

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПРИБАЙКАЛЬСКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

Проектом предусматривалось проведение экспедиционных исследований с целью сбора материалов для решения вопросов, связанных с характеристикой разновозрастного внутриплитного и гранитоидного магматизма Прибайкалья и Забайкалья и оценки его роли в формировании и эволюции континентальной коры Центральной Азии.

Предполагалось проведение комплексных исследований, объединяющих усилия исполнителей шести проектов РФФИ из Иркутска, Москвы, Улан-Удэ и Санкт-Петербурга (04-05-64279 – рук. Воронцов А.А., 04-05-64800 – рук. Перепелов А.Б., 03-05-65341 – рук. Шадаев М.Г., 03-05-64585 – рук. Никифоров А.В., 03-05-65209 – рук. Горегляд А.В., 03-05-64579 – рук. Дриль С.И). Мы намеревались получить новые геологические данные, собрать и обработать представительные коллекции проб и образцов для геохронологических, минералогических, геохимических и изотопных исследований по таким магматическим комплексам как:

1 – позднепалеозойский-мезозойский щелочной (базальтовый, бимодальный базальт-комендитовый) вулканизм с карбонатитами Западного Забайкалья (геологическое строение опорных вулканических толщ, этапы проявления, датирование К-Аг и Rb-Sr методами);

2 – щелочногранит-сиенитовый и габбро-гранит-сиенитовый магматизм и протяженные дайковые пояса Прибайкалья и Забайкалья (состав пород, сопоставление с вулканическими толщами);

3 – верхнепалеозойский гранитоидный магматизм Большого и Малого Хамар-Дабана (геохимическая типизация, геохронология, оруденение);

4 – гранитоидные интрузии крестовского и олекминского комплексов раннепалеозойского возраста Западного Забайкалья (роль субдукционно-аккреционных и внутриплитных источников корового и мантийного вещества в формировании гранитоидных магм);

Мы также планировали собрать коллекции проб и образцов, характеризующих вмещающий гранитно-метаморфический фундамент для палеозойских интрузий с целью создания общей модели палеозойского гранитоидного магнообразования в литосфере региона и возможной взаимосвязи базитового и гранитоидного магматизма на основе геохимической и изотопной (Sr-Nd-Pb-O) систематики пород. В результате мы намеревались получить геохронологические (К-Аг и Rb-Sr), петролого-геохимические характеристики и выделить петротипы магматических комплексов территории Прибайкалья и Западного Забайкалья в широком временном диапазоне (нижний палеозой - мезозой), определить химический и изотопный состав источников магм (Sr, Nd и Pb) и установить параметры эволюции щелочного базальтового, бимодального и одновозрастного им щелочно-гранит-сиенитового и габбро-гранит-сиенитового магматизма.

ЗА ПЕРИОД ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА РЕШЕНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ЗАДАЧИ:

1) В ходе проведения разъездных и пеших маршрутов получена геологическая информация о строении и составе:

а) бимодальных базальт-комендитовых со щелочными гранитами и сиенитами позднепалеозойских-раннемезозойских вулканоплутонических ассоциаций Хамбинского, Хилокского, Удинского и Кижингинского грабенов Западного Забайкалья, а также среднепалеозойских (предположительно девонских) щелочно-риолит-гранитных магматических ассоциаций Кропоткинского хребта Восточного Саяна,

б) щелочно-гранит-сиенитовых (Харитоновский, Ермаковский, Хоринский) и Тажеранского габбро-гранит-сиенитового массива,

в) дайковых поясов, сложенных субвулканическими бимодальными трахибазальт-трахит-трахидацитовыми сериями (район р.р. Тугнуй, Уда), г) верхнепалеозойских амазонит-альбитового Биту-Джидинского и граносиенит-гранитных Хонзуртайского и Таглейского интрузивных массивов хр. Малый Хамар-Дабан, д) Кручининского интрузивного комплекса, распространенного в Западно-Становой структурно-формационной зоне Забайкалья.

2) Проведен отбор более 550 штуфных проб главных типов пород (в том числе 4 крупнообъемные (до 40 кг) по главным фазам Биту-Джидинской интрузии) и в камеральных условиях проведен полный цикл пробоподготовки для проведения комплексных геохронологических (K-Ar и Rb-Sr), геохимических и изотопно-геохимических исследований (Rb-Sr, U-Pb, Sm-Nd). Уточнены схемы геологического строения гранитоидных массивов.

В ходе выполнения проекта получены новые геологические данные о строении позднепалеозойских и раннемезозойских магматических ассоциаций в Удинском (междуречье Нарин-Тугла, Захинское, Аленское, Шубугуйское, Хандагайское вулканические поля), Кижингинском (Оротское вулканическое поле), Хамбинском (вулканические поля Харуха, Удунгинское, Барун-Галтайское), Хилокского (Гунжанское, Тухумское, Билютайское вулканические поля), Тугнуйского (Унгуркуйское вулканическое поле) грабенах Западного Забайкалья, характеризующие раннемезозойскую Северо-Монгольскую – Западно-Забайкальскую (СМЗЗ) рифтовую зону и состав развитых в ее пределах магматических ассоциаций. Показано, что СМЗЗ рифтовая зона отвечает северному флангу Хентей-Даурского зонального магматического ареала, в ее строении выделяется два сектора – Северо-Монгольский и Западно-Забайкальский (рис.1) [Воронцов, Ярмолюк, 2004], различающиеся составом развитых в их пределах магматических ассоциаций. Северо-Монгольский сектор имеет протяженность около 600 км при ширине около 120-150 км. Он прослеживается вдоль долины реки Орхон и отчетливо разделяется на два сегмента – восточный и западный. В пределах восточного сегмента распространены исключительно плутонические образования – массивы габбро-сиенит-лейкогранитовой (включая щелочные граниты) ассоциации [Коваль, 1998]. Для западного сегмента характерен ряд разных по размеру впадин (Орхонская (120x150км), Бат-Ценгельская (15x30км), Верхне-Хануйская (~30x30км) и др.), выполненных раннемезозойскими осадочными и вулканогенными образованиями. Среди вулканитов преобладают трахиандезитобазальты, базальты имеют подчиненное распространение, а трахиандезиты и трахиты встречаются в виде единичных потоков. Вулканические образования залегают на раннемезозойской коре выветривания по позднепалеозойским комплексам Хангайского прогиба, по составу они близки к поздне триасовым и раннеюрским вулканическим толщам Западного Забайкалья и поэтому относятся к той же возрастной группе. В частности, возраст базальтов Бат-Ценгельской впадины определен в 226 ± 5 млн. лет K-Ar методом. По данным П.В. Ковалья плутонические породы этого сектора формируют Орхон-Селенгинские сиенит-лейкогранитные ассоциации, возраст которых варьирует в пределах 245-186 млн. лет. [Коваль, 1998]. Западно-Забайкальский сектор представляет полосу выходов магматических пород шириной до 200 км, протянувшуюся более чем на 1000 км от восточных районов Хангай через бассейны рек Джиды, Селенга, Уда, Кудун, Тугнуй, Хилок до бассейна верхнего течения р.Витим. В раннем мезозое в пределах этой зоны были сформированы крупные вулканоплутонические структуры площадью до 2000 км², в строении которых различаются поля вулканитов трахибазальтовых и щелочно-бимодальных ассоциаций и массивы щелочных гранитов и сиенитов [Литвиновский и др., 2001, Ярмолюк и др., 2001], приуроченные к системам продольных сбросов, грабенов и горстов. Бимодальные толщи сложены трахибазальтами, комендитами-пантеллеритами, трахириолитами-трахидацитами и трахитами, традиционно относимые к цаган-хунтейской вулканогенной свите. В западной части сектора магматические породы образуют Харитоновскую ассоциацию, в восточной – Цаганхуртейскую. В Харитоновскую ассоциацию объединены магматические породы Тугнуйской впадины - Харитоновский массив субщелочных и щелочных сиенитов и гранитов (около 230 км²) и обрамляющие его вулканические толщи трахитов, щелочных трахидацитов, комендитов, а также трахибазальтов-трахиандезитобазальтов и тешенитов. В Цаганхуртейскую ассоциацию включены магматические породы Кижингинской и Цаган-Хуртейской впадин. Изохронный Rb-Sr возраст вулканитов в разных участках Тугнуйского грабена варьирует от 194 млн. лет до 215 млн. лет [Ярмолюк и др., 2000], в Цаган-Хуртейском грабене он оценивается в 209 - 212 млн. лет [Воронцов и др., 2004]. Интрузивным аналогом вулканитов цаган-хуртейской свиты являются щелочные граниты и граносиениты Малокуналейского комплекса. Возраст этих массивов, установленный Rb-Sr методом варьирует в том же диапазоне. Так, собственно граниты Малокуналейского массива имеют возраст 233 млн. лет [Шергина и др., 1979], лейкограниты и руды Оротского бериллиевого месторождения – 232-225 млн. лет [Лыхин и др., 2002], щелочные сиениты “Шток” Ермаковского месторождения – 224 млн. лет [Лыхин и др., 2001], щелочные граниты

Харитоновского массива - 221–209 млн. лет [Литвиновский и др., 1995, Ярмолюк и др., 2002], щелочные граниты между речья Витима и Каренги - 209 млн. лет назад [Ступак, 1999].

Раннемезозойские магматические ассоциации СМЗЗ рифтовой зоны обладают ярко выраженной бимодальностью по содержанию SiO_2 , статистически разбиваясь на две группы пород. К первой группе относятся породы основного состава - трахибазальты и трахиандезитобазальты (SiO_2 варьирует в интервале 44-58 мас. %). Ко второй группе принадлежат салические породы – трахиты, щелочные трахириодациты, трахириолиты, комендиты и их интрузивные аналоги (SiO_2 варьирует в интервале 61-76,5 мас. %). Все породы обладают высокой щелочностью и принадлежат в части основных пород к субщелочной серии, а в части салических – к субщелочной и щелочной K-Na ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1 - 2,5$) петрохимическим сериям. Коэффициент агапитности для комендитов и щелочных гранитов колеблется от 1,00 до 1,27.

Спектры распределения редких и редкоземельных элементов в раннемезозойских трахибазальтах близки по составу к спектрам ОИВ, принимаемых как эталон обогащенного литофильными элементами источников основных расплавов. В то же время для трахибазальтов отмечаются максимумы Ba, K и Sr, минимумы Nb и Ta, они характеризуются обогащением легкими редкими землями по отношению к тяжелым.

Все салические породы, особенно щелочные их разновидности, обогащены литофильными элементами. Для комендитов и пантеллеритов характерны максимально высокие содержания Th, U, Rb, TR, Pb, Zr, Hf, при устойчиво низких концентрациях Sr (от 10 до 65 ppm) и Ba (от 30 до 80 ppm). Накопление редкоземельных элементов в салических породах реализуется одновременно с появлением типичной Eu аномалии, определяемой фракционированием плагиоклаза. Eu минимум появляется в трахитах и увеличивается от щелочных трахириодацитов к трахириолитам и комендитам. Во всем диапазоне составов от пород основного состава к кислым наблюдаются положительные корреляции SiO_2 с K_2O , Rb, Zr, Nb, TR, La, Th, U, и отрицательные с Mg и Sr, что является признаком фракционирования минеральных фаз в дифференцируемой магматической системе и, следовательно, указывает на принадлежность рассматриваемых бимодальных ассоциаций к генетическим сериям, связанным общим составом источников первичных расплавов и условиями кристаллизационной дифференциации.

Породы магматических ассоциаций СМЗЗ рифтовой зоны не выдержаны по своим изотопным параметрам и варьируют по величинам изотопных отношений: $I \text{Sr}_0$ от 0.70123 до 0.71436, ϵNd от –4.2 до 2.8, $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$ от 17.771 до 18.343, $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}$ от 15.404 до 15.531, $\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204}$ от 37.709 до 38.266. Среди ассоциирующих с трахибазальтами щелочно-салических пород (трахитов, щелочных трахидацитов, комендитов, трахириолитов – пантеллеритов и щелочных граносиенитов) распространены такие, которые обладают геохимическими и изотопно-геохимическими связями с трахибазальтами, что позволяет рассматривать их как результат фракционирования единой исходной магмы. Эти резко различные в петрохимическом отношении породы близки по вариациям параметров $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ и ϵNd , что указывает на тождество их изотопных (Sr, Nd) источников. Однако наряду с такими породами в составе ассоциаций обычно участвуют щелочные гранитоиды и кислые вулканиты, имеющие иные изотопные характеристики и большой диапазон разброса их изотопных составов. Образование таких пород мы связываем с плавлением коровых источников, гетерогенных в отношении изотопного состава (верхнекоровых субстратов с высоким отношением $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ ($>0,7075$) и нижнекоровых субстратов, представленных породами каледонских офиолитов с характерными для океанических толеитов низкими отношениями $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ (< 0.7045)). Изотопные характеристики Pb пород отвечают эволюционным трендам, тяготеющим к линиям эволюции ураногенных свинцов ($\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204} - \text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$) в мантии и к линиям эволюции торогенных свинцов ($\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204} - \text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$) в валовом составе континентальной коры [Воронцов и др., 2003]. При этом составы пород лежат главным образом в пределах модельных полей MORB и, отчасти, внутриплитных базитов (Сибирских траппов), представительно характеризующих внутриплитный (плюмовый) мантийный источник. Эти тренды могут быть интерпретированы как линии смешения между веществом деплетированного мантийного и корового источников.

Обобщены результаты изучения позднемезозойского – кайнозойского внутриплитного магматизма Тугнуйско-Хилокского сектора Западно-Забайкальской вулканической области. Получена принципиально новая информация о возрастных рубежах вулканической деятельности, базирующаяся на многочисленных опубликованных ранее данных K-Ar и оригинальных данных Rb-Sr методов датирования, что позволило выделить несколько этапов

магматической активности и выявить тенденции и причины изменения состава магматических источников. Установлено, что позднемезозойский-кайнозойский магматизм в центральном (Тугнуйско-Хилокском) секторе Западно-Забайкальской рифтовой области характеризуется длительным развитием: магматическая активность в Тугнуйском грабене проявилась в интервале времени 158-104 млн.лет, в Хилокском грабене – 145-25 млн.лет. Расширение зоны рифтогенеза и миграция центров магматизма происходила с севера на юг. Магматические ассоциации Тугнуйского и Хилокского грабенов сложены породами повышенной щелочности: щелочными и субщелочными базальтами, тефритами, фонолитами, трахитами, трахириолитами, комендитами и пантеллеритами, щелочными сиенитами и щелочными габброидами. Формирование этих ассоциаций происходило на протяжении 10 этапов: позднеюрского (150-158 млн.лет); позднеюрского-раннемелового (138-150 млн.лет); начала раннего мела (131-145 млн.лет); середины раннего мела (114-134 млн.лет); конца раннего мела (103-114 млн.лет); конца раннего – начала позднего мела (99-102 млн.лет); позднемелового (67-90 млн.лет); эоценового (34-48 млн.лет); раннеолигоценного (30-35 млн. лет); позднеолигоценного (25-30) млн. лет (табл.1).

Столь длительное развитие магматизма в изучаемом секторе позволяет оценить эволюцию типов и составов породных ассоциаций во времени. Так, основная тенденция изменения состава магматических ассоциаций связана с направленным сокращением разнообразия пород в ассоциациях более поздних этапов развития. При несомненном преобладании основных вулканитов наиболее разнообразный состав пород характерен для ассоциаций поздней юры и конца юры - начала раннего мела. В их строении обычно присутствуют средние (трахиты) и кислые (трахидациты, трахириолиты, пантеллериты) вулканиты, которые либо образуют отдельные пакеты покровов, либо характеризуются незакономерным (контрастным) переслаиванием с основными вулканитами. Менее пестрые по составу ассоциации возникли в середине раннего мела. Кроме основных субщелочных и щелочных вулканитов они включали средне-основные щелочные (фонолиты, щелочные сиениты) породы. Со второй половины раннего мела магматизм приобрел черты однородности, и с этого времени формировались ассоциации основных вулканитов. Таким образом, возрастные вариации составов связаны с постепенным сокращением доли участия щелочных пород (вплоть до полного исчезновения) в ассоциациях более поздних этапов развития области, а также снижением величины SiO_2 в породах основного состава при росте их относительной щелочности, выраженной содержанием нормативного нефелина.

Геохимические характеристики породных ассоциаций, также как и их типы и содержания петрогенных элементов, закономерно меняются во времени. Так, базальты поздней юры и начала раннего мела, по сравнению со стандартным составом внутриплитного базальта (ОИВ), в целом обогащены литофильными элементами – Rb, K, Sr, легкими редкими землями, но особенно сильно Ba, Pb, Li, и обеднены Nb, Ta и, в меньшей степени, U и Th. Базальты конца раннего и позднего мела имеют составы промежуточные между этими породами и кайнозойскими вулканитами. Последние по своим геохимическим характеристикам в наименьшей степени обогащены названными выше элементами, и в целом аналогичны базальтам ОИВ.

Изменения геохимических и изотопно-геохимических параметров базальтоидов во времени, очевидно, связаны с последовательной сменой мантийных источников магматизма. Если на протяжении мезозоя состав источников отвечал мантийным источникам типа ОИВ - ЕМ-II, обогащенных радиогенным стронцием, то со второй половины мела изотопный состав пород стал изменяться в сторону умеренно деплетированных источников типа ОИВ – PREMA.

Получены геологические данные о строении трахириолит-комендит-щелочногранитсиенитовой ассоциации предположительно девонского возраста юго-восточного склона хр. Кропоткина Восточного Саяна на двух участках (Сайлагском и Мунгоргинском). На Сайлагском участке, расположенном в среднем течении по левому борту р. Сайлаг в пределах изометричного лавового поля на площади более 10 кв. км. прослеживается вулканическая трахириолит-комендитовая толща мощностью не менее 250 м. В северной и западной частях лавового поля она с резким угловым несогласием залегает на щелочных гранитах и сиенитах палеозойского огнитского комплекса, в южной – на раннепалеозойских плагиогранитах таннуольского комплекса, в восточной части – на позднепротерозойских габбро-диоритах, кварцевых диоритах и плагиогранитах урикского комплекса. Толща сложена серией потоков мощностью 8-12 м. красновато-бурых флюидалных трахириодацитов-трахириолитов и сине-серых комендитов, переслаивающихся с горизонтами лавобрекчий туфобрекчий, туфов и игнимбритов трахириолит-комендитового состава.

Породы, как правило, обладают порфировой структурой, во вкрапленниках комендитов отмечаются таблички щелочного полевого шпата. На Мунгоргинском участке по левому борту р. Мунгорга в строении вулcano-субвулканической ассоциации участвуют субвулканические тела экстрезивного облика, сложенные субщелочными микрогранитами, массивы щелочных сиенитов и покровы серых порфировых трахириолитов. Химический состав представительных разновидностей пород приведен в таблице 2.

В центральной части Западного Забайкалья выделены Жиримский и Удинский субпараллельные дайковые пояса, протягивающиеся с юго-запада на северо-восток в бассейнах рек Тугнуй и Уда (рис. 2). Изучено их геологическое строение и определены петрографические и петрогеохимические характеристики слагающих их пород. Установленная протяженность дайковых поясов: Жиримского – 110 км, Удинского – 70 км, ширина приблизительно одинаковая и колеблется в интервале 12-15 км. Внутреннее строение поясов довольно типоморфное, они сложены субпараллельными, субвертикальными дайками северо-восточного простирания (60-70°) мощностью от 1-2 до 20 метров. Наблюдаемая протяжённость даек от первых сотен метров до первых километров. В пределах поясов дайки занимают 10-20 % от общего объема пород, но встречаются участки, где их количество возрастает до 80-85 %, а вмещающие породы представлены узкими полосами между дайками. Контакт даек с вмещающими породами резкий, в крупных дайках, как правило, отмечается зона закалки. Нередко можно наблюдать зону закалки на контакте между различными дайками. Установлено, что магматические породы, слагающие дайки, образуют бимодальную трахибазальт-трахириолитовую ассоциацию с широким развитием сиенит-порфиров и микросиенитов.

Трахибазальты, плагиопорфириты характеризуются широкими вариациями по количеству фенокристаллов от афировых до порфировых с 40 % вкрапленников. Размер фенокристаллов от первых миллиметров до 2 – 2,5 см. Они представлены в основном слабо зональным андезит-лабрадором с 40-60 % анортита, встречаются вкрапленники клинопироксена. Базис сложен на 60-80 % полевыми шпатами: андезином (An_{32-49}) и калиевым полевым шпатом состава $Ab_{34-51} Or_{47-64} An_{0,5-1,9}$, авгит-салитом (до 15 %), титаномагнетитом (до 10 %), апатитом (1-2 %).

Трахириодациты, трахириолиты почти целиком сложены калиевым полевым шпатом и кварцем. Фемические минералы – биотит, магнетит, титаномагнетит.

Сиенит-порфиры характеризуются устойчивым внешним обликом и минеральным составом, это розовые, темно-розовые, серовато-розовые порфировые породы. Количество фенокристаллов - 15-40 %, а размер их варьирует от 2 до 12 мм. В основном это калиевый полевой шпат состава $Ab_{34-51}, Or_{47-64} An_{0,5-1,89}$, с подчиненным количеством магнезиального биотита, кислого андезина (30 % An), субфенокристаллов титаномагнетита. Базис почти полностью сложен микролейстами калиевого полевого шпата (90-95 %), промежутки, между которыми заполнены клинопироксеном, биотитом, кварцем. Составы одноименных минералов во вкрапленниках и базисе почти не различаются.

Доля даек сиенит-порфиров от общего количества даек составляет около 50-55 %, не менее 30 % даек представлены дайками основного состава. Какой-либо четко выраженной последовательности во внедрении даек в зависимости от их состава не отмечено.

На классификационной диаграмме ($Na_2O + K_2O$) – SiO_2 фигуративные точки составов основных пород располагаются в поле трахибазальтов, точки сиенит-порфиров в поле трахитов, трахидацитов, более кислых пород - в поле трахириодацитов, трахириолитов. Как видно на диаграмме, одноименные породы даек разных поясов практически не отличаются друг от друга; дайки представляют собой типичные бимодальные серии, состоящие из двух обособленных групп с содержанием SiO_2 соответственно 46-53 мас.% и 59 –73 мас.%. Эти две группы пород выделяются и на диаграммах, иллюстрирующих зависимость содержания петрогенных оксидов и ряда индикаторных элементов от SiO_2 . Закономерное изменение содержаний TiO_2 , CaO , MgO , FeO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , Sr от трахибазальтов к трахитам, трахириолитам, близкие значения Ba , Nb , Zr , Y свидетельствуют в пользу принадлежности данных пород к единым магматическим сериям. Для трахибазальтов характерны высокие содержания Ba (600-2000 г/т) и Sr (750 - 1500 г/т), Zr (100-300 г/т) и Ti (1,0 - 1,8 мас. %), что свидетельствует о повышенной щелочности основных магм. Трахириолиты даек характеризуются высокими содержаниями щелочей, достигающими 10 %. По содержанию петрогенных компонентов и микроэлементов и по индикаторным характеристикам они близки к гранитам А-типа.

Проведено комплексное геологическое и петролого-геохимическое исследование одного из наиболее крупных в Прибайкалье Биту-Джидинского редкометалльного амазонит-альбитового гранитного массива, а также Хонзуртайского и Таглейского граносиенит-гранитных массивов (Селенгинский, Джидинский и Закаменский районы Республики Бурятия). Выбор этих объектов определен принадлежностью Биту-Джидинской интрузии к особому геохимическому типу Li-F гранитоидов и постмагматических образований, которые обладают промышленными рудными концентрациями таких редких элементов как Li, Sn, Pb, Ta, Nb, Rb, Be. Другие массивы выбраны для исследований как ранее геохимически не исследованные объекты, характеризующие верхнепалеозойский гранитоидный магматизм Южного Прибайкалья.

Обнаружено и исследовано интрузивное тело-сателлит Биту-Джидинского массива, о присутствии которого ранее упоминалось в материалах геолого-съёмочных работ, но местоположение которого не было отражено на геологических картах. Площадь и объёмы коренных выходов тела-сателлита позволяют примерно на $\frac{1}{4}$ увеличить общую оценку запасов рудного сырья на месторождении в целом (включая выходы массива на территории Монголии) и на $\frac{1}{3}$ российского участка. Тело расположено вблизи северо-восточного фланга основного массива и составляет по площади 1, 2 км² (рис. 3).

На основе новой коллекции геологического материала детально охарактеризованы составы главных типов пород Биту-Джидинского интрузивного массива. Получены данные по содержаниям в породах петрогенных и некоторых редких элементов (Ba, Sr, Li, Rb, Cs, Zr, Nb, Y) (табл. 1). Установлены предельно высокие концентрации в породах Li (до 1890 ppm), Rb (до 1260 ppm), Nb (до 485 ppm). Наиболее обогащенными Li являются амазонит-альбитовые граниты, а также грейзены и вмещающие сланцы контактовой зоны массива. Установленные концентрации рудных компонентов превышают ранее известные оценки.

Установлено трехфазное строение Биту-Джидинского интрузивного массива. В отличие от построений Я.А. Косалса [Косалс, 1976], который также установил трехфазное строение массива, но сделал вывод о развитии наложенного рудоносного процесса апогранитизации по выделенным гранитоидным фазам, работы 2004 г. показали возможность на основе новых данных выделить три интрузивных фаз, последняя из которых представлена собственно рудносным амазонит-альбитовым комплексом пород. Таким образом, две ранних интрузивных фазы массива объединены в одну интрузивную фацialsными взаимоотношениями слагающих их пород, а второй фазой следует считать комплекс гранит-порфиоров, прорывающих ранний интрузивный комплекс, и который по ряду геологических признаков может считаться парагенетически близким к ранней интрузивной фазе. Наконец, третья интрузивная фаза амазонитовых гранитов, занимающая основной объем массива, демонстрирует развитие процессов магматической и постмагматической переработки пород ранних фаз. На приведенных примерах распределения составов пород на диаграммах Qtz-Ab-Or и K-Rb (рис. 4) обособленность составов попород различных фаз отчетливо просматривается.

Установлен фацialsный характер взаимоотношений между рудоносными амазонитовыми гранитами с одной стороны и альбитовыми микрогранитами с другой, что подразумевает реализацию процессов флюидно-магматического разделения вещества на рудные и безрудные фазы. Мы предполагаем, что существенно натровые обогащенные альбитом фацials рудоносной интрузивной фазы были в заметной мере перемещенными относительно уровней их формирования. Их внедрение происходило в объем раскристаллизованного амазонит-альбитового гранитоидного тела на этапе его незавершенной литификации, то есть в «горячее» вещество. При этом в качестве рабочей модели эволюции многофазного интрузивного массива предлагается разделение расплавов на рудные и безрудные фацials на более глубоких уровнях корового очага в условиях относительно высокого давления.

Геологическими наблюдениями подтверждено пластообразное залегание комплексов пород интрузии. Обнаружение на левобережье р. Правая Биту-Джида к северо-востоку от центральной части массива узкой зоны коренных развалов амазонитовых гранитов среди сланцевых толщ дает основание реконструировать пластовую интрузию с падением на С-СВ.

Задачами исследований Хонзуртайского и Таглейского интрузивных массивов были геохимическая типизация слагающих их комплексов пород, выявление условий их образования и

уточнение возрастной и палеогеодинамической позиций. В ходе работ отобрано 96 геохимических проб, установлено геолого-структурное и петрографо-минералогическое сходство Таглейского сиенит-гранитного массива и его сателлитов с Хонзуртайским массивом. Различия в величине эрозионного среза позволили полнее и глубже изучить фациальное разнообразие субщелочных гранитоидов дабанского комплекса, а также их взаимоотношения с вмещающими метаморфическими породами.

Проведено комплексное геологическое и петролого-геохимическое исследование Кручининского интрузивного комплекса, распространенного в Западно-Становой структурно-формационной зоне Забайкалья. Согласно современным легендам геологических карт, в объеме этого комплекса объединяются основные, средние и ультраосновные породы, образующие непрерывный ряд от дунитов до диоритов, которые слагают расслоенные согласные и секущие тела площадью до первых км² среди докембрийских образований и раннепалеозойских гранитоидов, прорываясь последними. Многочисленные мелкие интрузивные тела (до первых км) комплекса протягиваются полосой шириной до 100 км вдоль южной границы Западно-Становой структурно-формационной зоны, ограниченной на юге Монголо-Охотским швом.

К эталонным объектам могут быть отнесены Вершино-Дарасунская и Дибкоша-Холонгатуйская группы выходов, первая из которых входит в состав раннепалеозойского ядра Вершино-Дарасунской мезозойской вулканоплутонической структуры [Казимировский и др., 1992], а вторая представляет крупный ксенолит среди гранитоидов Нижне-Ингодинского батолита в нижнем течении р.Ингода. Небольшие по площади выходы габброидов комплекса расположены в пределах Алеурского хребта, где они также присутствуют в виде ксенолитов в раннепалеозойских гранитоидах.

Среди пород Вершино-Дарасунской группы преобладают в разной степени амфиболизированные и гранитизированные пироксен-роговообманковые диабазы и габбро-диабазы, прорванные небольшими телами среднезернистых габбро неправильной, реже дайкообразной формы. С этими габброидными ксенолитами пространственно связан Дорожнинский массив ультраосновных пород - серпентинизированных плагиоклазовых дунитов и плагиоклазовых перидотитов, троктолитов и анортозитов, слагающих ритмично-расслоенную часть интрузии [Казимировский и др., 1993].

Дибкоша-Холонгатуйская группа выходов занимает площадь около 20км². Наиболее распространенным типом пород являются мелко- среднезернистые амфиболовые габбро. В подчиненном количестве встречаются грубо переслаивающиеся средне-крупнозернистые до пегматоидных меланократовые и лейкократовые габбро с линзами крупно- до гигантозернистых горнблендитов.

В Алеурском хребте породы кручининского комплекса выходят в виде мелких ксенолитов габброидов площадью до первых км² среди раннепалеозойских гранитоидных батолитов. В пределах некоторых ксенолитов устанавливаются элементы грубой расслоенности, выраженные в чередовании лейкократовых и меланократовых разновидностей габбро с постоянными переходами между ними.

Все исследованные образования на классификационной диаграмме SiO₂-(Na₂O+K₂O) располагаются в поле серий основных пород нормальной щелочности и субщелочных. Спектры нормированных содержаний редкоземельных элементов (REE) в пироксен-амфиболовых габброидах Вершино-Дарасунской группы (рис. 5) характеризуются повышенными содержаниями легких REE, превышающих хондритовый уровень в 40-90 раз с резко дифференцированным спектром распределения редкоземельных элементов (La/Yb(N) = 4.09-4.24). Европиевые минимумы практически не проявлены (Eu/Eu*=0.87-0.98). Для кумулятивных образований (плагиоклазовых дунитов и троктолитов) характерны существенно более низкие уровни накопления всех REE (La/Yb(N) = 2.64-4.72) с европиевыми максимумами (Eu/Eu* = 1.51-3.27).

Дифференцированные габброиды Дибкоша-Холонгатуйской группы характеризуются таким же высоким уровнем накопления легких редкоземельных элементов (при La/Yb(N) = 6.19-9.86), при Eu/Eu*=1. Среди кумулятов по характеру распределения REE здесь можно выделить два типа составов. Первый тип характеризуется субгоризонтальным спектром распределения REE иногда со слабым обогащением легкими лантаноидами (La/Yb(N)=1.55-4.57 при Eu/Eu*=1.06-1.36). Кумуляты второго типа имеют значительно более высокие содержания легких REE и очень низкие - тяжелых REE, что обуславливает существенно более дифференцированный спектр их распределения (La/Yb(N)=3.76-15.23 при Eu/Eu*=1.54-3.22). Состав горнблендита по уровню накопления легких REE занимает промежуточное положение между составами габбро и кумулятов первого типа и совпадает с составами габбро в области тяжелых REE.

Уровни содержаний лантаноидов в габброидах Алеурского хребта сходны с таковыми в породах Дибкоша-Холонгатуйской группы выходов ($La/Yb(N) = 4.68-6.46$ при $Eu/Eu^*=1$). Кумулятивные образования также имеют отчетливо дифференцированные спектры распределения лантаноидов с $La/Yb(N) = 2.79-5.54$ при существенных вариациях $Eu/Eu^* = 1.07-1.67$.

Особенности редкоземельных характеристик исследованных габброидных серий показывают, что родоначальными расплавами для них являлись базальтовые магмы с повышенными уровнями концентраций редких земель, характерных для субщелочных базальтов. Основной магматизм такого типа широко распространен в геодинамических обстановках растяжения континентальной земной коры: континентальных и окраинно-континентальных рифтах. Возможно, что образования кручининского комплекса фиксируют обстановку растяжения на окраине Сибирского палеоконтинента в начале раннего палеозоя.

Исследования последнего десятилетия, в том числе геологические данные и новые K-Ar и Rb-Sr датировки показали, что вулканические области Северо-Монгольской-Забайкальской рифтовой системы в позднем палеозое, мезозое и кайнозое характеризовались длительным и многоэтапным развитием [Иванов и др., 1995, 1996; Ярмолюк и др., 1995, 1998, 2000]. Магматическая история этих областей контролировалась эволюционными тенденциями, проявившимися в вариациях состава магматических ассоциаций, изменениях во времени масштабов вулканической деятельности, а также закономерных миграциях магмовыводящих зон в пределах вулканических областей. Однако до сих пор проблемы эволюции позднепалеозойской-раннемезозойской и позднемезозойской - кайнозойской эпох магматизма этой рифтовой системы рассмотрены лишь в самых общих чертах для некоторых крупных вулканических областей. При этом многие важные характеристики магматизма, определяемые региональными и локальными условиями его проявления, в том числе вариациями состава магматических ассоциаций и особенностями рифтогенного процесса, остались нераскрытыми.

Полученные нами новые геологические данные о строении вулканоплутонических ассоциаций, в строении которых доминируют бимодальные трахибазальт-трахитовые, трахибазальт-трахириолиткомендитовые ассоциации с их щелочными интрузивными аналогами, позволили систематизировать имеющиеся данные о проявлениях щелочно-бимодального рифтогенного магматизма и наметить его этапность, что важно для понимания ряда геодинамических и региональных геологических проблем.

Впервые составлены схемы геологического строения позднепалеозойских и раннемезозойских вулканоплутонических ассоциаций на участках Нарин-Тугла, Заха, Ален, Шубугуй, Хандагай, Оротском, Харуха и Барун-Галтайском (Удинского, Кижингинского, Хамбинского грабенов) Западно-Забайкальской рифтовой области, выделены Жиримский и Удинский субпараллельные дайковые пояса. Также впервые определены условия залегания и вещественные характеристики среднепалеозойских (предположительно девонских) щелочных вулканитов кислого состава и ассоциирующих с ними щелочных-субщелочных гранитов и сиенитов на Сайлагском и Мунгоргинском участках юго-восточного склона хр. Кропоткина Восточного Саяна.

На основе исследований Биту-Джидинского, Хонзуртайского и Таглейского гранитоидных массивов подтверждены принципиальные структурные и вещественные отличия дабанских гранитоидов от интрузий раннепалеозойского островодужного джидинского гранитоидного комплекса, позволяющие предполагать их внутриплитную природу и более позднее верхнепалеозойское время становления. Обработка полученного материала позволит глубже обосновать построения А.Н. Дистановой, И.В. Гордиенко и др. о расчленении палеозойских магматических комплексов Южного Прибайкалья и и связать их формирование с процессами эволюции плюмового магмогенеза и тектоники в регионе.

В мировой геологической практике решение вопросов этапности и последовательности формирования вулканоплутонических ассоциаций в единых структурно-геологических условиях, а также генетических проблем, связанных с условиями происхождения основных и щелочно-салических пород при формировании бимодальных магматических ассоциаций базируется на анализе геологической, радиологической, петрохимической и изотопно-геохимической информации. Геологическая информация позволяет определить условия залегания, проследить взаимоотношения,

относительные объемы различных типов пород ассоциаций как в одном вулcano-плутоническом комплексе, так и сопоставить фрагменты удаленных друг от друга разрезов, а также понять общие закономерности структурного размещения разновозрастных магматических пород. Радиологическая информация дает возможность оценить абсолютный возраст пород. Петрохимическая и изотопно-геохимическая информация основывается прежде всего, на анализе минерального состава, распределения петрогенных, редких элементов и результатов измерения изотопных составов стронция, неодима и свинца. Как известно, бимодальные базальт-командит-пантеллеритовые со щелочными гранитами ассоциации нередко образуют крупные пояса, протягивающиеся на тысячи километров. Такие пояса существуют в Африке [Whalen et al., 1987; Black and Liegeois, 1993], в Европе [Bonin, 1998], в Северной Америке [Anderson, 1983], в Центральной Азии [Ярмолюк, 1983; Занвилевич и др., 1985]. Общепринятой считается точка зрения о том, что образование таких крупных поясов обусловлено процессами внутриконтинентального рифтогенеза и связано с подъемом мантийных плюмов, однако до сих пор некоторые важные геодинамические и петрогенетические аспекты этой проблемы остаются предметом дискуссии. Так, дискутируется вопрос о том, каким был режим формирования поясов. Происходило ли образование всего пояса в течение одного мощного, но кратковременного магматического этапа, как при формировании Сибирской трапповой провинции [Васильев, 1999], или оно осуществлялось в течение нескольких последовательных эпизодов, проявлявшихся одновременно на всей или большей части его территории и охватывавших промежуток времени во многие десятки миллионов лет? Возможно также, что процесс растягивался на довольно длительное время и проявлялся в закономерном изменении возраста пород по простиранию пояса, как это обычно бывает при прохождении континентальной плиты над горячей точкой.

Другой предмет дискуссии – это проблема природы субстратов, из которых выплавлялись основные и кислые магмы высокой щелочности. Были ли субстраты по своему происхождению коровыми [Allen, Chappell, 1992; Lubala et al., 1994], мантийными [Fox, 1977; Barbery et al., 1975; Brown and Becher, 1986; Bonin, 1998] или смешанными мантийно-коровыми [Dorais, 1990; Wickham et al., 1995; Sheppard, 1995; Литвиновский и др., 1999]. На каких глубинах происходила генерация таких магм? Полученные при выполнении проекта результаты исследований разновозрастного магматизма Западного Забайкалья опираются именно на такой подход и уровень решения проблем.

Значение результатов исследований Биту-Джидинского интрузивного массива, как яркого представителя геохимического типа Li-F гранитов определено, прежде всего, тем, что такие магматические образования тесно связаны с рудными, порой промышленными месторождениями редких металлов (Li, Rb, Ta, Nb, W, Sn, Pb, Be). Для Li-F гранитных комплексов характерны необычайно широкие ряды минеральных парагенезисов пород и особенности поведения летучих компонентов (флюидов), позволяющие рассматривать целый ряд принципиальных вопросов минералообразования и выявлять условия разделения расплавов, флюидов и водно-солевых составляющих магматического и постмагматического процессов. Эти факты определяют повышенное внимание мирового геологического сообщества к исследованиям Li-F гранитных систем.

На основе полученных материалов возможна разработка модели эволюции редкометалльных гранитных магм в соответствии с современными представлениями фундаментальной геологической науки. Отсутствие возможности прецизионных вещественных микроаналитических исследований в 60-70-х годах прошлого века определили появление и развитие таких гипотез рудообразования, связанного с редкометалльными гранитоидами, как наложенное оруденение (апогранитизация или альбитизация). Невозможность связать воедино магматические и постмагматические рудооконтролирующие процессы на прежнем уровне исследований привели к выводу об их разобщенности [Косалс, 1976; Коваль, 1975]. Однако впоследствии некоторые из исследователей уже признавали возможность разделения флюидно-расплавных фаз в процессе эволюции магм, их различную рудную специализацию и закономерную связь с собственно магматическими процессами. Появились идеи пульсационно-магматического происхождения многофазных интрузивных массивов, были установлены жесткие геохимические связи между магматическими и постмагматическими этапами эволюции конкретных массивов.

Появление представлений о происхождении таких типов оруденения в связи с процессами трансмагматической флюидной транспортировки вещества и глубинной мантийно-нижнекоревой природой исходных расплавов стало возможным с развитием изотопно-геохимических методов

исследований, когда изотопные метки интрузивных пород и руд в ряде случаев демонстрировали связи гранитоидных расплавов с мантийным веществом. Однако и в этом случае процессы рудообразования обычно рассматривались как самостоятельные, не связанные с магматической системой, а только лишь имеющие общий источник вещества.

Появление гипотезы мантийных плюмов, наряду с расширением изотопно-геохимических исследований, позволили реконструировать процессы формирования исходных Li-F магм как результата плавления корового субстрата под воздействием теплового потока из области поднимающейся астеносферной мантии, когда происходит насыщение образующихся расплавов глубинным флюидным потоком, имеющим восстановленный характер и несущим рудную специализацию [Коваленко, 1999].

Развитие в последнее время экспериментальных исследований флюидных систем показали, что разделение флюидной составляющей на специализированные по компонентам фазы, возможное в предельных условиях и в узких термодинамических границах, приводит к отделению и «самостоятельной» эволюции рудосодержащих растворов, агрессивных по отношению к кристаллизующимся расплавам.

Анализируя общее состояние исследований по Li-F гранитным системам, результаты исследований Биту-Джидинского гранитоидного массива предполагают жесткую генетическую связь редкометалльного оруденения с процессами формирования и эволюции исходных магм. Как представляется, уровень относительного обогащения исходных расплавов редкометалльных гранитов в результате мантийного флюидного обогащения не являлся единственной причиной формирования рудных концентраций на поздних стадиях эволюции магм, а лишь определил возможность реализации последующих процессов рудообразования. Собственно отделение рудоносных фаз во флюидно-магматической системе происходило в результате достижения предельных P-T условий, реализация которых зависела от ряда причин, в частности: объем расплавов, степень проницаемости литосферы, однородность и мощность вмещающих толщ, критическое снижение литостатического давления и, вероятно, другие необходимые условия. Изучение эволюции таких многофазных редкометалльных массивов, как Биту-Джидинский, в строении которых присутствуют как рудосодержащие, так и безрудные типы пород может позволить воссоздать модель эволюции Li-F магм и определить причины появления или отсутствия рудной нагрузки.

В ходе выполнения проекта использовались геологические, петро-геохимические, изотопно-радиологические методы исследования магматических пород.

Геологическими методами решались вопросы, связанные с выяснением геологических взаимоотношений и объемов базальтоидов и салических пород бимодальных ассоциаций.

В период октябрь-декабрь 2004 года коллекция образцов и штуфных проб, отобранных в полевой период, подвержена полному циклу петро-геохимических и изотопно-радиологических методов исследования. Используются следующие методы:

В ИГХ им. А.П.Виноградова СО РАН и аналитическом центре коллективного пользования ИНЦ СО РАН (г.Иркутск): 1) рентгено-флуоресцентный метод (петрогенные элементы, Ba, Sr, Zr, Nb); 2) пламенная фотометрия (Li, Rb); 3) спектральный-оптический метод (Pb, Zn, Sn, Ba и Sr для комендитов-пантеллеритов), 4) ICP-MS –Co, Ni, Cr, V, Ba, Sr, Rb, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U, полный спектр РЗЭ.

Образцы даек Жиримского и Удинского субпараллельных дайковых поясов проанализированы на петрогенные компоненты и рассеянные элементы в ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ. Первые определялись методами атомной абсорбции и пламенной фотометрии (аналитик А.А.Цыренова); микрокомпоненты - рентгенофлуоресцентным методом (аналитик Б.Ж.Жалсараев). Состав минералов даек определен на микроанализаторе MAP-3 в ГИН СО РАН.

Для оценки состава источников, участвовавших в формировании расплавов проводятся изотопные (Rb-Sr, Sm-Nd и Pb-Pb) исследования.

**Руководитель проекта
Воронцов А.А.**