

На правах рукописи

ГОРЛАЧЕВА Наталья Викторовна

**ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЛЕОЗОЙСКИХ
ГРАНИТОИДОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ (ХР. ХАМАР-ДАБАН И О. ОЛЬХОН)**

Специальность 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, заведующий отделом
геохимии эндогенных процессов ИГХ
СО РАН
Антипин Виктор Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, главный научный сотрудник
ИГМ СО РАН
Владимиров Александр Геннадьевич,
г. Новосибирск

доктор геолого-минералогических наук,
профессор ИГУ
Абрамович Григорий Яковлевич,
г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Геологический
институт Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Улан-Удэ

Защита диссертации состоится **16 апреля 2014 г. в 10⁰⁰** часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а; факс: 8 (3952) 42-70-50; e-mail: korol@igc.irk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Автореферат разослан «6» марта 2014 г.

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



Г.П.Королева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. В последние годы внутриплитные гранитоиды Центральной Азии привлекали наибольшее внимание исследователей в связи с возможностью расшифровки коровых и мантийных источников в процессах гранитообразования и выявления потенциально рудоносных типов этих пород. Меньшее значение придавалось тому факту, что формирование структуры и, соответственно, магматизма в прибайкальской части Центрально-Азиатского складчатого пояса в значительной мере связано с раннепалеозойскими аккреционно-коллизийными событиями, сопровождавшими закрытие Палеоазиатского океана [Добрецов, Буслов, 2007]. Следствием этих процессов стало развитие зональных метаморфических поясов и сопровождавших их автохтонных и аллохтонных гранитоидных комплексов, которые в петролого-геохимическом отношении изучены недостаточно. Наибольшее развитие указанные комплексы получили в Южном и Западном Прибайкалье, где нами были проведены детальные геолого-геохимические исследования на примере модельных объектов раннепалеозойского гранитоидного магматизма (хр. Хамар-Дабан, Солзанский массив и Ольхонский регион, шаранурский комплекс).

Актуальность изучения гранитоидного магматизма о. Ольхон заключается в том, что ранее гранитоиды шаранурского комплекса изучались В.А. Макрыгиной и З.И. Петровой [1996], А.Г. Владимировым [2004] и другими исследователями преимущественно на территории Приольхонья, а на о. Ольхон – оставались недостаточно изученными в отношении их геохимических особенностей.

В целом, актуальность выбранной темы диссертационной работы заключается в анализе условий формирования раннепалеозойских гранитоидных комплексов Прибайкалья (на примере хамардабанского и шаранурского комплексов) с целью установления геолого-геохимических критериев коллизийных геодинамических условий их образования, вещественного состава гранитоидных пород, характера геохимической эволюции гранитоидного магматизма и источников магм. Сопоставление изучаемых гранитоидов Прибайкалья с гранитоидами древних и современных коллизийных областей (Центральная Испания, Гималаи) также поможет выявить индикаторные особенности гранитоидов, указывающие на их формирование в обстановке коллизии. В свою очередь актуальным является и установление геолого-геохимических различий исследуемых коллизийных гранитоидов в связи с их региональными геологическими особенностями.

Объекты исследования. Главными объектами исследования в работе являются раннепалеозойские гранитоидные комплексы Прибайкалья – хамардабанский (хр. Хамар-Дабан, Солзанский массив) и шаранурский (о. Ольхон). В работе рассматриваются также магматические породы о. Ольхон, которые не относятся к шаранурскому комплексу.

Цели и задачи исследования. Цели исследования: получение сравнительной изотопно-геохимической характеристики исследуемых раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья, выяснение условий формирования, а также подтверждение их коллизийной природы. Магматические породы о. Ольхон, не относящиеся к шаранурскому комплексу, изучались с целью сравнительного анализа гранитоидов различных геохимических типов на

основании петрогеохимических и геохронологических данных.

В задачи исследования входило:

1. Изучение геолого-петрографических особенностей гранитоидов шаранурского комплекса и других магматических пород (о. Ольхон), Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан) Прибайкалья, а также их взаимоотношений с метаморфическими породами регионов;

2. Проведение петрохимической и геохимической типизации палеозойских гранитоидов Прибайкалья;

3. Анализ геохронологических и изотопно-геохимических данных палеозойского гранитоидного магматизма хр. Хамар-Дабан и о. Ольхон;

4. Сравнение палеозойских гранитоидных пород Прибайкалья с коллизионными гранитоидами Гималаев и Центральной Испании.

Научная новизна работы заключается в выявлении геолого-геохимических и петрологических особенностей гранитоидов коллизионного типа Прибайкалья, а также в проведении их сравнительной характеристики с гранитоидами классической Гималайской коллизионной системы и с гранитоидами палеоколлизионной геодинамической обстановки Центральной Испании. На о. Ольхон при изучении гранитоидного магматизма было проведено геологическое картирование двух участков (район бухты Колокольня и пади Ташкиней), в результате чего выявлены различные вещественные типы магматических пород исследуемого региона и выяснены их взаимоотношения. Также в процессе исследований на о. Ольхон установлен новый геохимический тип редкометалльных бериллоносных пегматоидных гранитов.

Практическая значимость работы заключается в анализе и выявлении критериев расшифровки коллизионной природы гранитоидного магматизма и в применении полученных новых данных для целей геологической съемки. На о. Ольхон при использовании изотопно-геохимических и геохронологических данных проведено разделение шаранурского комплекса гранитоидных пород на разновозрастные типы, в результате чего этот материал может использоваться для более детальных геологических работ и геодинамических построений.

Защищаемые положения:

1) Гранитоиды шаранурского комплекса (о. Ольхон) и Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан), представленные автохтонными и аллохтонными фациями, обычно приурочены к гранитогнейсовым куполам. Продолжительность формирования гранитоидов Солзанского массива 516-490 млн. лет, шаранурского комплекса – 505-477 млн. лет. Изученные на о. Ольхон щелочные сиениты (440 ± 5 млн. лет) и редкометалльные пегматоидные граниты с Ве-минерализацией (390 ± 5 млн. лет) являются среднепалеозойскими образованиями и не должны относиться к шаранурскому комплексу.

2) Среди раннепалеозойских магматических пород хр. Хамар-Дабан и о. Ольхон выделены породы нормальной Na-щелочности (мигматиты и плагиограниты), известково-щелочные и субщелочные (К-Na гранитоиды, граносиениты и кварцевые сиениты). По петрохимическим характеристикам и вещественной эволюции раннепалеозойские К-Na гранитоиды Западного и Южного Прибайкалья близки к коллизионным гранитоидам Центральной Испании и Гималаев.

3) Геохимические данные подтверждают, что раннепалеозойские гранитоиды двух комплексов Прибайкалья имеют коровое происхождение и унаследовали свой макро- и микросостав от вмещающих хамардабанской и ольхонской сланцево-гнейсовых толщ. Граносиениты и кварцевые сиениты имеют более основной состав протолита, хотя близки по вещественным характеристикам к К-На гранитоидам шаранурского комплекса. Среднепалеозойские щелочные сиениты и редкометалльные пегматоидные граниты имеют резкие геохимические отличия от гранитоидов шаранурского комплекса, и относятся уже к внутриплитному этапу магматизма.

4) По геологическим и изотопно-геохимическим данным известково-щелочные и субщелочные гранитоиды Прибайкалья относятся к образованиям S-типа, которые формировались в геодинамической обстановке коллизии. Сравнительная геохимическая характеристика гранитоидов Прибайкалья с гранитоидами современных и древних коллизионных зон подтвердила сходство их главных вещественных особенностей и зависимость от состава протолита.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положен фактический геологический и геохимический материал, собранный автором в ходе полевых работ 2007-2013 гг. в составе экспедиционного отряда лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма (ИГХ СО РАН).

При написании работы автором было просмотрено и изучено около 200 шлифов. Используются анализы содержания порообразующих оксидов (240 анализов), редких элементов (190 анализов) и редкоземельных элементов (190 анализов), а также выполнены микронзондовые анализы для главных типов изучаемых пород. Для выполнения анализов применялись следующие аналитические методы: силикатный анализ (А.Л. Финкельштейн, Г.А. Погудина, Н.Н. Пахомова) и рентгенофлюоресцентный (Е.В. Чупарина, Т.С. Айсуева) по стандартной методике [Afonin e.a., 1992] с ошибкой 0,5-5%; щелочные элементы выполнены методом фотометрии пламени с ошибкой 5-10% (аналитики Л.В. Алтухова, С.И. Шигарова, И.М. Хмелевская), количественный спектральный анализ (О.В. Зарубина, Н.Л. Чумакова, В.А. Русакова, С.С. Воробьева), метод индукционно-связанной плазмы – ICP-MS (Е.В. Смирнова, Л.А. Чувашова), выполненные в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Данные микронзондовых анализов получены Л.Ф. Суворовой (ИГХ СО РАН). Все анализы проводились по стандартным методикам с использованием аттестованных стандартов [Geostandards..., 1994]. При датировании магматических пород использовались следующие изотопные методы: $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ (аналитик Е.Н. Лепехина, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург; аналитик Т.Б. Баянова, Геологический институт Кольского научного центра, г. Апатиты (ГИ КНЦ)).

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 3 работы в журналах из перечня изданий ВАК. Результаты исследований докладывались автором на 5-ой Сибирской Международной конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2010); конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2011); XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и

геодинамика» (г. Иркутск, 2011); Всероссийской молодежной научной конференции «Геология Западного Забайкалья» (г. Улан-Удэ, 2011); Всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» (г. Иркутск, 2011); совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (Иркутск, 2011); XVI Международном научном симпозиуме им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2012); Всероссийской научно-технической конференции «Геонаука-60. Актуальные проблемы геологии, планетологии и геоэкологии» (г. Иркутск, 2012); совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)» (г. Иркутск, 2012); Всероссийском совещании «Современные проблемы геохимии» (г. Иркутск, 2012); 3-ей международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург, 2013); конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2013).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (191 библиографическое наименование) и приложений 1, 2. Общий объем 247 страниц, включая 68 рисунков и 22 таблицы.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Автор выражает особую глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н., профессору В.С. Антипину за совместное проведение полевых работ, ценные советы и многочисленные консультации в процессе подготовки диссертации. Искреннюю признательность автор выражает д.г.-м.н. В.А. Макрыгиной за активную помощь и поддержку на всех этапах реализации данной работы, а также к.г.-м.н. Л.В. Куц за помощь в сборе и обработке полевого материала, за постоянную поддержку в ходе выполнения данного исследования.

Автор благодарна д.г.-м.н. А.Я. Медведеву, к.г.-м.н. А.С. Мехоношину, к.г.-м.н. А.Б. Перепелову за советы и консультации по диссертации, а также благодарна за сотрудничество всем аналитикам Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и за выполнение изотопных анализов в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ и в Геологическом институте Кольского научного центра.

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ КОЛЛИЗИОННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

1.1. Общие сведения о коллизионных геодинамических обстановках

Коллизионные геодинамические обстановки возникают в результате непосредственного взаимодействия литосферных блоков различной природы и любых размеров. Исследователи различают несколько типов столкновений: континент-континент, континент-террейн, континент-островная дуга, островная дуга-островная дуга, островная дуга-террейн [Кузьмин и др., 2000]. Наиболее масштабными геологическими процессами являются столкновения типа континент-континент, приводящие к формированию покровных структур и крупнейших горно-складчатых сооружений [Хаин, 1984; Кузьмин и др., 2000; Розен, Федоровский, 2001; Chappell, White, 1992; Chappell, 1999; Chappell, White,

2001; Pearce et al., 1984; Pearce, 1996]. Общая продолжительность процессов орогенеза составляет десятки миллионов лет, обнаруживая прямую зависимость от размеров коллидирующих плит, при этом на первую стадию приходится не менее 15-20 млн. лет [Владимиров и др., 2003].

Одной из наиболее характерных геологических особенностей коллизионных геодинамических обстановок является наличие гранитогнейсовых куполов, а также масштабное развитие в них гранитоидов, которые именуют также орогенными гранитоидами. Их происхождение обычно объясняют плавлением нижней коры под воздействием тепла разогретой мантии, либо в связи с внедрением высокотемпературных мантийных расплавов [Кузьмин и др., 2000; Розен, Федоровский, 2001].

Коллизионный и последующий за ним постколлизионный магматизм, обычно представлен гранитами, гранодиоритами и в меньшей мере сиенитами [Pearce et al., 1984; Pearce, 1996 и др.]. В наиболее простом случае это анатектические гранитоиды, возникающие за счет разогрева при термальной релаксации в утолщенной коре, которые по составу близки к расплаву-минимум (кварц+альбит+К-Na полево шпат+биотит), как, например, лейкограниты современной коллизионной системы Гималаев [Crawford et al., 1990 и др.].

По мнению многих исследователей, тип S-гранитов (по классификации Чаппелла и Уайта [1992]), характерный для обстановки коллизии, вероятно, возникает за счет плавления седиментогенных (вулканогенно-осадочных) пород [Whalen et al., 1987; Chappell, White, 2001 и др.]. S-граниты являются пералюминиевыми, высококалиевыми, относительно обеднены CaO, Na₂O, но имеют повышенные концентрации следующих редких элементов – Rb, Pb, Zr, фосфора, а также характеризуются пониженным содержанием тяжелых редкоземельных элементов относительно легких лантаноидов [Chappell, White, 1992]. Для гранитов S-типа характерны значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,708-0,717$ и ϵNd от -5,8 до -8,8, что является важным индикатором условий их происхождения [Chappell, White, 2001].

В данной работе для сравнения с гранитоидами Прибайкалья (шаранурский и хамардабанский комплекс) будут рассмотрены два модельных объекта коллизионных гранитоидов: Гималаи (плутон Манаслу) и Центральная Испания (батолит Авила, плутон Педробернадо).

1.2. Гималайская коллизионная система

Гималаи, представляющие собой юго-восточную часть Альпийско-Гималайского складчатого пояса, являются модельным примером современной континентальной коллизии между Индийской и Евразийской плитами [Windley, 1995; Singhel et al., 2003]. Лейкограниты являются первым проявлением анатексиса в коре Гималайской коллизии. Для этих пород характерна тесная сопряженность с андалузит-силлиманитовыми метаморфическими комплексами [Владимиров, 2003].

В геологической истории Гималайской коллизионной системы выделяются, по крайней мере, три этапа гранитообразования. Наиболее ранний, начавшийся через 25-30 млн. лет после столкновения Индийской и Азиатской плит, привел к образованию лейкогранитов Высоких Гималаев (возраст 24-20 млн. лет). Позднее, по мере продвижения Индийской литосферной плиты к северу, очаги

гранитообразования переместились в том же направлении, примерно на 100 км в Тибетские Гималаи (возраст гранитов 12-18 млн. лет) и лишь спустя еще 10 млн. лет гранитные очаги возникли еще далее, на 200 км к северу, во фронтальной части Тибета, о чем свидетельствуют геофизические данные [Розен, Федоровский, 2001].

1.3. Рудные месторождения и рудопроявления различных регионов, связанные с магматизмом в обстановках коллизии

С коллизионным магматизмом в различных регионах связаны многочисленные рудные месторождения и рудопроявления. Примером рудоносности магматизма сложных геодинамических обстановок является Евразийский металлогенический пояс Тетиса, с которым связаны месторождения медных и свинцово-цинковых колчеданных руд, порфировые, скарновые и жильные месторождения меди, скарновые и жильные месторождения полиметаллов (иногда с медью, золотом, оловом), сурьмяные и штокверковые молибденовые месторождения и др. [Металлогения..., 1984]. Для коллизионного Гималай-Тибетского горного сооружения характерно разнообразное полиметаллическое оруденение: Fe, Au, Pb-Zn, Mo, Cu-Pb-Zn, Cu-Mo, Cu-Au (террейн Лхаса); Cu, Cu-Au (террейн Цянтанг) [Yin and Harrison, 2000 и Qin et al., 2008] и др.

1.4. Гранитоиды плутона Манаслу (Центральные Гималаи)

Модельным и классическим примером континентальной коллизии является современный Гималайский пояс, в котором широко проявлен гранитоидный магматизм. Лейкогранитный плутон Манаслу является ярким примером коллизионного магматизма и первым проявлением корового анатексиса. Граниты плутона Манаслу (миоценовый возраст), являющиеся частью лейкогранитного пояса Высоких Гималаев [Harrison et al., 1998], представлены тремя типами лейкогранитов: мусковит-биотитовыми, турмалиновыми и смешанным типом (двуслюдяные турмалиновые лейкограниты) [Guillot et al., 1995]. Достаточно высокие отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [Deniel et al., 1987; Vidal et al., 1982, 1984], $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ [Vidal et al., 1982] и значения $\delta^{18}\text{O}$ [France-Lanord et al., 1988; Vidal et al., 1984], а также низкое отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ [Deniel et al., 1987; Vidal et al., 1982] указывают на то, что лейкограниты плутона Манаслу имеют коровый источник. По геологическим, петрографическим и изотопно-геохимическим признакам эти лейкограниты относятся к S-типу, и явно возникли за счет плавления сиалического материала в основании коры [England et al., 1992].

1.5. Гранитоиды батолита Авила (Центральная Испания)

Палеоколлизионной зоной, рассмотренной в данной главе, является Иберийский массив (Центральная Испания), который также характеризуется масштабным проявлением гранитоидного магматизма. Одним из самых крупных батолитов Центральной Иберийской зоны является гранит-гранодиоритный батолит Авила. В его западной части расположен плутон Педробернардо (295 млн. лет, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7123\pm 0,00375$ [Bea et al., 1994], гранитоиды которого относятся к S-типу и представлены автохтонными и аллохтонными фациями. По мнению зарубежных исследователей, граниты батолита Авила имеют сходство с гранитами современных коллизионных обстановок (граниты Манаслу, Гималаи) [Bea et al., 1994].

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ (по защищаемым положениям)

Изучение гранитоидов проведено на примере сравнительной характеристики двух палеозойских комплексов Прибайкалья – шаранурский (о. Ольхон) и хамардабанский (хр. Хамар-Дабан). Также в работе рассматриваются магматические породы о. Ольхон, которые по результатам наших исследований не принадлежат шаранурскому комплексу.

Для перечисленных объектов в работе приведена информация по геологическому строению, петрографическим особенностям разновидностей гранитоидных пород и оценке их возраста (глава 2, 3), петрохимическим (глава 4) и геохимическим характеристикам (глава 5). Проведено сопоставление исследуемых гранитоидов Прибайкалья с гранитоидами древних и современных континентальных зон коллизии – Центральной Испании и Гималаев (глава 5). Также дана информация об условиях формирования и эволюции гранитоидов Прибайкалья (о. Ольхон и хр. Хамар-Дабан) (глава 6).

Первое защищаемое положение. Гранитоиды шаранурского комплекса (о. Ольхон) и Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан), представленные автохтонными и аллохтонными фациями, обычно приурочены к гранитогнейсовым куполам. Продолжительность формирования гранитоидов Солзанского массива 516-490 млн. лет, шаранурского комплекса – 505-477 млн. лет. Изученные на о. Ольхон щелочные сиениты (440 ± 5 млн. лет) и редкометалльные пегматоидные граниты с Веминерализацией (390 ± 5 млн. лет) являются среднепалеозойскими образованиями и не должны относиться к шаранурскому комплексу.

В южном складчатом обрамлении Сибирского кратона наиболее активно проявился фанерозойский коллизионный и внутриплитный гранитоидный магматизм, представленный интрузивными комплексами с различными вещественными характеристиками. Наиболее типичными представителями коллизионного магматизма в Прибайкалье являются раннепалеозойские гранитоиды хребта Хамар-Дабан (Солзанский массив) и острова Ольхон (шаранурский комплекс), которые и являются объектами нашего исследования.

Солзанский массив (рис. 1) хр. Хамар-Дабан расположен в юго-западной части Прибайкалья и залегает в пределах узкой синклинальной структуры в бассейне р. Утулик, сложенной высокоглиноземистыми метапелитами корниловской и основными сланцами шубутуйской свит хамардабанской серии. Они претерпели зональный метаморфизм андалузит-силлиманитовой фациальной серии, изограды которого пересекают простираие пород [Шафеев, 1970]. Степень метаморфизма меняется от зеленосланцевой до амфиболитовой фации (в интервале температур 400-720°C и давлений 3,5-5,5 кбар) [Макрыгина, 1981]. Гранитоиды Солзанского массива представлены плагиогранитогнейсами, мигматитами, гранитами и лейкогранитами. Раннепалеозойские породы массива являются модельным примером геохимического типа анатектических известково-щелочных гранитоидов в центральной части хребта Хамар-Дабан. Эти породы относятся к синколлизионным образованиям, сформированным путем плавления вмещающей их сланцево-гнейсовой толщи хамардабанской серии. Восточная

часть Солзанского массива имеет геологические и петрографические признаки автохтонного залегания, а западное его окончание имеет все признаки интрузивного происхождения с зоной ороговикования кристаллических сланцев в экзоконтакте. Последние U-Pb датировки (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ) показали, что средний возраст центральных частей магматических цирконов в солзанских лейкогранитах равен 513-516 млн. лет, а краевых – 490 млн. лет [Макрыгина и др., 2013], что вполне сопоставимо с более ранними датировками, полученными Rb-Sr методом в 519 ± 26 млн. лет [Макрыгина и др., 1987].

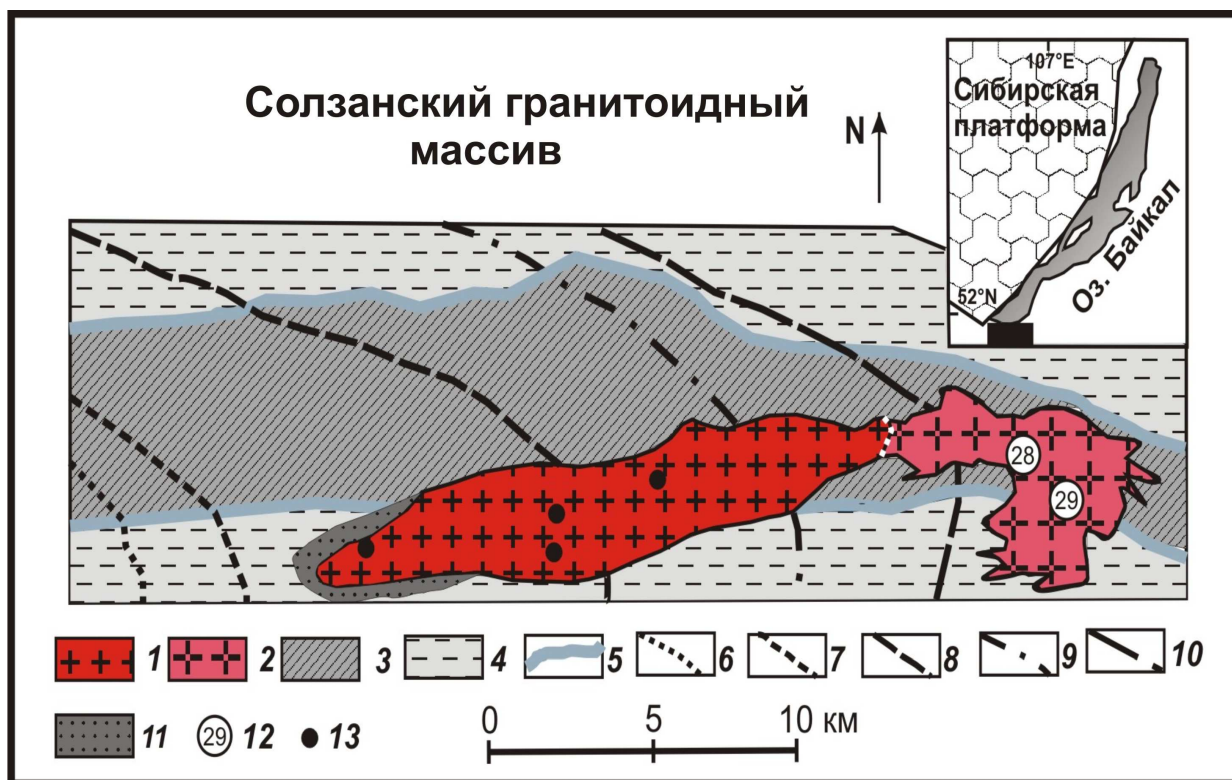


Рис. 1. Геологическая схема Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан) [Макрыгина и др., 2013]. 1 – аллохтонные граниты, 2 – параавтохтонные граниты, 3 – основные сланцы шубутуйской свиты, 4 – глиноземистые сланцы корниловской свиты, 5 – углеродистые известняки в основании шубутуйской свиты. Изограды метаморфизма: 6 – граната, 7 – андалузита, 8 – ставролита, 9 – фибролита и плагиомигматизации, 10 – ортоклаза, 11 – кордиеритовые роговики, 12 – пробы, датированные U-Pb методом на SHRIMP-II, 13 – остальные пробы гранитов. На врезке – положение района исследований.

В петрографическом отношении среди гранитоидов Солзанского массива преобладают плагиогранитогнейсы, мигматиты, биотитовые граниты, лейкограниты, двуслюдяные граниты (иногда с гранатом), гранат-биотитовые и редко турмалинсодержащие биотитовые граниты. Структуры и текстуры пород: среднезернистая или крупнозернистая, аллотриоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, порфириовидная, гранобластовая, гнейсовидная и массивная. Исследуемые породы преимущественно сложены полевыми шпатами, кварцем, слюдами (биотитом и мусковитом), в них часто встречаются зерна граната, а в качестве аксессуарных минералов обычно присутствуют: сфен, ортит, апатит, циркон, магнетит и др.

Наиболее крупномасштабные проявления гранитоидного магматизма на о. Ольхон связаны с шаранурским комплексом, который представлен как

автохтонными, так и аллохтонными фациями. Шаранурский комплекс гранитоидов впервые был выделен Е.В. Павловским и А.С. Ескиным [1964].

Наши исследования на острове Ольхон проводились в 2010-2013 гг., при этом изучались три крупных массива: Шаранурский, Ташкинейский, Юго-Западный, а также ряд небольших выходов гранитоидов в северной и юго-западной частях острова. В результате исследований установлено широкое разнообразие магматических пород на о. Ольхон, которое было нами закартировано в районе бухты Колокольня и пади Ташкиней (рис. 2).

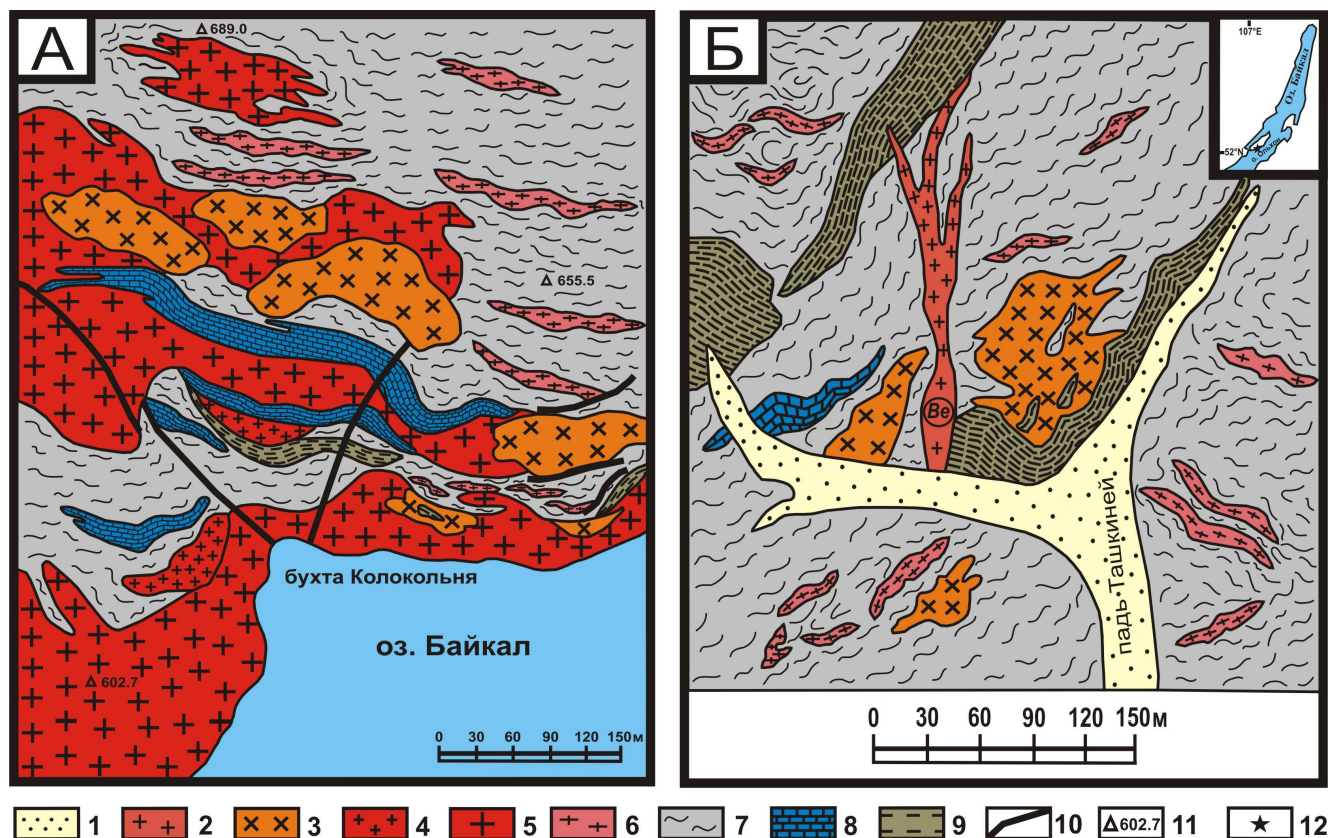


Рис. 2. Схема геологического строения юго-западной части острова Ольхон

(район бухты Колокольня, А и пади Ташкиней, Б) [Антипин, Горлачева и др., 2011-2013].

1 – четвертичные отложения, 2 – редкометалльные пегматоидные граниты, 3 – среднезернистые граносиениты, кварцевые сиениты, 4 – мелкозернистые лейкограниты, 5 – крупно- и среднезернистые часто гнейсовидные гранитоиды, 6 – плагиограниты, плагиомигматиты, 7 – средне-, крупнозернистые гнейсы, 8 – мраморизованные известняки, 9 – кристаллические сланцы, амфиболиты, 10 – разломы, 11 – отметки высот, 12 – местоположение района на острове Ольхон.

На юго-западе в районе бухты Колокольня закартированы различные по вещественному составу выходы гранитоидов (рис. 2А), залегающие среди гнейсов, иногда переслаивающихся с мраморами и кристаллическими сланцами вмещающей толщи. В гнейсах фиксируется развитие близких им по составу жильобразных тел плагиогранитов и мигматитов. Эти образования являются автохтонной фацией гранитного магматизма. Однако наибольшее распространение здесь имеют нормальные биотитовые, либо амфибол-биотитовые, иногда порфиroidные граниты, образующие довольно крупные аллохтонные массивы вдоль юго-западного побережья о. Ольхон (К-На известково-щелочные гранитоиды, являющиеся типичными представителями

гранитоидов шаранурского комплекса). Об их интрузивной природе свидетельствуют резкие контакты гранитов с породами вмещающей толщи, а также проявление небольших межпластовых тел мелкозернистых лейкогранитов, вероятно, являющихся поздними дифференциатами более крупных интрузий гранитоидов.

В районе бухты Колокольня (рис. 2А) наряду с нормальными гранитами выявлены небольшие интрузии среднезернистых граносиенитов и кварцевых сиенитов, которые пространственно сближены с К-На известково-щелочными гранитоидами шаранурского комплекса, и, по-видимому, по времени формирования близки к ним, так как не имеют зон закалки на контакте с последними. Граносиениты и кварцевые сиениты обычно пространственно сближены с шаранурскими гранитоидами и встречаются в других крупных массивах исследуемого комплекса. Например, эти субщелочные образования закартированы в верховьях пади Ташкиней, где также впервые на о. Ольхон нами было обнаружено протяженное зональное с апофизами тело крупно-среднезернистых пегматоидных гранитов с бериллиевой минерализацией в его южной части (рис. 2Б).

Наряду с установленным в процессе изучения и картирования петрографическим разнообразием гранитоидных пород о. Ольхон от мигматитов-плагиогранитов до нормальных гранитов, граносиенитов и щелочно-полевошпатовых пегматоидных редкометалльных гранитов в северной части Ольхона (мыс Будун) были исследованы щелочные сиениты, которые также ранее относились к шаранурскому гранитоидному комплексу. Массив щелочных пород обнажен недостаточно и залегает в основных гнейсах, сланцах и гранитогнейсах.

Таким образом, в процессе проведенных исследований выделены следующие вещественные типы магматических пород на о. Ольхон: 1. плагиограниты и плагиомигматиты; 2. К-На известково-щелочные и субщелочные гранитоиды; 3. граносиениты и кварцевые сиениты; 4. редкометалльные пегматоидные микроклин-альбитовые граниты с Be-минерализацией; 5. щелочные сиениты.

В петрографическом отношении среди гранитоидов шаранурского комплекса выделены следующие разновидности: плагиогранитогнейсы, мигматиты, плагиограниты, биотитовые или гранат-биотитовые граниты, лейкограниты, двуслюдяные граниты (иногда с гранатом). Структуры и текстуры пород: среднезернистая или крупнозернистая, аллотриоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, порфировидная, гнейсовидная. Типичные разновидности гранитоидов шаранурского комплекса – биотитовые граниты сложены полевыми шпатами, кварцем, слюдами (биотитом и мусковитом), в них часто встречаются крупные зерна граната, а в качестве аксессуарных минералов обычно присутствуют: сфен, ортит, апатит, циркон, магнетит.

По данным U-Pb датирования (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ) средний возраст центральных частей магматических цирконов в К-На известково-щелочных гранитоидах шаранурского комплекса равен 505 млн. лет, краевых - 477 ± 3 млн. лет [Макрыгина и др., 2011]. Другими исследователями получен возраст по граносиенитам и кварцевым сиенитам о. Ольхон в 495 ± 6 млн. лет [Гладкочуб и др., 2010], который близок по времени формирования к К-На шаранурским

гранитоидам и наряду с их пространственной близостью подтверждает генетическое родство этих известково-щелочных и субщелочных гранитоидов.

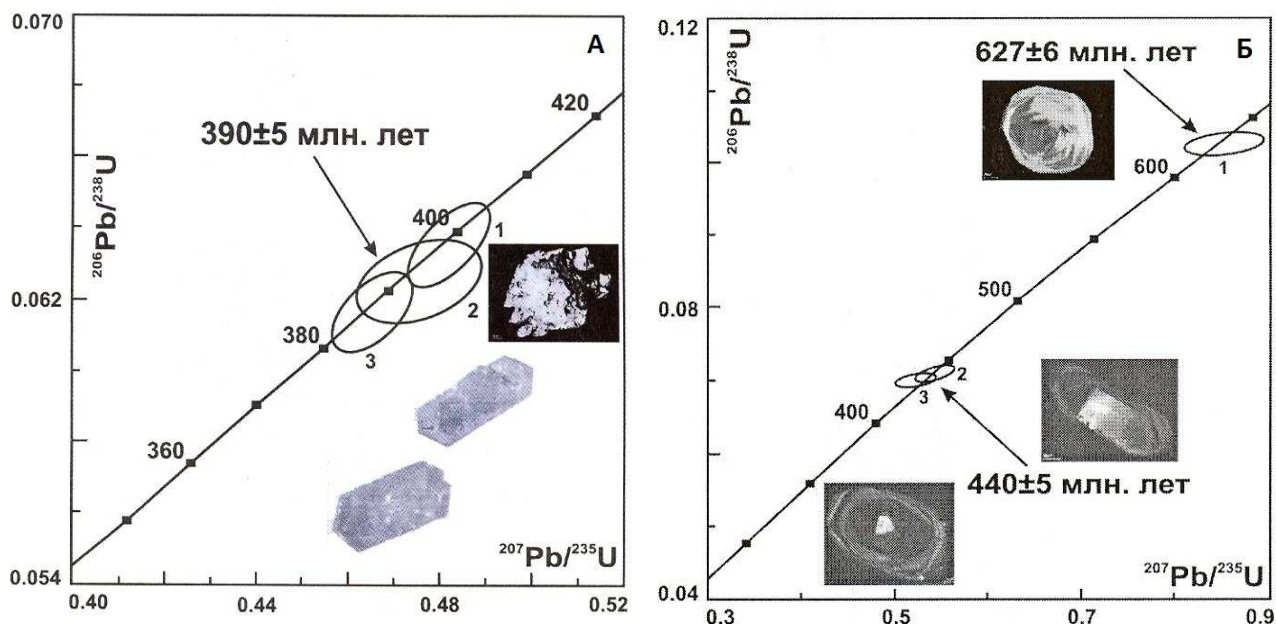


Рис. 3. U-Pb конкордии для цирконов из редкометалльных пегматоидных гранитов с Ве-минерализацией п. Ташкиной (А) и щелочных сиенитов м. Будун (Б) (о. Ольхон).

Наряду с типичными гранитоидами шаранурского комплекса о. Ольхон особое геологическое положение занимают щелочные сиениты м. Будун, а также впервые обнаруженные редкометалльные пегматоидные граниты с Ве-минерализацией. Нами получены возрастные данные для этих двух типов пород – редкометалльные пегматоидные граниты имеют возраст 390 ± 5 млн. лет, щелочные сиениты – 440 ± 5 млн. лет (SHRIMP-II, ИГ КНЦ, г. Апатиты) (рис. 3). В щелочном сиените м. Будун обнаружен ксеногенный циркон с возрастом в 627 ± 6 млн. лет, который, вероятно, попал в пробу из вмещающих пород и близок по возрасту к основным гранулитам [Макрыгина и др., 2013]. Таким образом, эти редкометалльные и щелочные породы значительно моложе и не принадлежат шаранурскому комплексу гранитоидных пород. Вероятно, они относятся уже к постколлизийному этапу внутриплитного тектогенеза.

Второе защищаемое положение. Среди раннепалеозойских магматических пород хр. Хамар-Дабан и о. Ольхон выделены породы нормальной Na-щелочности (мигматиты и плагиограниты), известково-щелочные и субщелочные (К-Na гранитоиды, граносиениты и кварцевые сиениты). По петрохимическим характеристикам и вещественной эволюции раннепалеозойские К-Na гранитоиды Западного и Южного Прибайкалья близки к коллизийным гранитоидам Центральной Испании и Гималаев.

При анализе петрохимических характеристик установлены следующие закономерности состава исследуемых магматических и метаморфических пород Прибайкалья (о. Ольхон и хр. Хамар-Дабан).

Мигматиты и плагиограниты обоих регионов относятся обычно к серии нормальной щелочности, являются существенно натриевыми породами, а по сумме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ и соотношению $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ они образуют общее поле с вмещающими их гнейсами и сланцами (рис. 4, 5).

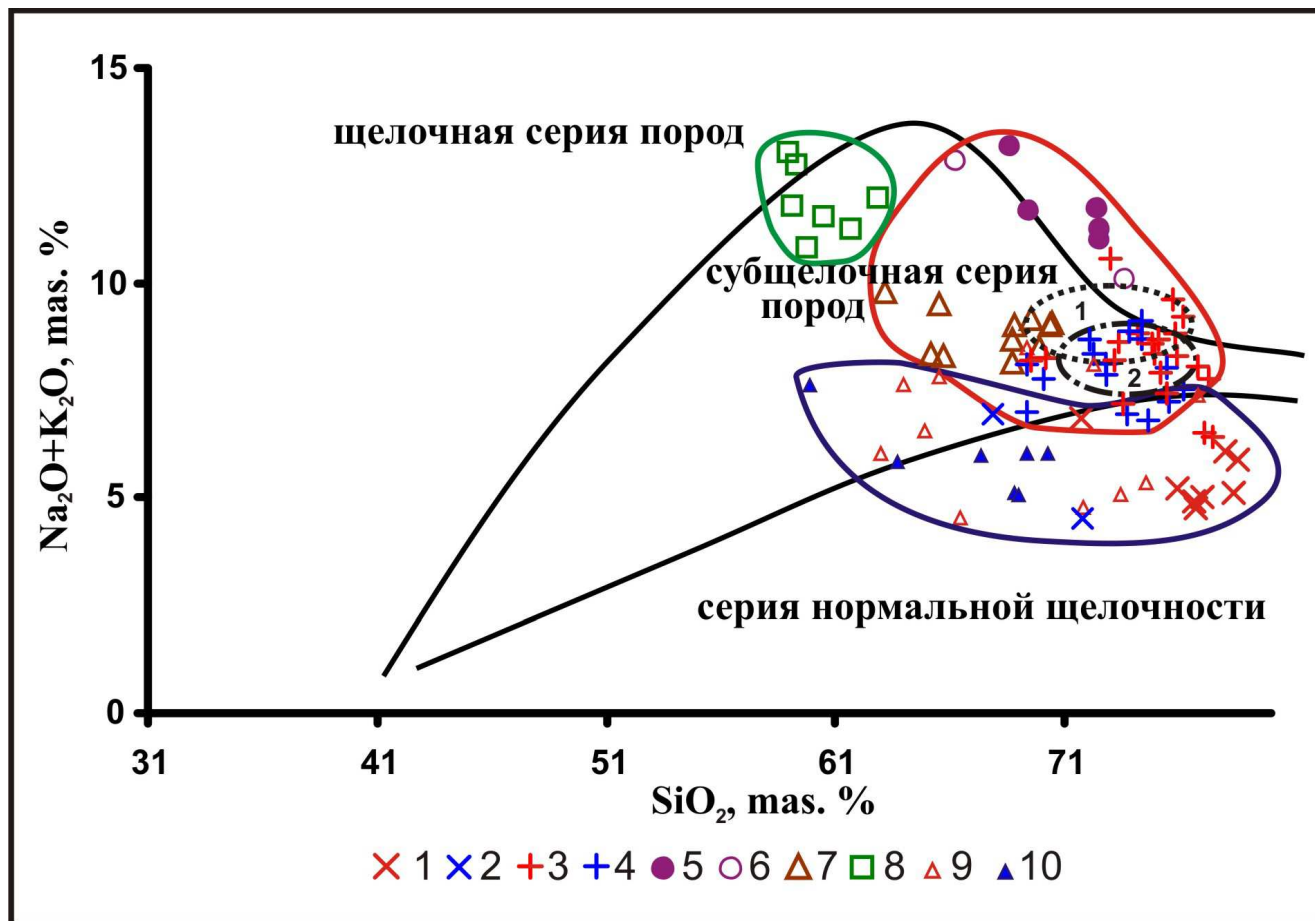


Рис. 4. Классификационная диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ для магматических и метаморфических пород Прибайкалья.

Плагиограниты, плагиомигматиты (Ольхон-1; Хамар-Дабан-2), калий-натриевые гранитоиды (Ольхон-3, Хамар-Дабан-4); Ольхон: редкометалльные пегматоидные микроклин-альбитовые граниты (5, 6); субщелочные граниты и граносиениты (7); щелочные сиениты (8). Вмещающие породы: гнейсы и сланцы (Ольхон-9, Хамар-Дабан-10); Пунктирные поля: 1 – коллизионные гранитоиды Гималайской коллизионной системы [Vidal, 1982; Guillot et al., 1995], 2 – коллизионные гранитоиды Центральной Испании [Bea, 2010].

В наиболее распространенных в Западном и Южном Прибайкалье автохтонных и аллохтонных гранитах (К-Na разновидности гранитоидов) Солзанского массива ($\text{K}_2\text{O}=2,11\text{-}6,16$; $\text{Na}_2\text{O}=2,29\text{-}4,18$) и шаранурского комплекса ($\text{K}_2\text{O}=2,57\text{-}8,3$; $\text{Na}_2\text{O}=1,62\text{-}5,37$) содержание K_2O выше, чем Na_2O , либо эти породы имеют отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ близкое к 1 (рис. 5). По составу и петрохимическим характеристикам эти граниты достаточно близки к коллизионным гранитоидам других провинций (Гималаи, Испания) и относятся к известково-щелочной, субщелочной сериям магматических пород (рис. 4, 5).

Довольно широкие вариации составов установлены в породах шаранурского комплекса и других разновидностях гранитоидов о. Ольхон, однако каждый выделенный тип пород занимает вполне определенное поле на классификационных диаграммах (рис. 4, 5). Еще ранее в работах Л.Н. Куклея также отмечалось, что граниты шаранурского комплекса имеют очень большой спектр колебаний составов как по кремнекислотности, так и по сумме щелочей [Куклей, 1988].

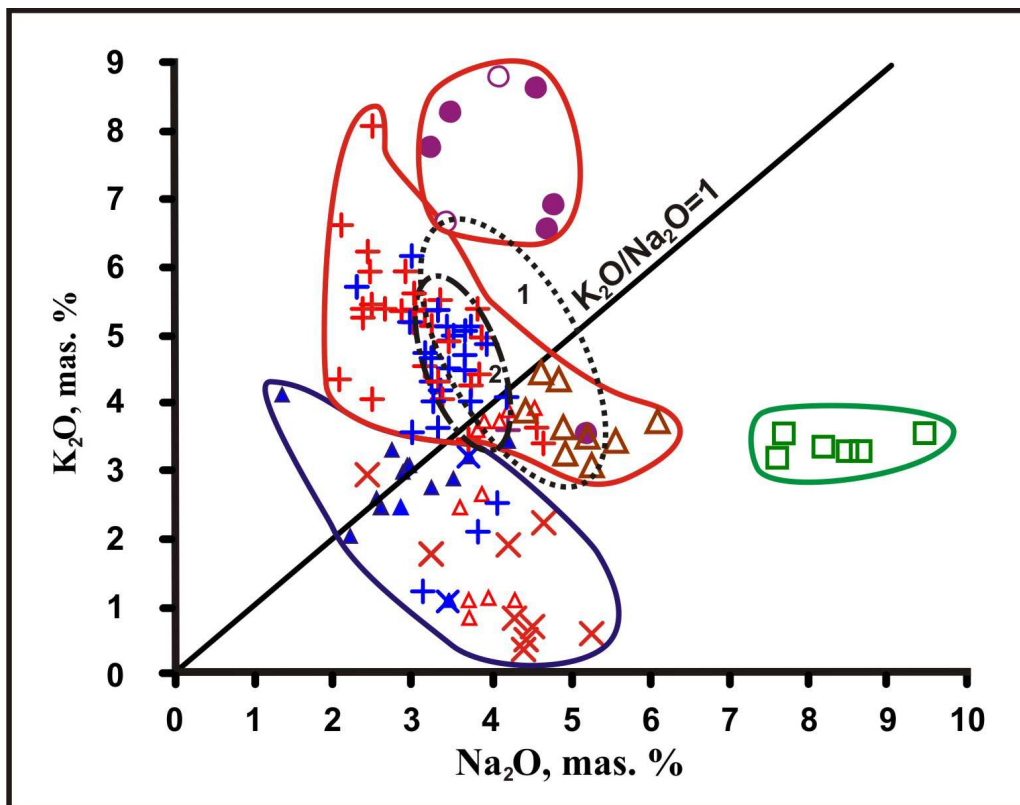


Рис. 5. Соотношение K_2O-Na_2O для магматических и метаморфических пород Прибайкалья.

Условные обозначения см. на рис. 4.

В целом, среди исследуемых гранитоидов Ольхонского региона можно выделить три группы составов пород: мигматиты и плагиограниты ($K_2O/Na_2O \geq 1$) – породы нормальной щелочности, К-Na граниты, редкометалльные пегматоидные граниты ($K_2O/Na_2O \geq 1$) и граносиениты, кварцевые сиениты ($K_2O/Na_2O \geq 1$) – субщелочные гранитоиды и щелочные сиениты ($K_2O/Na_2O > 1$). Субщелочные граносиениты и кварцевые сиениты, как правило, существенно Na породы, но на приведенных диаграммах занимают обособленное положение от полей плагиогранитов-мигматитов и щелочных сиенитов. В то же время, необходимо подчеркнуть, что граносиениты и кварцевые сиениты продолжают эволюционный тренд составов шаранурских гранитоидов известково-щелочного и субщелочного рядов, подчеркивая их пространственную и, вероятно, генетическую связь (рис. 4, 5).

Щелочные сиениты образуют отдельную группу пород (рис. 4, 5), которые имеют наиболее высокие содержания Na_2O (5,36-9,48) и одновременно обогащены K_2O (3,18-6,61), что характеризует их как высокощелочные образования, содержащие корунд и нефелин. Существенно калиевыми породами шаранурского комплекса ($K_2O=5,66-8,60$) являются обнаруженные впервые нашими исследованиями на о. Ольхон жильные пегматоидные редкометалльные микроклин-альбитовые граниты с бериллиевой минерализацией (рис. 5).

Типичные разновидности - К-Na гранитоиды шаранурского и хамардабанского комплексов являются высококалиевыми, перглиноземистыми и имеют низкие концентрации CaO , MgO , Na_2O , что является характерной особенностью состава коллизионных гранитов. На примере различных петрохимических диаграмм установлено, что в область составов преобладающих К-Na гранитоидов изучаемых комплексов Прибайкалья попадают гранитоиды современных Гималаев и палеозойской коллизионной системы Центральной

Испании, что подтверждает коллизионную природу гранитоидных пород Прибайкалья.

Третье защищаемое положение. Геохимические данные подтверждают, что раннепалеозойские гранитоиды двух комплексов Прибайкалья имеют коровое происхождение и унаследовали свой макро- и микросостав от вмещающих хамардабанской и ольхонской сланцево-гнейсовых толщ. Граносиениты и кварцевые сиениты имеют более основной состав протолита, хотя близки по вещественным характеристикам к К-На гранитоидам шаранурского комплекса. Среднепалеозойские щелочные сиениты и редкометалльные пегматоидные граниты имеют резкие геохимические отличия от гранитоидов шаранурского комплекса, и относятся уже к внутриплитному этапу магматизма.

Рассмотрение геохимических особенностей двух комплексов Прибайкалья (шаранурский комплекс – о. Ольхон, хамардабанский комплекс – хр. Хамар-Дабан) дает возможность провести геохимическую типизацию гранитоидных пород и оценить их генетические и геодинамические условия формирования.

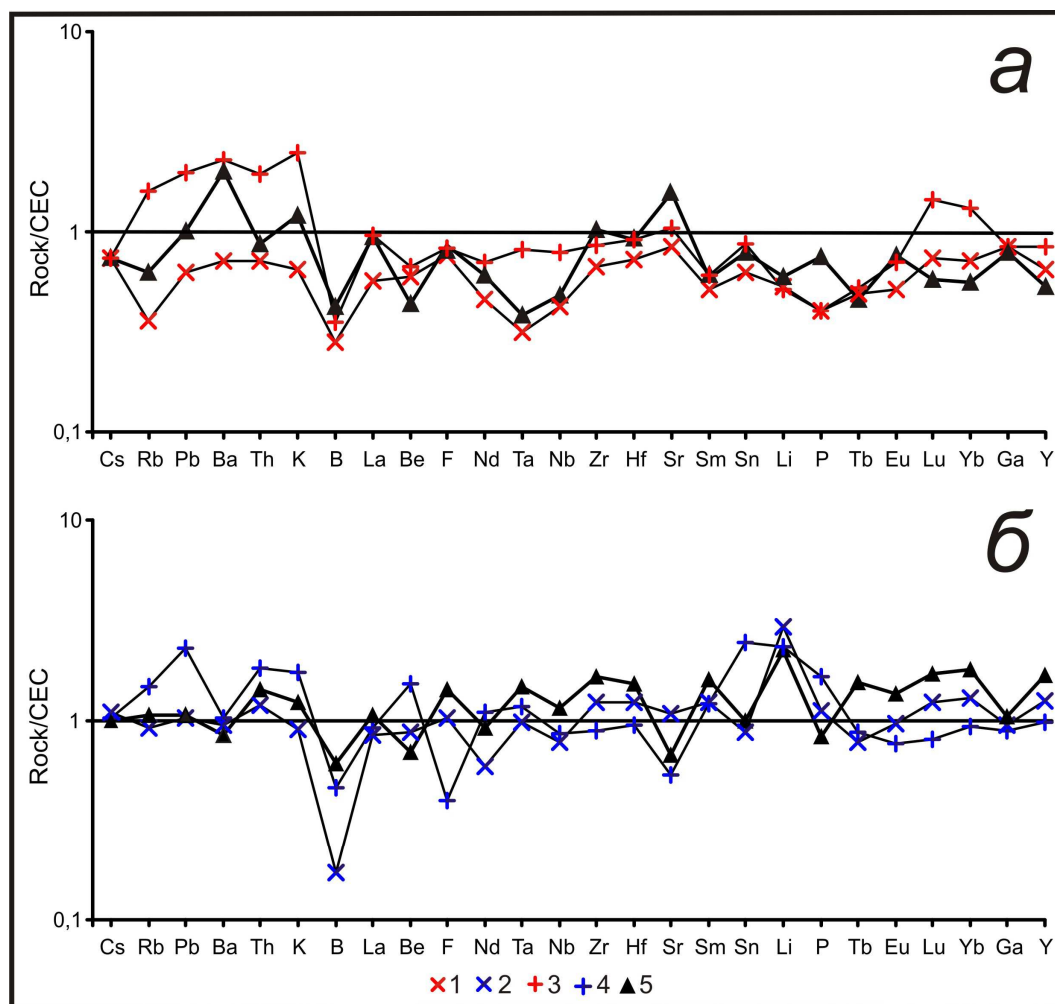


Рис.6. Спайдердиаграммы распределения редких элементов в плагиогранитах, мигматитах, гранитах и гнейсах Прибайкалья.

а) о. Ольхон: граниты (3), плагиограниты, мигматиты (1), гнейсы (5);
 б) хр. Хамар-Дабан: граниты (4), плагиограниты, плагиомигматиты (2), гнейсы (5).
 CEC – континентальная кора Восточного Китая [Gao et al., 1998].

Спайдердиаграммы показывают (рис. 6), что К-На граниты шаранурского комплекса о. Ольхон по многим элементам приближаются к среднему составу континентальной коры, но заметно обогащены – Rb, Pb, Ba, Th и K. К-На граниты Солзанского массива хр. Хамар-Дабан также по многим элементам близки к среднему составу континентальной коры, обогащены Rb, Pb, Th, K, Sn,

тяжелыми РЗЭ, но имеют пониженные концентрации В, Ф. Весьма показательно, что К-На граниты близки по составу к плагиогранитам обоих комплексов, а также к вмещающим их гнейсам, что, вероятно, говорит о близком анатектическом происхождении гранитоидов обоих типов, но из разных по составу и геохимическим особенностям коровых субстратов (рис. 6).

Что касается состава и распределения редкоземельных элементов в исследуемых породах двух комплексов, то гранитоиды и вмещающие породы Солзанского массива хр. Хамар-Дабан имеют более высокое суммарное содержание РЗЭ и имеют отрицательную Eu-аномалию, в отличие от гранитоидов и вмещающих пород шаранурского комплекса о. Ольхон. В целом, гранитоиды обоих исследованных комплексов обогащены легкими лантаноидами, относительно тяжелых РЗЭ, что их объединяет.

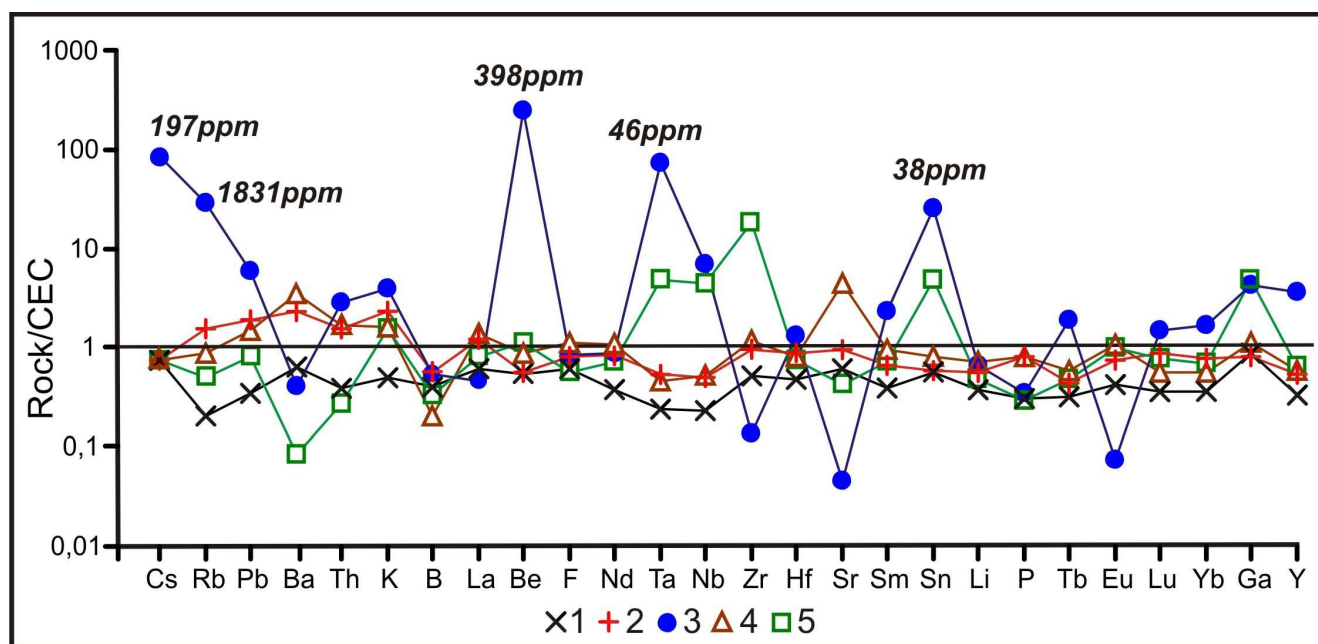


Рис. 7. Спайдердиаграмма распределения редких элементов в магматических породах о. Ольхон.

1 – плагиограниты, мигматиты, 2 – калий-натриевые гранитоиды, 3 – редкометалльные микроклин-альбитовые граниты, 4 – граносиениты и кварцевые сиениты, 5 – щелочные сиениты. СЕС – континентальная кора Восточного Китая [Gao et al., 1998].

Выделенные нами по петрографическим и петрохимическим особенностям вещественные типы магматических пород о. Ольхон отчетливо различаются по редкоэлементным характеристикам, которые отражены на спайдердиаграмме (рис. 7). Отчетливо выделяется три типа распределения редких элементов. Гранитоиды шаранурского комплекса имеют спектры распределения редких элементов, приближающиеся к характеру их распределения в средней континентальной коре. Практически полностью повторяют это распределение мигматиты и плагиограниты, но на более низком уровне концентрации редких элементов. Граносиениты и кварцевые сиениты, в которых отмечается Sr-максимум, близки по составу к К-На гранитам, что, вероятно, указывает на их генетическую связь между собой. Видно, что иным и аномальным типом распределения редких элементов обладают жильные пегматоидные

редкометалльные граниты, для которых характерны глубокие минимумы концентраций Ba, Sr, Zr и Eu. Но в то же время они резко обогащены многими литофильными элементами: Cs, Rb, Be, Ta, Nb, Sn, W, Ga, Y. Щелочные сиениты отличаются от субщелочных пород и характеризуются минимумами по Ba и Sr, но обогащены высокозарядными элементами – Ta, Nb, Zr, также Sn. В целом, по геохимическим данным установлено, что редкометалльные пегматоидные граниты и щелочные сиениты о. Ольхон резко отличаются по редкоэлементному составу от гранитоидов шаранурского комплекса, тем самым не относятся к нему и представляют отдельные геохимические типы пород.

Четвертое защищаемое положение. По геологическим и изотопно-геохимическим данным известково-щелочные и субщелочные гранитоиды Прибайкалья относятся к образованиям S-типа, которые формировались в геодинамической обстановке коллизии. Сравнительная геохимическая характеристика гранитоидов Прибайкалья с гранитоидами современных и древних коллизионных зон подтвердила сходство их главных вещественных особенностей и зависимость от состава протолита.

В работе проведен сравнительный геохимический анализ гранитоидов Прибайкалья с гранитоидами древней и современной континентальных зон коллизии – Гималаев и Центральной Испании.

Диаграмма распределения редких элементов отражает некоторые черты сходства и различия палеозойских гранитоидов Прибайкалья и Центральной Испании. В целом, все нанесенные на диаграмму геохимические данные по коллизионным гранитоидам разных регионов имеют близкие формы спектров распределения по многим редким элементам, но на разных уровнях их концентраций. Все сравниваемые граниты имеют близкие, нормированные по континентальной коре, содержания Th, K, La, высокозарядных элементов – Nb, Zr и Hf, а также Tb, Eu, Ga и Y (рис. 8).

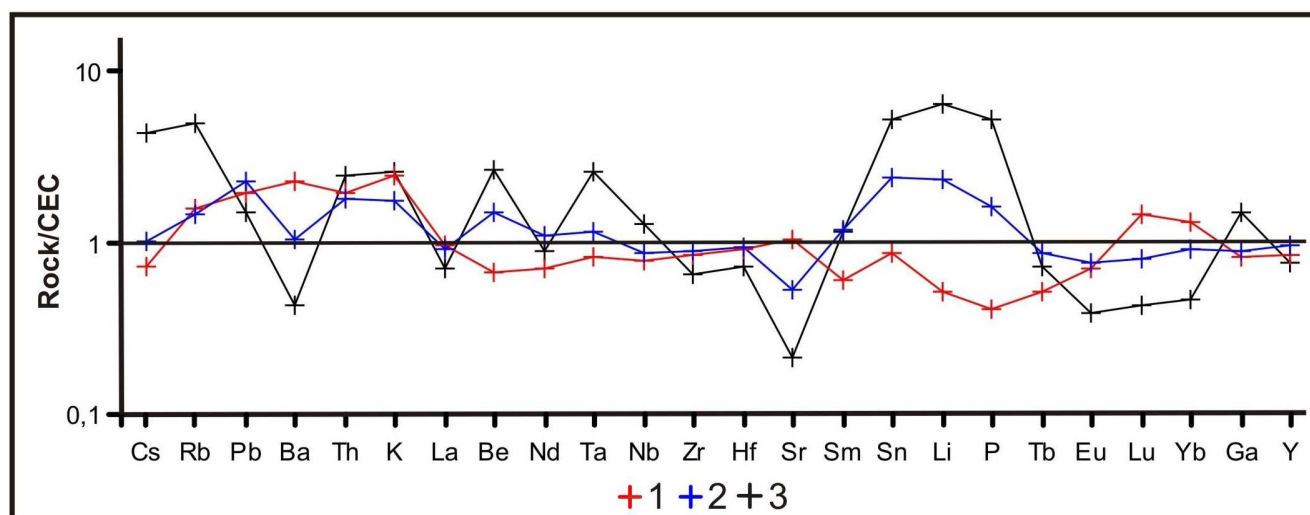


Рис. 8. Спайдердиаграмма распределения редких элементов в коллизионных гранитоидах Прибайкалья (о. Ольхон и хр. Хамар-Дабан) и Центральной Испании (батолит Авила). 1. К-Na гранитоиды шаранурского комплекса (о. Ольхон), 2. К-Na гранитоиды Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан), 3. гранитоиды Центральной Испании [Веа F., 2010]. СЕС – континентальная кора Восточного Китая [Gao et al., 1998].

Весьма показательно, что среди исследованных гранитоидов Прибайкалья наиболее близкими по редкоземельному составу к коллизионным гранитоидам Центральной Испании являются породы Солзанского массива хр. Хамар-Дабан, в отличие от гранитоидов шаранурского комплекса о. Ольхон. В хамардабанских и испанских породах одинаково отмечаются минимумы по Ba и Sr, а также максимумы по Be, кроме того происходит обогащение Sn, Li, а также фосфором, что отличает их от гранитоидов шаранурского комплекса. Считается, что для коллизионных гранитоидов весьма характерны повышенные концентрации фосфора, что мы и наблюдаем в случае для гранитоидов Солзанского массива и батолита Авила (Центральная Испания) (рис. 8).

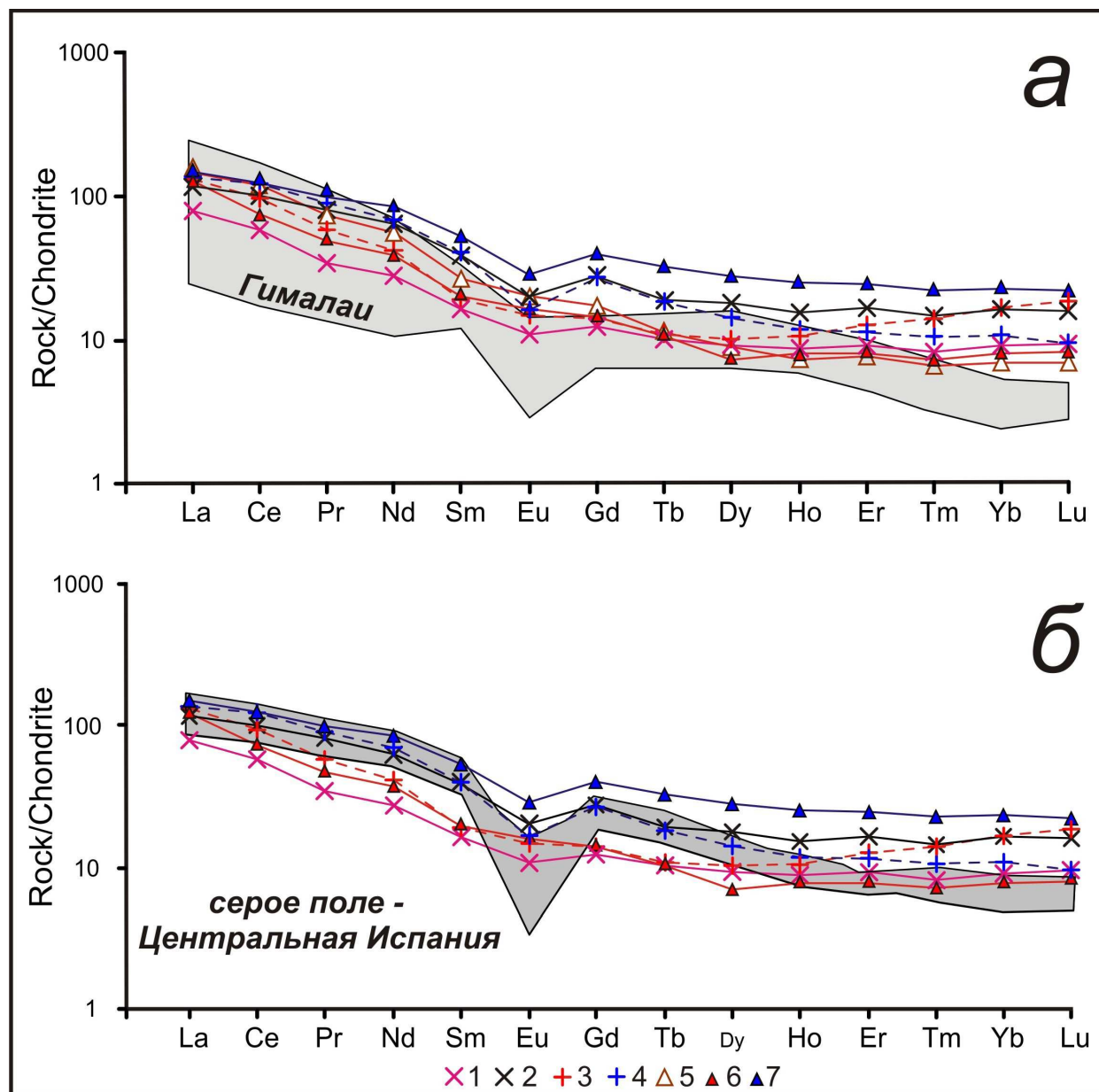


Рис. 9. Распределение редкоземельных элементов в гранитоидах и вмещающих породах Прибайкалья и коллизионных гранитоидах Гималаев (а), Центральной Испании (б). Плагииграниты, плагииомигматиты (1 – о. Ольхон, 2 – хр. Хамар-Дабан), К-Na гранитоиды (3 – о. Ольхон, 4 – хр. Хамар-Дабан) – пунктир, граносиениты и кварцевые сиениты о. Ольхон (5), гнейсы и сланцы, вмещающие гранитоиды Прибайкалья (6 – о. Ольхон, 7 – хр. Хамар-Дабан). Серым полем показано распределение РЗЭ в коллизионных гранитоидах: а – Гималаев [Crawford, Windley, 1990] и б – Центральной Испании (батолит Авила) [Bea F., 2010]. Нормирование выполнено по содержанию РЗЭ в хондрите C1 [McDonough, Sun, 1995].

На диаграмме (рис. 9а) распределение РЗЭ в гранитоидах Прибайкалья и Гималаев показывает, что гранитоиды шаранурского комплекса о. Ольхон близки к полю коллизионных гранитоидов Гималаев, особенно по содержанию легких лантаноидов. Гранитоиды Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан) по распределению РЗЭ также близки к спектру распределения этих элементов в коллизионных гранитоидах Гималаев, но на более высоких уровнях их концентраций. Породы обоих регионов характеризуются наличием Eu-минимума, что является их общей геохимической особенностью.

К породам плутона Педробернардо (Испания), являющимся наиболее дифференцированными образованиями и характеризующимися отчетливым Eu-минимумом, наиболее близки гранитоиды хр. Хамар-Дабан, однако они имеют значительно более высокие концентрации тяжелых лантаноидов. На графике видно (рис. 9б), что гранитоиды Солзанского массива имеют спектр распределения РЗЭ близкий к их спектрам в гранитоидах Центральной Испании, что, вероятно, свидетельствует о геохимическом сходстве и близком генезисе этих пород. Практически перекрываются на диаграмме спектры распределения РЗЭ в гранитоидах Испании и о. Ольхон, однако в шаранурских гранитоидах Eu-минимум проявлен слабо (рис. 9б).

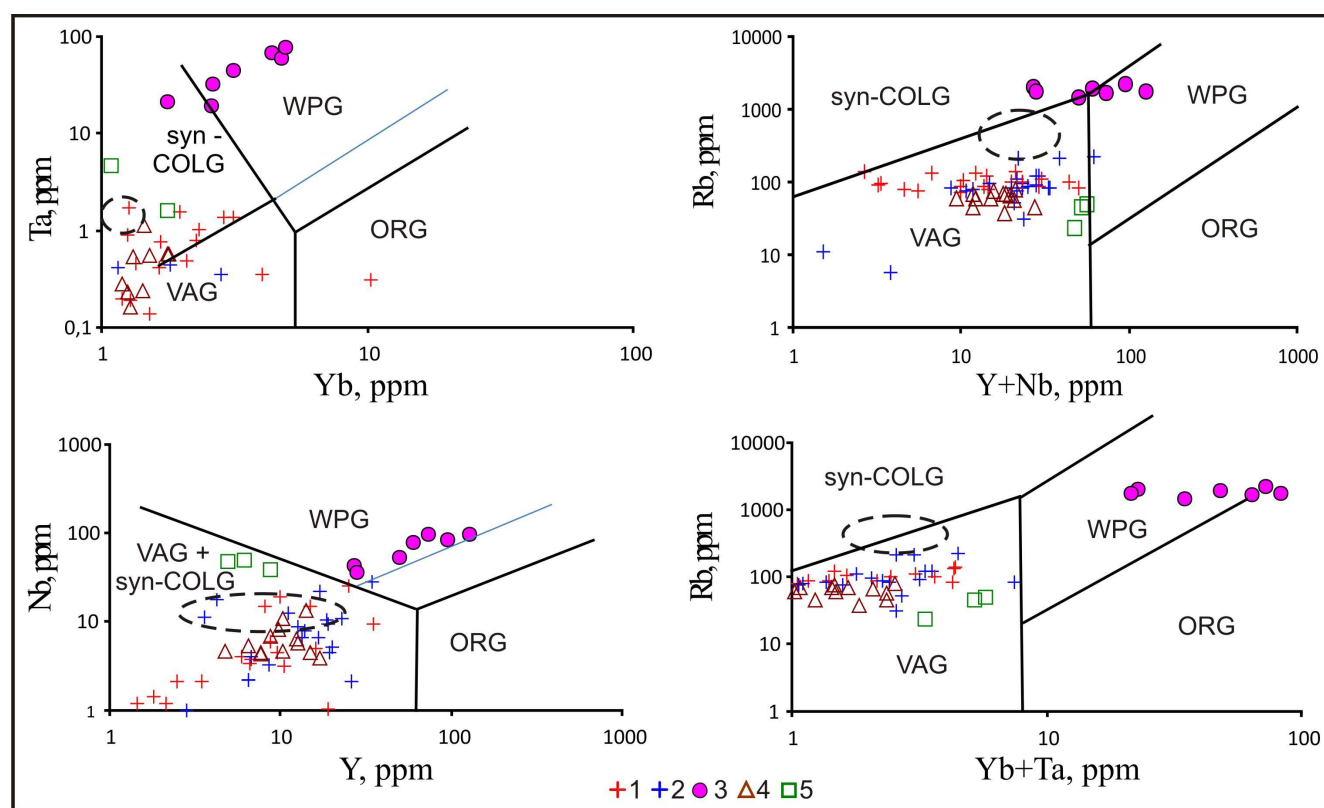


Рис. 10. Дискриминационные диаграммы Дж. Пирса [1996] Ta-Yb, Nb-Y, Rb-(Y+Nb), Rb-(Yb+Ta) для магматических пород Прибайкалья и Центральной Испании.

1. К-На гранитоиды шаранурского комплекса (о. Ольхон), 2. К-На гранитоиды Солзанского массива (хр. Хамар-Дабан), о. Ольхон: 3. редкометалльные пегматоидные граниты, 4. граносиениты и кварцевые сиениты, 5. щелочные сиениты. Пунктирные поля: коллизионные гранитоиды батолита Авила (Центральная Испания) [Bea F., 2010]. Поля: ORG – граниты океанических хребтов; WPG – внутриплитные граниты; VAG – граниты вулканических дуг; syn-COLG – синколлизионные граниты.

Подтверждение коллизионной природы раннепалеозойских К-На гранитоидов Прибайкалья (шаранурский комплекс и Солзанский массив) проведено с применением диаграмм Дж. Пирса [1996] (рис. 10), которые показывают, что наиболее распространенные К-На гранитоиды Прибайкалья в большинстве случаев попадают в область коллизионных гранитоидов, либо тяготеют к этой области. Весьма показательно, что на некоторых диаграммах, коллизионные гранитоиды Центральной Испании совпадают с полем исследуемых гранитоидов Прибайкалья. Очень важно, что гранитоиды Прибайкалья, для которых доказывается коллизионная природа, на диаграммах Дж. Пирса не попадают в область внутриплитных образований. Однако часть точек их составов тяготеет к островодужным породам. Для расшифровки этой геохимической особенности необходимы дополнительные исследования.

Граносиениты и кварцевые сиениты о. Ольхон на диаграммах попадают в область коллизионных К-На гранитоидов шаранурского комплекса. Редкометалльные пегматоидные граниты с Be-минерализацией принадлежат полю гранитоидов, формирующихся во внутриплитной геодинамической обстановке. В свою очередь щелочные сиениты находятся на границе между внутриплитными гранитоидами и гранитоидами островных дуг, но на диаграммах оторваны от синколлизионных гранитоидов шаранурского комплекса (рис. 10).

В результате проведенного сравнительного анализа геохимических характеристик изучаемых гранитоидов Прибайкалья с коллизионными гранитоидами других провинций по различным диаграммам (редкоэлементные, редкоземельные, геодинамические) были выявлены черты сходства и различия этих пород. Известно, что геохимические особенности коллизионных гранитов широко варьируют в зависимости от состава источника и степени его плавления, процессов кристаллизационной дифференциации и флюидно-магматического взаимодействия [Crawford et al., 1990]. Поэтому вполне объяснимо, что гранитоиды Прибайкалья и других коллизионных областей имеют собственные провинциальные геохимические особенности.

Нашими исследованиями установлено, что гранитоиды Солзанского массива хр. Хамар-Дабан по редкоэлементному и редкоземельному составу наиболее близки к палеозойским гранитоидам батолита Авила (Центральная Испания), в отличие от гранитоидов шаранурского комплекса. Для коллизионных гранитоидов Прибайкалья и других провинций отмечается сходная геохимическая особенность, выраженная в обогащении легкими лантаноидами относительно тяжелых, а также в присутствии небольшого Eu-минимума. Коллизионные гранитоиды, которые относятся к гранитоидам S-типа, обогащены коровыми элементами – Rb, Pb, K, Th, что характерно для исследуемых гранитоидов Прибайкалья, а также Гималаев и Испании. Согласно литературным данным коллизионные гранитоиды S-типа обогащены фосфором [Chappell, White, 1992], что отчетливо проявляется в гранитоидах Солзанского массива хр. Хамар-Дабан, а также свойственно гранитам Гималаев и особенно Испании (это их провинциальная особенность). Весьма показательно, что гранитоиды Прибайкалья, как и коллизионные гранитоиды Центральной Испании, имеют низкие концентрации летучих компонентов – В и F.

На основании проведенных сравнительных геохимических исследований показано, что источником расплавов раннепалеозойских гранитоидов шаранурского и хамардабанского комплексов, вероятнее всего, мог служить коровый субстрат, что также является критерием их образования в коллизионной геодинамической обстановке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных комплексных исследований сделаны следующие основные выводы:

1. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Прибайкалья (хр. Хамар-Дабан, о. Ольхон) проявлен в автохтонной и аллохтонной фациях и представлен породами различных геохимических типов. К-На известково-щелочные и субщелочные гранитоиды хр. Хамар-Дабан и о. Ольхон имеют геохимическое сходство и могли формироваться при анатектическом плавлении древнего сланцево-гнейсового субстрата, к которому они близки по общему химическому и редкоэлементному составу.

2. В результате сравнительной петрогеохимической характеристики коллизионных гранитоидов различных провинций выявился ряд индикаторных особенностей характерных для гранитоидов, сформированных в обстановке континентальной коллизии. Эти породы являются пералюминиевыми и высококалиевыми, имеют высокие концентрации фосфора, но низкие – СаО, MgO и Na₂O. В отношении редкоэлементного состава коллизионные гранитоиды обогащены коровыми элементами – Rb, Pb, Th и K, но иногда имеют низкие концентрации летучих элементов – В и F. В отношении редкоземельных спектров, коллизионные гранитоиды обычно обогащены легкими лантаноидами относительно тяжелых РЗЭ, и почти всегда имеют неглубокий Eu-минимум.

3. Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о том, что К-На гранитоиды Прибайкалья имеют коровый источник расплавов и относятся к образованиям S-типа, сформированным в коллизионной геодинамической обстановке, как и гранитоиды Гималаев и Центральной Испании.

4. В Ольхонском регионе в среднем палеозое коллизионный режим сменился внутриплитным, о чем свидетельствует развитие более молодых по возрасту пород – щелочных сиенитов (обогащенных Zr, Nb и REE) и впервые установленных на о. Ольхон редкометалльных пегматоидных гранитов (обогащенных Be, Rb, Cs, Ta, Nb, Sn, W).

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Антипин В.С., Горлачева Н.В., Макрыгина В.А., Куц Л.В. Состав и геохимическая типизация гранитоидов острова Ольхон (шаранурский комплекс) // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 445. – № 2. – С. 174–178.

2. Макрыгина В.А., Антипин В.С., Лепехина Е.Н., Толмачева Е.В., Горлачева Н.В. Генетические особенности и первые данные об U-Pb возрасте Солзанского гранитоидного массива, Хамар-Дабан (Прибайкалье) // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 449. – №2. – С. 210–214.

3. Антипин В.С., Горлачева Н.В., Макрыгина В.А. Раннепалеозойский коллизионный гранитоидный магматизм Прибайкалья: геологические, изотопно-

геохимические особенности и условия происхождения (Хамар-Дабан, Ольхон) // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – №2.

Тезисы и материалы конференций

1. **Горлачева Н.В.** Геохимические особенности гранитоидов шаранурского и хайдайского комплексов Ольхонского региона // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIV международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 1. – С. 93–94.

2. **Горлачева Н.В.** Раннепалеозойские гранитоиды Прибайкалья (Хамар-Дабан и Ольхонский регион): геохимия и условия образования // Материалы 5-ой Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск. 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

3. **Горлачева Н.В.,** Макрыгина В.А. Геолого-геохимические особенности гранитоидов шаранурского и хайдайского комплексов Ольхонского региона // Материалы научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о Земле. – Иркутск: ИГУ. – 2010. – С.119–120.

4. **Горлачева Н.В.** Геохимические особенности гранитоидов о. Ольхон (шаранурский комплекс) // Современные проблемы геохимии: материалы конференции молодых ученых. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2011. – С. 49–53.

5. **Горлачева Н.В.** Геологические и геохимические особенности раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья (Хамар-Дабан и Ольхонский регион) // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2011. – С. 85–86.

6. **Горлачева Н.В.** Геохимические особенности раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья (Хамар-Дабан и Ольхонский регион). Геология Западного Забайкалья: материалы Всероссийской молодежной научной конференции. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского государственного университета. – 2011. – С. 56–57.

7. **Горлачева Н.В.** Сравнительная геохимия раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья (Хамардабанский и Ольхонский регионы). Материалы ежегодной Всероссийской научно-технической конференция «Геонауки» с международным участием, посвященная 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова (8(19) ноября 1711). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2011. – С. 15–19.

8. Антипин В.С., **Горлачева Н.В.,** Макрыгина В.А., Куц Л.В. Шаранурский комплекс (о. Ольхон) – объединение различных по геохимическим особенностям и происхождению типов гранитоидов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 9. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2011. – С.18–20.

9. **Горлачева Н.В.** Сравнительная геохимия раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья (хр. Хамар-Дабан, о. Ольхон) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 1. – С. 96–98.

10. **Горлачева Н.В.** Геохимические особенности гранитоидных пород о. Ольхон (на примере б. Колокольня) // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонаука-60. Актуальные проблемы геологии, планетологии и геоэкологии». Вып. 12. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2012. – С.155–159.

11. **Горлачева Н.В.** Геохимия раннепалеозойских гранитоидов Прибайкалья и их сравнение с современными и древними коллизионными гранитоидами других регионов // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 4-й Всероссийской конференции молодых ученых. – Владивосток: Дальнаука. – 2012. – С. 128–130.

12. **Горлачева Н.В.,** Антипин В.С., Макрыгина В.А. Сравнительная петрогеохимическая характеристика палеозойских коллизионных гранитоидов Прибайкалья (о. Ольхон) и Центральной Испании (батолит Авила). Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 9. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2012. – С.63–65.

13. Антипин В.С., Макрыгина В.А., **Горлачева Н.В.** Раннепалеозойский коллизионный магматизм Прибайкалья (Хамар-Дабан, Ольхон): геохимическая типизация гранитоидов, связь с процессами метаморфизма и источники магм. Материалы Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых), посвященного 95-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2012. – В 3-х томах. – Т. 2. – С. 12–15.

14. **Горлачева Н.В.** Раннепалеозойские гранитоиды Прибайкалья (Хамар-Дабан, о. Ольхон): возраст, петрогеохимические особенности и геодинамическое положение. Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. – Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ. – 2013. – С. 366–370.

15. Антипин В.С., **Горлачева Н.В.** Эволюция палеозойского гранитоидного магматизма Прибайкалья: от коллизионных гнейсогранитов до внутриплитных редкометалльных гранитов // Гранитоиды: условия формирования и рудоносность. Научная конференция. Киев: Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко. – 2013. – С. 14–16.

16. **Горлачева Н.В.** Раннепалеозойские гранитоиды Прибайкалья (хр. Хамар-Дабан, о. Ольхон): возрастные данные и петрогеохимические особенности // Современные проблемы геохимии: Материалы конференции молодых ученых (Иркутск, 23-28 сентября 2013 г.). – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. – 2013. – С. 15–17.

17. Макрыгина В.А., Антипин В.С., **Горлачева Н.В.,** Куш Л.В. Геохимическое разнообразие кислого и щелочного магматизма Ольхонского региона, его источники и причины проявления. Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 11. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2013. – С. 163–165.

Подписано к печати 25.02.2014 г.

Формат 60*84/16. Объем 1,4 п.л. Тираж 120 экз. Заказ № 636.
Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1.