

1. Изучить геологическое строение массивов и взаимоотношение гранитоидов с вмещающими терригенно-карбонатными породами (джидинская свита), определить их изотопный (U-Pb и Ar-Ar) возраст.

2. Провести минералого-петрографические, петрогеохимические и изотопно-геохимические (Sm-Nd и Rb-Sr) исследования для установления условий петрогенезиса гранитоидов.

3. Определить геодинамическую обстановку формирования гранитоидов и сопоставить ее с условиями образования близковозрастных гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертации положены материалы, полученные автором за период 2004-2011 гг. в процессе обучения в аспирантуре и в ходе научно-исследовательских работ по проектам лаборатории геодинамики Геологического института СО РАН, главным образом проведенных на территории Джидинской зоны каледонид Юго-Западного Забайкалья. Автор являлся исполнителем бюджетных тем и инициативных проектов РФФИ (№ 02-05-65328; № 05-05-64035), нацеленных на изучение геологического строения и вещественного состава раннепалеозойских гранитоидов Джидинской и Удино-Витимской зон каледонид. В исследованиях использован комплекс геологических, петрографических, геохимических, в том числе изотопно-геохимических и геохронологических методов. Комплекс методов базируется на оригинальных петрографических описаниях коллекций шлифов (150 шт.), петрохимических (66), геохимических (66) и микрозондовых (199) анализах, а также изотопно-геохимических исследованиях (U-Pb, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd) гранитоидных массивов. Аналитические данные получены с помощью рентгено-флуоресцентного, химико-спектрального и масс-спектрометрического с индукционно связанной плазмой методами в лабораториях Геологического института СО РАН г. Улан-Удэ и в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН в г. Иркутск. Для датирования магматических пород использовались U-Pb метод по цирконам и ^{39}Ar - ^{40}Ar метод по биотитам. Изотопный анализ U и Pb был выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре Finnigan MAT-261 (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург). ^{39}Ar - ^{40}Ar анализ выполнен на масс-спектрометре Noble gas 5400 (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

Обработка геохимических и минералогических данных производилась с помощью стандартных текстовых и графических редакторов (Microsoft Office и CorelDraw), а также прикладной геохимической программы MINPET 2.02.

Научная новизна. Впервые детально изучено геологическое строение гранитоидных массивов дархинтуйской группы и характер взаимоотношений их с вмещающими осадочными породами. Подробно исследован петрохимический, геохимический состав гранитоидов, установлен их абсолютный возраст U-Pb и Ar-Ar методами. Эти гранитоиды отнесены к известково-щелочной петрохимической серии (I-тип). Установлено, что петрогеохимическая их характеристика обусловлена частичным плавлением мафического корового субстрата при давлении более 12-15 кбар. Гранитоиды дархинтуйской группы образовались в раннем ордовике в интервале времени $489 \pm 2 - 477 \pm 6$ млн лет. Показано, что они формировались в аккреционно-коллизийной геодинамической обстановке на заключительном этапе развития Джидинской зоны каледонид. Сопоставление изученных гранитоидов показывает, что аналогичные по составу и возрасту гранитоиды развиты в Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоне Западной Монголии.

Практическая значимость работы. Полученные новые минералогические, изотопно-геохимические и геохронологические результаты комплексных исследований раннеордовикских гранитоидных массивов могут быть использованы при геолого-съемочных, металлогенических и поисковых работах на различные виды полезных ископаемых, а также при разработке легенд для геологических карт нового поколения в Джидинском рудном районе.

Защищаемые положения:

1. Гранитоиды Дархинтуйского, Барунгольского, Верхнебарунгольского массивов Джидинской зоны каледонид образуют самостоятельную дархинтуйскую группу массивов, сложенных тоналитами известково-щелочной (I-тип) серии, и сформировались в раннем ордовике в период с 489 по 477 млн лет.

2. По петрогеохимическим характеристикам тоналиты относятся к плагиогранитоидам высокоглиноземистого типа. Образование исходных расплавов тоналитов происходило в результате частичного плавления мафического (метабазитового) источника в нижнекоровых условиях.

3. Геодинамические условия формирования массивов раннеордовикских тоналитов свидетельствуют об их становлении в аккреционно-коллизийную стадию развития Джидинской зоны каледонид.

Апробация результатов работы. По теме диссертации опубликовано 11 статей и тезисов докладов, в том числе 2 статьи в журналах списка ВАК. Основные результаты исследования докладывались на международных, всероссийских и региональных научных совещаниях и конференциях: на II Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2004); на XXI всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2005); на всероссийской конференции, посвященной 50-летию СО РАН и 80-летию чл.-к. РАН Ф.П. Кренделева «Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах» (Улан-Удэ, 2007); на международной конференции «Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов» (Улан-Удэ, 2008); на XI всероссийском петрографическом совещании с участием зарубежных ученых «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (Екатеринбург, 2010); на всероссийской молодежной научной конференции «Геология Западного Забайкалья» (Улан-Удэ, 2011, 2012); на всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2011); на всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток, 2011); на научных сессиях Геологического института СО РАН (Улан-Удэ 2005, 2008, 2012).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 132 страниц текста, включая 65 рисунков, 16 таблиц и списка литературы из 116 наименований.

Во **введении** определены цель и задачи исследования. В **первой главе** рассмотрено геологическое строение Джидинской зоны каледонид, история изучения палеозойского интрузивного магматизма, структурное и возрастное положение гранитоидов дархинтуйской группы. Дано подробное описание методов исследования гранитоидов. **Вторая глава** посвящена минералогическо-петрографической характеристике гранитоидов. В **третьей главе** приводится химическая и изотопная характеристика гранитоидов. В **четвертой главе** рассмотрены петрогенетические и геодинамические условия формирования гранитоидов и проведено сопоставление с близковозрастными гранитоидами Алтае-Саянской складчатой области. В **заключении** приведены результаты работы.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории геодинамики ГИН СО РАН. Автор выражает свою признательность и благодарность чл.-к. РАН И.В. Гордиенко, под научным руководством которого была закончена аспирантура и выполнена настоящая диссертационная работа. При работе над диссертацией автор пользовался также поддержкой и советами коллег по работе д.г.-м.н. А.Н. Булгатова, д.г.-м.н. А.А. Цыганкова, к.г.-м.н. Т.Т. Врублевской, к.г.-м.н. А.В. Филимонова, к.г.-м.н. В.С. Климук, к.г.-м.н. Д.А. Орсоева, к.г.-м.н. Г.С. Риппа, к.г.-м.н. В.Б. Хубанова, к.г.-м.н. Р.А. Бадамыреновой, Д.В. Гороховского, Е.А. Хромовой, Н.И. Ласточкина, В.С. Ланцевой, Т.А. Гонегер. Автор благодарен М.Ш. Бардиной, оказавшей помощь в подготовке графических приложений. Аналитическая информация, которая приводится в диссертации, была получена специалистами-аналитиками ГИН СО РАН Б.Ж. Жалсараевым, Р.Ж. Ринчиновой, В.Ф. Посоховым, В.С. Канакиным, Г.Н. Загузиным, Е.В. Ходыревой, А.А. Цыреновой, Г.И. Булдаевой, И.В. Боржоновой, И.В. Бардамовой, Л.А. Левантуевой, Т.И. Казанцевой, а также сотрудниками ИГГД РАН В.П. Ковачем, А.Б. Котовым и Аналитического центра СО РАН А.В. Травинным, за что автор им очень благодарен.

КРАТКИЙ ОЧЕРК СТРОЕНИЯ ДЖИДИНСКОЙ ЗОНЫ КАЛЕДОНИД

Район исследований охватывает центральную часть Джидинской зоны каледонид (рис. 1), которая в качестве самостоятельной структурно-формационной единицы выделена по находкам археоциат в вулканогенно-осадочных отложениях верховий р. Джиды [Беличенко, 1963]. Позднее установлено, что зона имеет продолжение в Северную Монголию, где также были найдены остатки археоциат [Благоднаров, Зайцев, 1972]. В дальнейшем в этом районе описаны породы офиолитовых комплексов, указывающих на океаническую природу Джидинской зоны [Ильин, 1982]. Также было показано, что Джидинская зона имеет покровно-складчатое строение [Томуртоого, 1989; Гордиенко, 1994]. К аналогичным выводам пришли исследователи, изучавшие Джидинскую зону Юго-Западного Забайкалья и Северной Монголии [Беличенко, 1985; Гордиенко, 1987; Альмухамедов и др.,

1989, 1996; Кузьмин и др., 1995; Гордиенко и др., 2007] и в ней фиксируются восемь тектонических покровов [Альмухамедов и др., 1996].

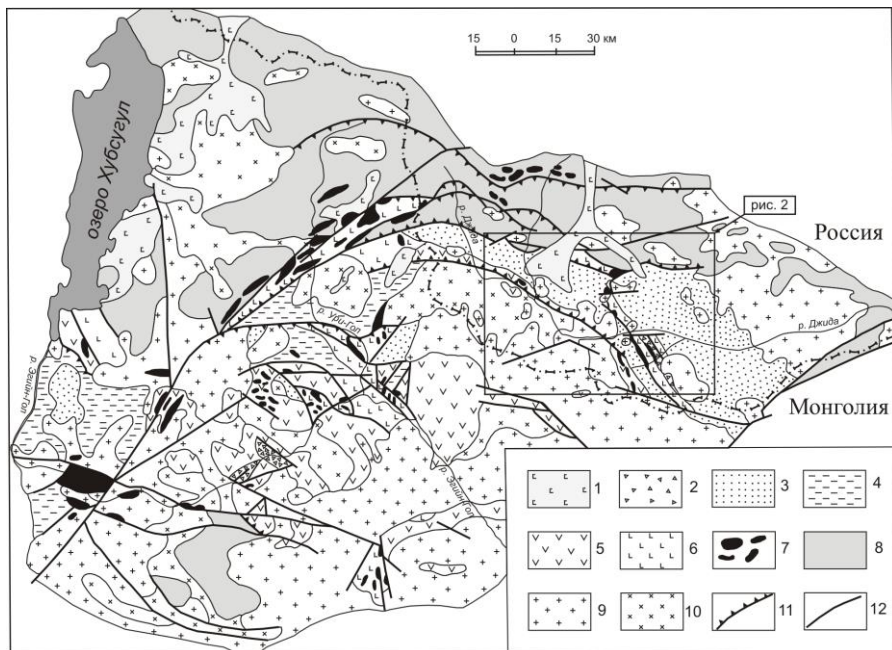


Рис. 1. Схема геологического строения Джидинской зоны каледонид (Северная Монголия, Юго-Западное Забайкалье) [Гордиенко, 1994; Альмухамедов и др., 1996]. Условные обозначения: 1- кайнозойские базальты; 2- олистострома (O-S?); 3- флишиодные (терригенно-карбонатные, граувакковые, олигомиктовые) отложения (Є3-O); 4- кремнисто-карбонатные и калькаренистые отложения (Є1-2); 5- известково-щелочная вулканическая серия с бонинитами (V-Є1); 6- базальтовые серии (V-Є1); 7- ультрабазиты и габброиды в серпентинитовом меланже (R3); 8- доверхнерифейские метаморфические образования; 9- раннеордовикские и раннепермские гранитоиды; 10- ранне-среднекембрийские гранитоиды; 11- крупнейшие надвижки; 12- прочие тектонические нарушения.

Большую роль в строении всех тектонических покровов зоны занимают породы офиолитовой ассоциации. Наличие среди них значительной массы серпентинитов определило возможность многочисленных глубинных срывов, перемещение горных масс на большие расстояния и формирование в конечном итоге покровно-складчатой структуры. Изучение составов вулканических формаций зоны [Кузьмин и др., 1995; Альмухамедов и др., 1996; Гордиенко и др., 2007], показало наличие пород, типичных для современных океанов. Выделено три серии вулканитов: 1) толеитовые базальты срединно-океанического типа, которые характеризуют

спрединговые зоны; 2) известково-щелочная (андезит-базальтовая) ассоциация с бонинитами, типичная для островодужных систем; 3) ассоциация субщелочных высокотитанистых базитов, свойственных внутриплитовому океаническому магматизму. Эти серии вулканитов характеризуют стадию открытого океанического пространства.

В настоящее время Джидинская зона представляет собой аккреционно-коллизийный ороген, сформировавшийся при столкновении (аккреции) Джидинской островной дуги с Сибирским кратоном и закрытии окраинного бассейна [Гордиенко и др., 2007; Гордиенко и др., 2012]. Этот процесс сопровождался расчешуиванием и шарьированием литокомплексов, формированием зон тектонического меланжа и олистостром, что свидетельствует о значительной роли горизонтальных движений при формировании современной покровно-складчатой структуры в Юго-Западном Забайкалье. Среди покровно-складчатой структуры встречаются гранитоидные массивы дархинтуйской группы. В результате проведенного исследования мы пришли к выводу, что структурное положение этих гранитоидов однозначно указывает на их постскладчатую природу, они внедрялись после формирования основного структурного плана зоны.

В данной работе представлены результаты комплексных исследований геологических, геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических исследований гранитоидов дархинтуйской группы Джидинской зоны каледонид.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Первое защищаемое положение. *Гранитоиды Дархинтуйского, Барунгольского, Верхнебарунгольского массивов Джидинской зоны каледонид образуют самостоятельную дархинтуйскую группу массивов, сложенных тоналитами известково-щелочной (I-тип) серии, и сформировались в раннем ордовике в период с 489 по 477 млн лет.*

Изучением палеозойского интрузивного магматизма Джидинской зоны занимались К.А. Шалаев, П.И. Налетов, В.Л. Тихонов, Е.Н. Смолянский, В.А. Дворкин-Самарский, Е.Е. Зеленский, З.И. Петрова, А.Н. Дистанова, И.В. Гордиенко, В.Д. Баянов и др. Исследованные гранитоидные массивы рассматривались в составе раннепалеозойского джидинского интрузивного комплекса. За последние годы нами получены геологические, петрогеохимические и изотопно-геохронологические данные, свидетельствующие о неоднократном внедрении различных по вещественному составу и геодинамическим условиям формирования гранитоидных ассоциаций в Джидинской зоне в раннем палеозое [Гордиенко и др., 2006; Гордиенко и др., 2012].

Дархинтуйский (80 км²), Барунгольский (30 км²), Верхнебарунгольский (35 км²) массивы расположены в пределах центральной части Джидинской зоны и образуют самостоятельную группу массивов, названную нами

дархинтуйской (рис. 2). Вмещающими породами являются терригенно-карбонатные флишеидные отложения джидинской свиты (PZ_{1d}), которые на контактах с гранитоидами представлены плагиоклаз-диопсид-клиноцоизитовыми, плагиоклаз-роговообманково-диопсидовыми, биотит-роговообманково-плагиоклазовыми и биотит-кварц-плагиоклазовыми роговиками. Массивы сложены светло-серыми мелко-среднезернистыми и среднезернистыми тоналитами, часто порфирировидного облика. По нашим наблюдениям выделяются две фациальные разновидности тоналитов: биотит-амфиболовые (Pl-60%, Qtz-15-20%, Amph-10-15%, Bt-5-10%, Ap, Zn, Ttn, Mgt) и амфибол-биотитовые (Pl-50%, Qtz-15-20%, Bt-15-20%, Amph-5-10%, Kfs-5%, Zn, Ap, Ttn, Mgt, Aln). Дайковая серия в массивах представлена амфибол-плагиоклазовыми порфиритами (Pl-55-60%, Bt-20%, Qtz-15%, Amph-5-10%).

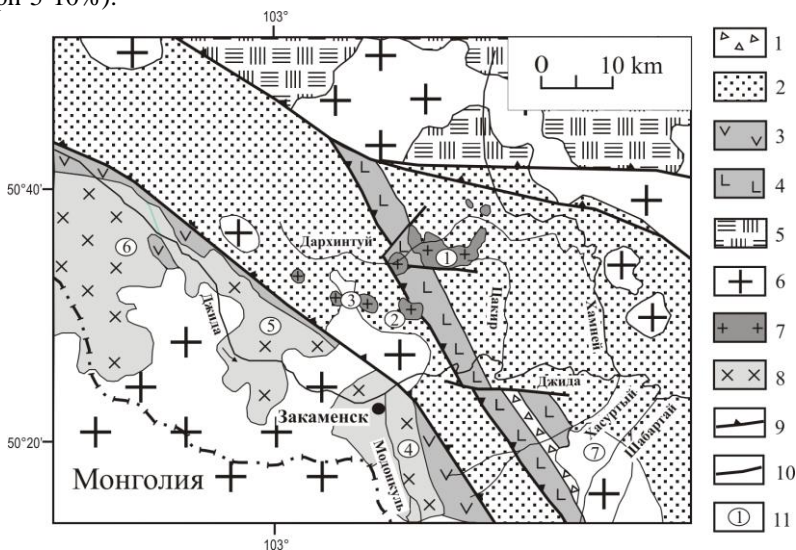


Рис. 2. Схема размещения массивов гранитоидов в Джидинской зоне (Юго-Западное Забайкалье). Условные обозначения: 1- олистострома (O-S?); 2- флишеидные отложения (Є₃-O); 3- известково-щелочная вулканическая серия (V-Є₁); 4- базальтовая серия (V-Є₁); 5- Хамардабанская зона; 6- дабанский сиенит-граносиенитовый комплекс (γЄ PZ₃); 7- гранитоиды дархинтуйской группы (γδ O₁); 8- джидинский диорит-плагиогранитный комплекс (Є₁-2); 9- разломно-сдвиговые и надвиговые зоны; 10- другие разломы; 11- массивы гранитоидов (цифры в кружках): 1- Дархинтуйский; 2- Барунгольский; 3- Верхнебарунгольский; 4- Модонкульский; 5- Шараазаргинский; 6- Купчинский; 7- Шабартайский.

Проведенный нами анализ показывает, что по химическому составу гранитоиды Дархинтуйского, Барунгольского и Верхнебарунгольского массивов однотипны и полностью отвечают семейству гранодиоритов

($\text{SiO}_2=64-68\%$; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}<7\%$). На нормативной классификационной диаграмме, где разделены тоналиты и гранодиориты, фигуративные точки располагаются в поле тоналитов. Дайки амфибол-плаггиоклазовых порфиритов по химическому составу соответствуют тоналитам (рис. 3). Содержание редкоземельных элементов в исследуемых породах относительно невысоки (71-135 г/т). В целом, отмечается наличие пониженных концентраций большинства литофильных и редких элементов (Rb, Nb, Ta, Zr, Ti, Y, TPЗЭ) и повышенных Ba, Sr относительно среднего состава континентальной коры [Rudnick, Gao, 2003]. Для вещественной систематики гранитоидов использована наиболее распространенная классификация, согласно которой они разделяются на породы толеитовой (M-тип), известково-щелочной (I-тип) и субщелочной (A-тип) серий [Chappell, White, 1974 и др.]. Изученные тоналиты относятся к породам нормального ряда натровой серии ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=3.2-4.6$). По соотношению $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ соответствуют гранитоидам низкокальциевой известково-щелочной петрохимической серии (I-тип). Индекс насыщенности алюминием (ASI) в рассматриваемых породах колеблется от 0.89 до 1.05, и располагаются в поле металюминовых и субалюминовых гранитоидов [Maniar, Piccoli, 1989], что характерно для гранитоидов I-типа.

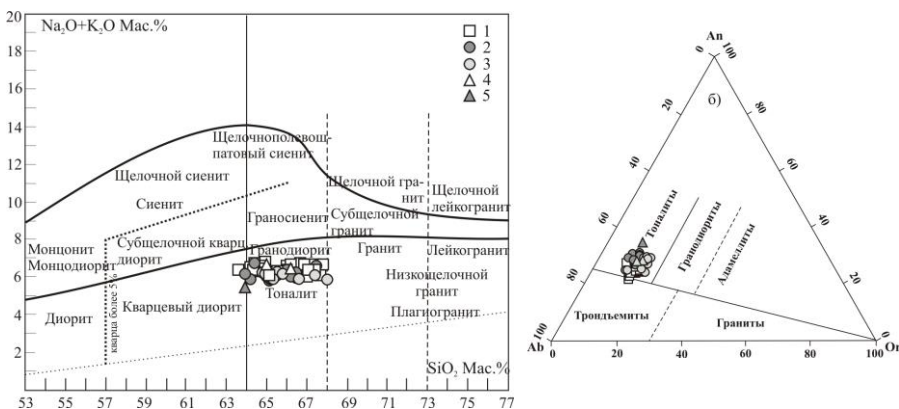


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов изученных гранитоидов.

а) классификационная диаграмма ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 , б) классификационная диаграмма Ab-An-Or [O'Connor, 1965]. Условные обозначения: 1- породы Дархинтуйского массива, 2- породы Барунгольского массива, 3- породы Верхнебарунгольского массива; 4- амфибол-плаггиоклазовый порфирит Дархинтуйского массива; 5- амфибол-плаггиоклазовый порфирит Барунгольского массива.

Обоснование возраста гранитоидов дархинтуйской группы основано на результатах изотопного датирования биотитов (Дархинтуйский массив) Ar-Ar методом и акцессорных цирконов U-Pb методом (Барунгольский,

Дархинтуйский массивы), опубликованные нами ранее [Гордиенко и др., 2012] (рис. 4, 5). На основании этих данных сделан вывод о раннеордовикском возрасте гранитоидов и формировании их в период от 489 по 477 млн лет.

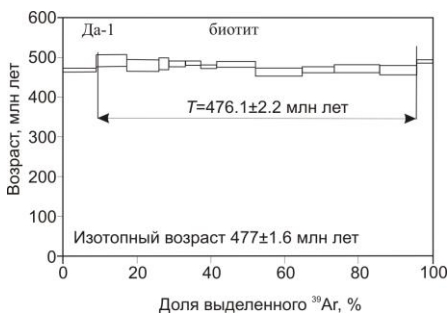


Рис. 4. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ интегральный возраст и возраст плато по биотиту (обр. Da-1) тоналитов Дархинтуйского массива.

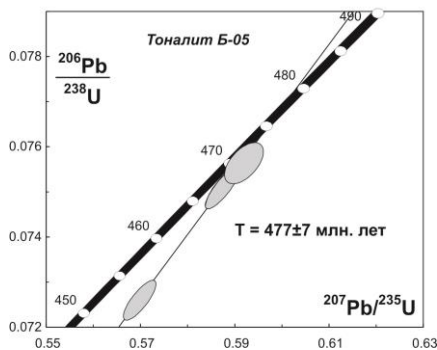
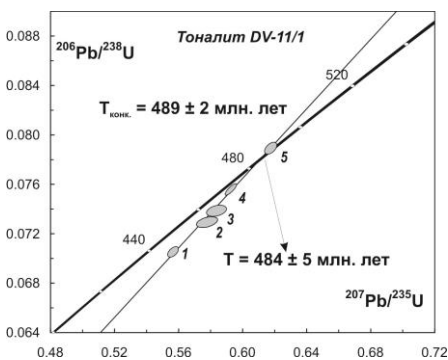


Рис. 5. Диаграммы с конкордией для исследованных цирконов из гранитоидов Дархинтуйского (DV-11/1) и Барунгольского (Б-05) массивов.

Второе защищаемое положение. По петрогеохимическим характеристикам тоналиты относятся к плагиогранитоидам высокоглиноземистого типа. Образование исходных расплавов тоналитов происходило в результате частичного плавления мафического (метабазитового) источника в нижнекоровых условиях.

В современной литературе наиболее активно обсуждаются две модели формирования тоналитовых магм: фракционная кристаллизация базальтовых магм и плавление метабазитовых субстратов. Учитывая геологическое строение (отсутствие габброидных и диоритовых разностей) изученных гранитоидных массивов, а также специфику их петрохимического (гранитоиды I-типа), геохимического (отсутствует достаточно значимый отрицательный Eu-минимум ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.80-1.1$), характерный для поздних

дифференциатов мафических магм) и изотопного состава, модель кристаллизационной дифференциации базальтовых (или диоритовых) расплавов для процесса формирования раннеордовикских тоналитов не приемлема. Наиболее вероятной моделью образования тоналитовых магм считается плавление мафических субстратов. Реальность этой модели подтверждается экспериментами по плавлению амфиболитов (метабазитов) [Rapp et al., 1991; Rapp, Watson, 1995; Winther, 1996; Жариков, Ходоревская, 1993, 2006 и др.]. При сопоставлении с экспериментальными данными по дегидратационному плавлению различных коровых пород [Patino Douce, 1999], фигуративные точки тоналитов ложатся в поле амфиболитов (рис. 6).

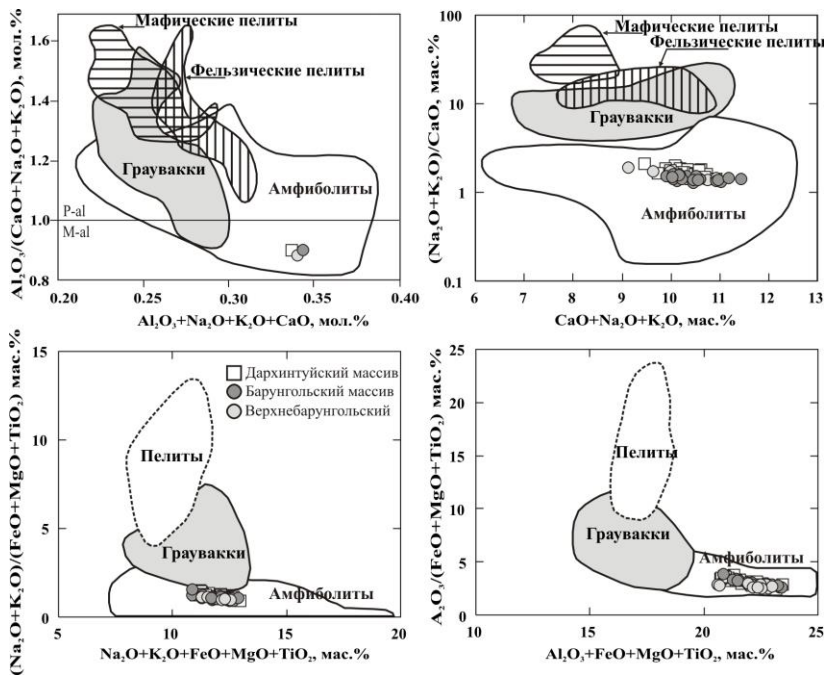


Рис. 6. Сопоставление изученных гранитоидов с экспериментальными данными, по [Patino Douce, 1999]. P-al и M-al – пер- и металлюминиевые гранитоиды.

Гранитоиды изученных массивов по петрографическому составу и петрохимическим характеристикам относятся к гранитоидам I-типа. В соответствии с вещественными характеристиками, I-тип гранитоидов разделяется на низкоглиноземистые и высокоглиноземистые, что подразумевает, в первую очередь, различия их по *P-T*-условиям образования и тектонической позиции [Арт, 1983; Drummond, Defant, 1990; Beard, Lofgren, 1991; Rapp, Watson, 1995; Туркина, 2000; Martin et al., 2005; Руднев, 2013]. Раннеордовикские тоналиты Джидинской зоны по содержанию

индикаторных элементов $Al_2O_3 > 15$ мас.% и $Yb < 1.0$ г/т относятся к плагиогранитоидам высокоглиноземистого типа (рис. 7) [Арт, 1983; Туркина, 2000]. Сопоставление полученных данных с результатами экспериментальных работ [Туркина, 2000] показало, что изученные гранитоиды дархинтуйской группы могли быть сформированы в интервале P - T условий от 15 кбар, $950^\circ C$ до 16 кбар $1040^\circ C$ за счет частичного плавления мафического субстрата и/или 13 кбар, $900^\circ C$, $H_2O = 5.12$ мас.% при плавлении с добавлением воды.

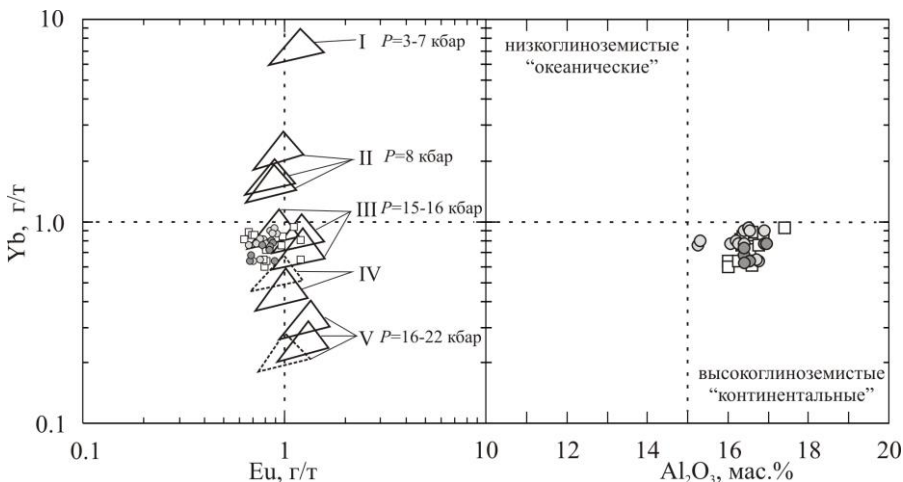


Рис. 7. Диаграммы Yb - Eu и Yb - Al_2O_3 (по: [Туркина, 2000; Арт, 1983]), показывающие принадлежность тоналитов к высокоглиноземистому типу и их модельные расплавы. Римскими цифрами обозначены области составов тоналит-трондjemитовых магм, равновесных с геохимическими типами субстратов: I-габбровым, II- амфиболитовым, III, IV- гранат-амфиболитовым, V- эклогитовым.

Для характеристики источников магм широко используется Sr и Nd изотопный состав пород. Как было показано нами ранее [Гордиенко и др., 2012] Nd изотопные характеристики указывают на рифейский модельный возраст исследованных тоналитов ($T_{Nd}(DM-2st) = 0.99-1.1$ млрд лет) и положительные или близкие к нулю величины $\epsilon_{Nd}(T) = +1.2 - +0.4$. Модельный возраст гранитоидов на 500-650 млн лет превышает возраст их образования и указывает на долгоживущий коровый субстрат. Изотопные характеристики $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7055-0.7057$ и $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.51239-0.51236$ тоналитов также позволяют заключить, что их формирование связано с плавлением нижнекорового мафического источника (рис. 8).



Рис. 8. Sr-Nd изотопные значения континентальной коры [Wilson M., 2003].

Третье защищаемое положение. Геодинамические условия формирования массивов раннеордовикских тоналитов свидетельствуют об их становлении в аккреционно-коллизивную стадию развития Джидинской зоны каледонид.

Традиционно считалось, что гранитоиды натрового состава – плагиогранитоиды (тоналиты, плагиограниты) сформировались в комплексах активных континентальных окраин, островных дуг и офиолитов [Pitcher, 1983; Pearce et al., 1984 и др.]. Вместе с тем, как показывают исследования последних лет, плагиогранитоиды встречаются в аккреционных структурах [Крылов, Лучицкая, 1999; Лучицкая, 2012] и аккреционно-коллизивных [Владимиров и др., 2003; Туркина, 2005; Куйбида, 2009; Руднев, 2012 и др.] обстановках, но также могут формироваться в результате нижнекорового плавления за счет андерплейтинга и/или подъема мантийных плюмов. Высокглиноземистые тоналит-трондьемиты плюмовой природы, ассоциирующие с магматическими образованиями, принадлежат к триаде тоналит-трондьемиты – адакиты – высокониобиевые базиты. Формирование подобной магматической триады исследователи связывают с воздействием плюма на активную окраину континентов в обстановке островной дуги и (или) области коллизии [Куйбида, 2009 и библиография там]. В пределах Джидинской зоны в настоящее время отсутствуют свидетельства раннепалеозойской плюмовой активности.

Формирование высокглиноземистых тоналитов дархинтуйской группы рассматривается в рамках двух моделей: субдукционной и аккреционно-коллизивной.

По соотношению Rb, Y, Nb изученные тоналиты попадают в поле гранитов вулканических дуг и синколлизивных обстановок (рис. 9) [Pearce J.A. et al., 1984]. В последующем, после опубликования работы Дж. Пирса с соавторами [1984], сложилось мнение, что диаграммы Дж. Пирса отражают не обстановку образования самих гранитов, а их источника [Дегтярев и др., 2005].

На дискриминационной диаграмме С.Д. Великославинского [2003], которая разделяет гранитоиды по геодинамическим обстановкам формирования, точки составов тоналитов располагаются в основном в поле коллизионных гранитов, лишь частично попадая на границу поля островодужных (рис. 10).

Как показано нами ранее [Гордиенко и др., 2007], с позднего кембрия начинается общее закрытие окраинно-морских палеобассейнов и завершение формирования Джидинской островодужной системы, превращение ее в коллизионно-аккреционный ороген. В раннем ордовике происходит утолщение коры как Джидинской островной дуги, так и окраинно-морского бассейна в результате их скупивания. Для превращения системы островная дуга-окраинное море в коллизионно-аккреционный ороген необходимо, чтобы толщина земной коры достигла 45-50 км, то есть под островной дугой она должна увеличиться в 1.2-1.5 раза, а под окраинным морем - в 3-3.5 раза [Зорин и др., 2009]. Утолщение земной коры при сжатии происходит за счет складчатости и, главным образом, за счет образования надвигов со сравнительно небольшой толщиной пластин, что наблюдается в Джидинской зоне [Кузьмин и др., 1995; Альмухамедов и др., 1996; Зорин и др., 2009].

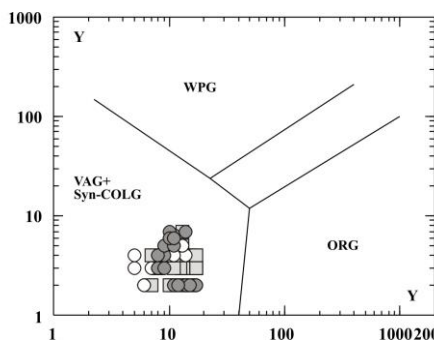
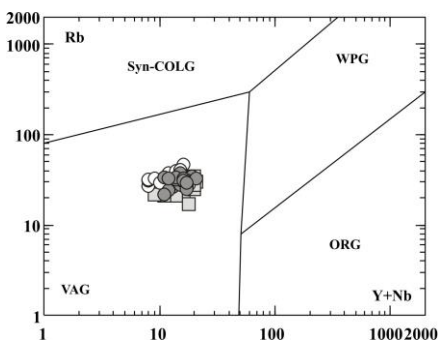


Рис. 9. Дискриминационные диаграммы Дж. Пирса Rb-(Y+Nb) и Nb-Y для исследуемых гранитоидов.

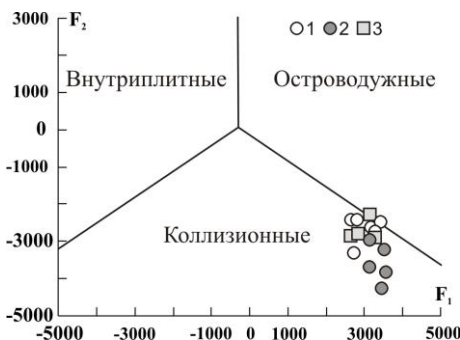


Рис. 10. Дискриминационная диаграмма для гранитоидов. F1 и F2 – дискриминантные функции, включающие как петрогенные, так и редкие и редкоземельные элементы [Великославинский, 2003]. Условные обозначения: 1- тоналиты Верхнебарунгольского массива; 2- тоналиты Барунгольского массива; 3- тоналиты Дархингуйского массива

Геологическим аргументом аккреционно-коллизивной модели является то, что массивы дархинтуйской группы прорывают флишеидные отложения и в целом покровно-складчатую структуру Джидинской зоны, тогда как субдукционные гранитоиды имеют пространственно-временную и парагенетическую связь с островодужными вулканогенными комплексами. По своему структурному положению гранитоиды являются постскладчатыми или посткинematическими (т.е. рвут смятые в складки осадочные отложения) и отличаются по составу от типичных ранних синскладчатых мигматит-гранитов и лейкогранитов [Розен и др., 2001; Кармышева, 2012]. Согласно петрогеохимической характеристике тоналитов, их формирование происходило в результате плавления мафического субстрата при $P > 12-15$ кбар, что могло реализовываться в основании коллизивно-утолщенной коры. Изотопный возраст гранитоидов (489-477 млн лет) соответствует раннему ордовику. Широкое развитие гранитоидов позднекембрийско-ордовикского этапа в Центрально-Азиатском складчатом поясе свидетельствует о крупных аккреционно-коллизивных событиях, проявленных по всему складчатому обрамлению юга Сибирской платформы [Владимиров и др., 1999; Гордиенко, 2006; Руднев, 2010 и др.] и установленных в Джидинской зоне каледонид.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных геологических, петро-геохимических, изотопно-геохимических и геохронологических данных позволяет сделать ряд выводов:

1. В Джидинской зоне каледонид проявился раннеордовикский ($489 \pm 2-477 \pm 6$ млн лет, U-Pb метод) гранитоидный магматизм. Он представлен мезоабиссальными массивами тоналитового состава – Дархинтуйским, Барунгольским, Верхнебарунгольским и рядом более мелких.

2. Сходство минералого-петрографических, петро- и геохимических особенностей пород массивов свидетельствует о формировании их из расплава, характеристики которого обусловлены составом мафического источника (метабазитовый) и условиями его плавления ($P > 12-15$ кбар).

3. Геологическое положение массивов, условия петрогенезиса и абсолютный возраст гранитоидов позволяют сделать вывод о формировании их на аккреционно-коллизивной геодинамической стадии развития каледонид Джидинской зоны, которая совпадает с аналогичными событиями, произошедшими в Алтае-Саянской складчатой области.

Проведенные исследования являются первой попыткой комплексного изучения раннеордовикского гранитоидного (тоналитового) магматизма Джидинской зоны каледонид и, конечно, требуют дальнейшего изучения. Полученные результаты позволят продвинуться в понимании строения Джидинской зоны и эволюции раннепалеозойского гранитоидного магматизма.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Гордиенко И.В., Филимонов А.В., Минина О.Р., Горнова М.А., Медведев А.Я., Климук В.С., **Елбаев А.Л.**, Томуртоого О. Джидинская островодужная система Палеоазиатского океана: строение и главные этапы геодинамической эволюции в венде-палеозое // Геология и геофизика, 2007, т.48, №1, с. 120-140.

2. Гордиенко И.В., Ковач В.П., **Елбаев А.Л.**, Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Резницкий Л.З., Яковлева С.З., Анисимова И.В. Возраст и условия формирования коллизионных гранитоидов Джидинской зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса (Юго-Западное Забайкалье) // Петрология, 2012, т. 20, №1, с. 45-65.

Публикации в других научных изданиях:

3. Хромова Е.А., **Елбаев А.Л.** Островодужные и коллизионные гранитоиды Джидинской зоны каледонид (Юго-Западное Забайкалье) // Тезисы докладов Второй Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск: Новосиб. Гос. Ун-т, 2004, с. 190-191.

4. **Елбаев А.Л.**, Гороховский Д.В. Плагииграниты Джиди-Цакирского междуречья Джидинской зоны каледонид и их роль в палеогеодинамических реконструкциях // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXI Всероссийской молодежной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2005, с. 135-136.

5. **Елбаев А.Л.** Особенности вещественного состава раннепалеозойских коллизионных гранитоидов Джидинской зоны (Юго-Западное Забайкалье) // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах: Материалы Всероссийской конференции посвященной 50-летию СО РАН и 80-летию чл.-к. РАН Ф.П. Кренделева. Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН, 2007, с. 76-79.

6. Ветлужских Т.А., **Елбаев А.Л.** Коллизионный и внутриплитный магматизм Джидинской и Удино-Витимской зон каледонид Западного Забайкалья // Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов: Материалы I международной конференции. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008, с. 56-59.

7. **Елбаев А.Л.** Петрология высокоглиноземистых гранитоидов Джидинской зоны палеозой (Юго-Западное Забайкалье) // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания с участием зарубежных ученых. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010, т. 1, с. 219-220.

8. **Елбаев А.Л.** Петрология раннепалеозойских гранитоидов Джидинской зоны (Юго-Западное Забайкалье) // Геология Западного

Забайкалье: Материалы всероссийской молодежной научной конференции. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. Гос. Ун-т, 2011, с. 71-74.

9. **Елбаев А.Л.** Геохимические особенности и петрогенезис раннеордовикских гранитоидов Джидинской зоны (Юго-Западное Забайкалье) // Современные проблемы геохимии: Материалы всероссийская конференция молодых ученых. Иркутск: Изд-во института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011, с. 57-60.

10. Гордиенко И.В., **Елбаев А.Л.**, Гороховский Д.В. Условия формирования островодужных и коллизионных гранитоидов на заключительных этапах развития Джидинской островодужной системы на окраине Палеоазиатского океана // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы всероссийской конференции с международным участием. Владивосток, 2011, с. 195-198.

11. **Елбаев А.Л.** Позднекаледонский гранитоидный магматизм Джидинской зоны (Юго-Западное Забайкалье) // Материалы второй всероссийской молодежной научной конференции «Геология Забайкалья». Улан-Удэ: Изд-во ФГБУН Бурятский научный центр, 2012, с. 68-71.