

На правах рукописи

БАЗАРОВА Екатерина Петровна

ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ  
ГРАНИТОВ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2011

Работа выполнена в Институте земной коры СО РАН

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник Савельева Валентина Борисовна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
Левицкий Валерий Иванович, Институт геохимии СО РАН

кандидат геолого-минералогических наук Донская Татьяна  
Владимировна, Институт земной коры СО РАН

Ведущая организация: Иркутский государственный университет

Защита диссертации состоится: 11 ноября 2011 г. в 9.00 часов на  
заседании Диссертационного совета Д 003.022.02 в Институте земной коры  
СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, в конференц-  
зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института земной  
коры СО РАН

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью  
учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю  
совета к.г.-м.н. Юрию Витальевичу Меньшагину, [men@crust.irk.ru](mailto:men@crust.irk.ru)

Автореферат разослан 22 сентября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук

Меньшагин Ю.В.

## Введение

**Актуальность исследования.** Проблема связи рудообразования с гранитоидным магматизмом до настоящего времени остается одной из основных проблем магматической петрологии. При этом для оптимизации геолого-разведочных работ важное значение имеет оценка потенциальной рудоносности конкретных магматических комплексов.

Граниты рапакиви являются одними из наиболее ранних в истории Земли высококальциевых кислых пород, формирование которых происходило в субплатформенном режиме. Они известны практически на всех древних платформах, где слагают крупные батолиты в составе протяженных поясов кислого магматизма. Долгое время граниты рапакиви считались безрудными, однако в настоящее время установлена нередкая связь с поздними дифференциатами комплексов гранитов рапакиви оловянной и сопутствующей бериллиевой, циркониевой, тантал-ниобиевой, редкоземельной, урановой, висмутовой, полиметаллической минерализации.

В Западном Прибайкалье граниты рапакиви входят в состав раннепротерозойского приморского комплекса, относящегося к постколлизийному Южно-Сибирскому магматическому поясу на границе Сибирского кратона и складчатого обрамления.

Несмотря на то, что еще в шестидесятых годах XX века в гранитах приморского комплекса были выявлены проявления Sn, Nb, W, Вi и других редких металлов, проблеме металлогении комплекса до сих пор уделялось недостаточное внимание. Опубликованные геохимические данные получены преимущественно для гранитов юго-западной и центральной частей выходов комплекса и не дают полного представления о его составе; практически не изучен флюидный режим формирования гранитов; слабо изучены постмагматические процессы; не рассматривались особенности состава акцессорной минерализации, позволяющие уточнить металлогеническую специализацию гранитов. Все это в совокупности послужило основанием для постановки выполненных исследований.

**Цель и задачи исследований.** Целью выполненной работы являлась петролого-геохимическая характеристика приморского комплекса и, прежде всего, изучение проявления в нем дифференциации, поскольку, как известно из мировой практики, месторождения и рудопроявления Sn (с сопутствующими W, Be, Zn, Cu, Pb), РЗЭ, Nb, Ta, Zr в рапакивигранитных комплексах связаны именно с наиболее поздними дифференциатами. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Петро-геохимическая характеристика отдельных крупных массивов, слагаемых гранитами приморского комплекса.
2. Оценка условий кристаллизации, в первую очередь, флюидного режима кристаллизации гранитов.

3. Характеристика постмагматических процессов и связанной с ними акцессорной минерализации.

#### **Защищаемые положения.**

1. Образование главных разновидностей пород приморского комплекса связано с кристаллизационной дифференциацией исходных высококальциевых и высокожелезистых расплавов, общей направленностью которой являлось увеличение кремнекислотности гранитоидов при одновременных увеличениях апгаитности, железистости и отношения  $K_2O/Na_2O$  без существенного изменения общей щелочности. Обогащенность лейкогранитов массива Трехголового по сравнению с лейкогранитами других массивов Rb, обедненность Ba, Sr, Eu, резко пониженные отношения K/Rb, Ba/Rb, Sr/Rb, Eu/Eu\* позволяют рассматривать их как продукты кристаллизации наиболее дифференцированного расплава.

2. Формирование гранитов приморского комплекса происходило при участии окисленной флюидной системы Н-типа (по терминологии Ф.А. Летникова). Особенности состава биотита позволяют отнести граниты к водному и хлорофильному флюидно-металлогеническим типам; лейкограниты Трехголового массива, по сравнению с лейкогранитами других массивов, кристаллизовались из расплава с повышенными концентрациями воды, фтора и бора.

3. Присутствие в Трехголовом массиве кварц-мусковит-топазовых грейзенов и фторфлогопита в составе альбитизированных гранитов второй фазы указывают на то, что постмагматические процессы в Трехголовом массиве протекали при участии флюидов, богатых фтором. Высокие концентрации в грейзенах Sn, Nb, Y, Th, U и РЗЭ и характерные для гранитов и грейзенов редкометалльные акцессорные минералы являются показателем металлогенической специализации приморского комплекса на перечисленные элементы.

#### **Фактический материал и методы исследований.**

В основу работы положены данные, полученные при проведении полевых работ в период 2007-2009 гг. Изучено около 180 шлифов, петрохимические выводы основываются на 202 полных силикатных анализах. Исследования включали в себя геохимическое опробование трех крупных массивов, составляющих указанный комплекс: Бугульдейско-Ангинского, Улан-Ханского и Трехголового.

Анализы пород выполнены в лабораториях Аналитического центра Института земной коры СО РАН и Центра коллективного пользования Иркутского НЦ СО РАН. Содержания петрогенных компонентов и F определялись химическим методом; редких элементов – методами фотометрии пламени (Li, Cs), спектральным (Ba, Be, Sn, Co, Ni, Sc, V), рентгенофлуоресцентным (Rb, Sr, Ba, Sn, Pb, Zn, Nb, Zr, Y, Th, Mo, W), методом ICP-MS (РЗЭ, Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, Cs, Sn) (аналитики Г.В. Бондарева, М.М. Самойленко, Н.Н. Ухова, В.В. Щербань, Л.В. Воротинова,

А.В. Наумова, Е.Г. Колтунова, Н.Ю. Царева, Е.В. Худоногова, С.В. Пантеева, С.И. Штельмах). Анализы минералов выполнены в Геологическом институте СО РАН на модернизированном микроанализаторе “МАР-3” и электронном сканирующем микроскопе “LEO-1430VP” с энергодисперсионным анализатором “INCAEnergy-300” (аналитики Н.С.Карманов и С.В.Канакин). U-Pb датирование циркона осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (аналитик А.Н.Ларионов). Для датирования мусковита из грейзена применен  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  метод; изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре «5400» фирмы Микромасс (Англия) (анализ выполнен А.В.Травиным, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Изучение главных флюидных компонентов ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) в породах проводилось методом газовой хроматографии в Институте земной коры СО РАН (аналитик Л.В. Баранова) на лабораторном хроматографе ЛХМ-8МД; температура нагрева породы  $850^\circ\text{C}$ . Содержания F и Cl в слюдах определялись на модернизированном микроанализаторе “МАР-3” в Геологическом институте СО РАН. Нижний предел обнаружения для F 0,037%, для Cl – 0,025%.

#### **Научная новизна работы.**

1. Впервые с использованием современных методов анализа (рентгенофлуоресцентный, ICP-MS) получена геохимическая характеристика главных разновидностей пород, слагающих три крупных массива приморского комплекса и выполнено их геохимическое сопоставление, что позволило изучить дифференциацию в массивах гранитоидов и провести их геохимическую типизацию. 2. Впервые на микрозонде и электронном сканирующем микроскопе с энергодисперсионным анализатором изучен состав главных акцессорных минералов гранитов и грейзенов (касситерит, минералы Nb, Th, PЗЭ, Vi, Mo), что позволило уточнить металлогеническую специализацию комплекса. 3. Впервые охарактеризован флюидный режим формирования гранитов приморского комплекса на основе изучения распределения главных флюидных компонентов ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) в породах методом газовой хроматографии и распределения галогенов (F и Cl) в породообразующих слюдах. 4. Впервые установлено, что характерными продуктами постмагматического этапа в Трехголовом массиве являются кварц-топазовые (+мусковит) грейзены с содержанием F до 6 вес. %, что является показателем высокой концентрации HF в постмагматическом флюиде. 5. Впервые в альбитизированных гранитах Трехголового массива выявлен редкий минерал фторфлогопит, также указывающий на повышенную концентрацию HF во флюиде. 6. Получены изотопно-геохронологические данные, свидетельствующие о том, что в приморский комплекс объединяются разновозрастные граниты раннего протерозоя, сходные по своим геохимическим характеристикам.

#### **Практическая значимость работы.**

Результаты работы могут быть использованы как научными, так и производственными организациями, занимающимися проблемами оценки потенциальной рудоносности гранитоидов и осуществляющими поисковые работы на территории Западного Прибайкалья.

**Апробация работы и основные публикации.** По теме диссертации опубликованы 3 статьи и 9 тезисов докладов, 1 статья прошла рецензирование. Результаты работы докладывались на XI Всероссийском петрографическом совещании (Екатеринбург, 2010), Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2010), конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2009), XXIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2009), XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011), научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы ЦАПП: от океана к континенту» (Иркутск, 2009).

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из 9 глав, введения, заключения и списка использованной литературы. Общий объем 247 страниц, включая 66 иллюстраций и 31 таблицу, в том числе 8 в приложении. Библиография включает 183 наименования.

Работа выполнена в Институте земной коры СО РАН (г. Иркутск) при финансовой поддержке грантов РФФИ 08-05-00182 и РФФИ 10-05-00289.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н. В.Б. Савельевой, чьи консультации и советы оказали неоценимую помощь при подготовке работы. Автор благодарит академика РАН Ф.А. Летникова за неоднократные плодотворные обсуждения работы. Автор признателен также к.г.-м.н. Т.В. Донской за ценные замечания и пожелания.

## **Глава 1. ГРАНИТЫ РАПАКИВИ И ИХ МИРОВОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ**

Существует несколько определений гранитов рапакиви, из числа которых мы придерживаемся определения (Naarala et al., 2005): граниты рапакиви – это граниты А-типа, характеризующиеся присутствием, по крайней мере в крупных батолитах, гранитных разновидностей со структурами рапакиви.

Граниты рапакиви известны практически на всех древних платформах, где слагают крупные, нередко многофазные батолиты в составе поясов кислого магматизма. По времени образования большинство интрузий относится к среднему протерозою (около 1,54 млрд. лет). Наибольшее число проявлений рапакивигранитного магматизма наблюдается на Восточно-Европейской платформе. Полный обзор проявлений рапакивигранитного магматизма в мире, взгляды на проблему овоидов, особенности химического состава гранитов, модели источников их расплава приведены в диссертации.

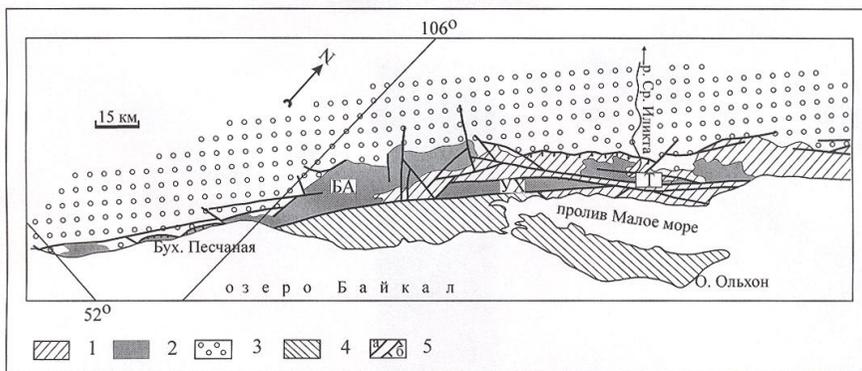
В рапакивигранитных комплексах преобладают собственно граниты; в составе ранних фаз могут присутствовать адамеллиты, монцодиориты и сиениты. Дифференциация осуществляется преимущественно по плюмазитовому тренду – с образованием на заключительной стадии топазовых гранитов с накоплением F, Li, Rb, Cs, Ga, Y, Sn, Nb, Ta, W, Th, U. В ряде комплексов поздняя фаза представлена альбитовыми гранитами, обогащенными F, Nb, Ta, Zr, Hf, U, Th, Sn, Rb и в меньшей мере Ga, Cs, W.

Характерными постамагматическими процессами в гранитах являются альбитизация и грейзенизация. В связи с рапакивигранитными комплексами выделяются три основных типа оруденения: Sn-полиметаллическое (W-Be-Zn-Cu-Pb), редкометалльно-редкоземельное и Fe-Cu (U-Au-Ag).

## Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА

Граниты приморского комплекса в Западном Прибайкалье входят в состав Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, протягивающегося вдоль края Сибирского кратона. Время формирования пояса 1,88 – 1,84 млрд. лет (Ларин и др., 2002, 2003). Входящие в его состав интрузивные комплексы подробно рассмотрены в диссертации.

Приморский комплекс слагает хребет Приморский и южную часть Байкальского хребта. Выходы пород комплекса наблюдаются в виде цепочки массивов на протяжении свыше 200 км вдоль западного берега оз. Байкал (рис. 1) и в тектоническом отношении приурочены к зоне Приморского глубинного разлома. На большей части территории граниты комплекса имеют тектонические и интрузивные контакты с породами сарминской серии раннего протерозоя; на юго-востоке граничат с раннепалеозойским ольхонским метаморфическим комплексом, а на северо-западе перекрыты осадочными отложениями байкальской серии верхнего рифея.



1. Схема геологического строения западного берега оз. Байкал.

1, 2 – фундамент Сибирской платформы: 1 – сарминская серия протерозоя, 2 – граниты приморского комплекса (массивы: БА – Бугульдейско-Ангинский, УХ – Улан-Ханский, ГТ – гольца Трехголового (Трехголовый)); 3 – платформенный чехол; 4 – раннепалеозойская ольхонская коллизонная система; 5 – тектонические нарушения (а – разломы, б – надвиги).

Возраст комплекса в настоящее время принимается равным  $1859 \pm 16$  млн. лет, что соответствует возрасту циркона из рапакиви юго-западных выходов комплекса (бухта Песчаная) (Донская и др., 2003). Однако по циркону из гранитов главной фазы Трехголового массива ранее U-Pb методом был получен возраст  $1910 \pm 30$  млн. лет (Бибикова и др., 1981), т.е. проблема времени формирования комплекса остается окончательно не решенной.

По возрасту и геохимическим особенностям граниты приморского комплекса сходны с гранитами шумихинского комплекса Присаянского выступа фундамента Сибирской платформы, ирельского комплекса северо-западного Прибайкалья, кодарского комплекса Алданского щита.

Из приведенного в диссертации обзора по изученности приморского комплекса видно, что современные геохимические данные получены преимущественно для гранитов юго-западной и центральной частей выходов комплекса и не дают полного представления о его составе. Наиболее хорошо изученным является Бугульдейско-Ангинский массив. Слабо изучены особенности распределения редких элементов в гранитах разного петрографического состава, разных фаз, разных массивов, поведение редких элементов при постмагматических процессах. Многими исследователями отмечалась обогащенность пород приморского комплекса фтором и бором, тем не менее, флюидный режим формирования комплекса практически не изучен, хотя общеизвестна ведущая роль летучих компонентов в процессах экстракции, переноса и отложения рудных элементов.

### **Глава 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАССИВОВ ГРАНИТОВ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА**

Породы всех массивов имеют практически одинаковый минералогический состав: главными породообразующими минералами являются кварц и калиевый полевой шпат, обычно микропертитовый, плагиоклаз присутствует в подчиненном количестве. Преобладают биотитовые граниты и значительно реже встречаются роговообманково-биотитовые граниты. Особенностью Трехголового массива является присутствие в гранитах кварц-турмалиновых шлиров.

В составе всех массивов выделяются крупноовоидные граниты (рапакиви) и относительно равномернoзернистые граниты. В вопросе выделения интрузивных фаз в составе комплекса нет единого мнения, но достоверно установлено прорывание крупнозернистых гранитов мелко-

среднезернистыми, слагающими небольшие массивы, тела вытянутой формы и жилы. Вслед за большинством геологов автор выделяет две фазы. Породы первой (главной) фазы представлены крупно- и среднезернистыми гранитами, крупноовоидными и равномернотернистыми, биотит-роговообманковыми, биотитовыми, лейкократовыми, до аляскитов. Ко второй (заключительной) фазе относятся мелко-среднезернистые граниты, гранит-порфиры и аплиты. Пегматиты для приморского комплекса не характерны.

Разнообразие текстур и структур указывает на различные условия кристаллизации расплавов. В породах главной фазы Трехголового массива и аляскитах Бугульдейско-Ангинского массива обычна гранофировая структура, присущая малоглубинным гранитам. Для пород Улан-Ханского массива характерны директивная текстура и метасоматическая структура, что указывает на его кристаллизацию в зоне повышенной проницаемости для глубинных флюидов при нестабильном тектоническом режиме.

Постмагматические изменения представлены альбитизацией, мусковитизацией, грейзенизацией, флюоритизацией. В грейзенизированных гранитах проявлена зональность: биотитовый гранит → альбитизированный и мусковитизированный гранит → кварц-мусковитовый грейзен → кварц-топазовый грейзен → кварцевая порода. Альбитизация характерна в основном для гранитов второй фазы. В Трехголовом массиве выявлены тела альбитовых метасоматитов мощностью до 1 м. Эти породы почти на 90% сложены альбитом и микроклином, прочие минералы представлены кварцем, бесцветной слюдой, кальцитом, магнетитом, гематитом.

#### **Глава 4. МИНЕРАЛОГИЯ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА**

Главными породообразующими минералами гранитов являются кварц и калиевый полевой шпат, обычно микропертитовый. В фенокристаллах щелочного полевого шпата из гранит-порфиров  $X_{Na}=0.16-0.34$ . Плаггиоклаз представлен несколькими генерациями; аляскиты содержат единичные зерна плаггиоклаза. Темноцветный минерал представлен биотитом, редкие зерна роговой обманки отмечены только в гнейсогранитах Улан-Ханского массива. По составу слюда близка к анниту. Для биотита характерны умеренные содержания  $TiO_2$  (до 3,1%); биотиты из пород Трехголового массива отличаются повышенными железистостью  $f=100*Fe/(Fe+Mg)$  (85%), содержанием Al(VI) (0,47 на ф.е.) и низкими содержаниями  $TiO_2$  (1,65%) (средние значения для биотитов из гранитов главной фазы).

Турмалин в гранитах Трехголового массива представлен шерлом с железистостью 74-100%. Из вторичных минералов наиболее распространен мусковит, для которого характерны высокие содержания FeO – до 10%;  $X_{Na}=0,02-0,05$ . Топаз в грейзенах представлен призматическими кристаллами или радиально-лучистыми и сферолитоподобными агрегатами.

В альбитовых метасоматитах выявлена слюда, отвечающая по составу флогопиту. Анализ показал высокие содержания в ней (мас. %) MgO (до

21,7), SiO<sub>2</sub> (до 50,5) и F (5,5–8,9) при низких FeO (до 5,11) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 9,78). Содержание фтора соответствует заполнению позиций OH<sup>-</sup> фтором от 65 до 100%, что позволяет рассматривать слюду как фторфлогопит.

Наиболее распространенными акцессорными минералами гранитов являются ильменит, рутил, титанит, эпидот, апатит, циркон и флюорит. В аляскитах Бугульдейско-Ангинского массива присутствует магнетит, в гранитах Улан-Ханского массива отмечается гранат. В гранитах второй фазы и грейзенах выявлены минералы Sn, Nb, W, TR, Zr, Th.

Главным минералом Sn является касситерит SnO<sub>2</sub>. Среди минералов Nb и W установлены рутил, ильменорутил, ферроколумбит (Mn/(Mn+Fe)=0.11–0.40, Ta/(Ta+Nb)=0.02–0.06), ферберит, пироклор, минералы Y, Nb и Ti представлены самарскитом, фергусонитом, иттрокразитом. Среди минералов Y установлен ксенотим. Минералы легких РЗЭ представлены алланитом, монацитом, флюоцеритом, бастнезитом и минералами Th. Наряду с торитом выявлены минералы, в которых проявлено замещение Th либо Y и тяжелыми РЗЭ, либо легкими РЗЭ, с одновременным замещением Si фосфором (церфосфорхаттонит). В гранитах присутствуют также циркон, циртолит (до 4.4% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 6.1% ThO<sub>2</sub>, до 5% UO<sub>2</sub>), молибденит, вульфенит, повеллит, а в грейзенах встречаются бисмутинит, бисмутит, арсенопирит и пирит.

## Глава 5. ПЕТРОХИМИЯ И ГЕОХИМИЯ ГРАНИТОВ

В целом породы комплекса представлены гранитоидами нормальной и несколько повышенной щелочности, высококалийевыми, железистыми (FeO<sup>общ</sup>/(FeO<sup>общ</sup>+MgO)>0.8), образующими ряд от кварцевых сиенитов до ультракислых лейкогранитов (рис. 2).

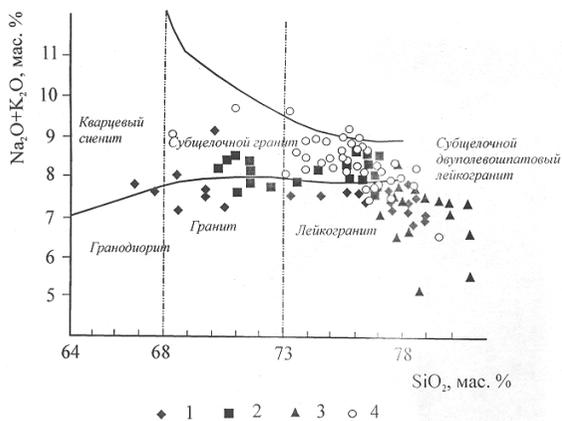


Рис. 2. Состав гранитоидов приморского комплекса на классификационной диаграмме (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – SiO<sub>2</sub>, мас. %.

1 – 3 – граниты первой фазы Бугульдейско-Ангинского (1), Улан-Ханского (2) и Трехголового (3) массивов; 4 – граниты второй фазы всех массивов.

Наиболее разнообразен по составу Бугульдейско-Ангинский массив, Улан-Ханский массив сложен гранитами и лейкогранитами, а Трехголовый массив преимущественно лейкогранитами. Породы второй фазы всех трех массивов представлены высокожелезистыми и высококалийевыми

лейкогранитами преимущественно субщелочного состава. Граниты варьируют от метаглиноземистых или слабо пересыщенных глиноземом ( $ASI \leq 1.10$ ) до перглиноземистых; при этом глиноземистость возрастает в мусковитизированных породах.

В целом с ростом содержания  $SiO_2$  в породах первой интрузивной фазы снижаются содержания  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO^*$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $P_2O_5$ , а также  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $Zr$ ,  $Zn$ ,  $Sc$ ,  $V$  что характерно для продуктов фракционной кристаллизации, одновременно возрастают железистость, отношение  $K_2O/Na_2O$ , агпаитность и содержания  $Rb$ ,  $Sn$  и  $Th$ . Наиболее основные крупноовоидные гранитоиды содержат повышенные, относительно кларков для бедных кальцием гранитов, концентрации  $F$ ,  $Rb$ ,  $Ba$ ,  $Zr$ ,  $Hf$ ,  $Th$ ,  $Sn$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Co$ ,  $Be$ .

Лейкограниты Трехугового массива отличаются от лейкогранитов других массивов повышенными агпаитностью, содержаниями (г/т)  $Rb$  (до 650),  $Sn$  (до 20),  $Li$  (до 80),  $Cs$  (до 27),  $F$  (до 6600),  $Th$  (до 110),  $U$  (до 20),  $Y$  (до 100), низкими  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $Zr$  и пониженными  $K/Rb$ ,  $Ba/Rb$ ,  $Zr/Hf$ ,  $Nb/Ta$ .

Мелко-среднезернистые граниты второй фазы представлены плюмазитовыми лейкогранитами, отличающимися от лейкогранитов главной фазы пониженными содержаниями  $SiO_2$ , повышенной общей щелочностью (преимущественно за счет  $Na$ ) и железистостью и в целом имеют более высокие, по сравнению с гранитами главной фазы, содержания  $Sn$ ,  $Th$ ,  $Nb$ . По редкоэлементному составу отдельные жилы и массивы различаются между собой: в Трехголовом массиве одни жилы и массивы гранитов второй фазы обогащены  $F$  (до 0,46%), редкими щелочами ( $Rb$  до 600 г/т,  $Li$  до 75 г/т),  $Sn$  (до 39 г/т),  $Th$  (до 140 г/т),  $Nb$  (до 53 г/т),  $Y$  (до 80 г/т),  $Mo$  (до 17 г/т) при низком  $Ba$  (12-80 г/т) и  $Zr$  (130-190 г/т), другие обеднены  $F$ ,  $Rb$ ,  $Li$ , но содержат больше  $Ba$  (до 1400 г/т) и  $Zr$  (до 340 г/т).

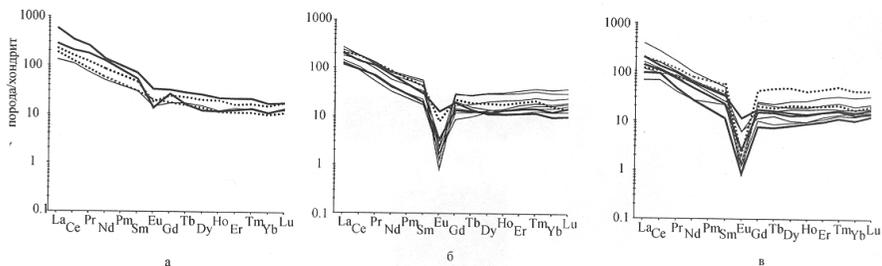


Рис. 3. Распределение РЗЭ в гранитах приморского комплекса. Нормирование выполнено по (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). а – крупноовоидные и порфириовидные биотитовые граниты; б – крупнозернистые равномернозернистые биотитовые и лейкократовые граниты; в – мелко-среднезернистые граниты заключительной фазы. Жирными линиями обозначены спектры для Бугульдейско-Ангинского, пунктирными – Улан-Ханского, тонкими – Трехголового массива.

Для пород комплекса характерны высокие содержания РЗЭ при значительном преобладании легких лантаноидов над тяжелыми ( $La_N/Yb_N$  16–55); для спектров РЗЭ характерно сильное фракционирование легких ( $La_N/Sm_N$  4–11) и слабое или умеренное фракционирование тяжелых ( $Gd_N/Yb_N$  1,1–2,5) лантаноидов. Для крупноовоидных гранитов характерны спектры РЗЭ со слабо или умеренно выраженными отрицательными Eu-аномалиями ( $Eu/Eu^*=0,36–0,88$ ). В равномернозернистых гранитах возрастает «глубина» Eu-минимума, отражающая усиление фракционирования плагиоклаза, и происходит выволаживание спектров в области тяжелых РЗЭ ( $Eu/Eu^*=0,03–0,53$ ;  $Gd_N/Yb_N=0,66–1,9$ ). Максимальное обеднение Eu характерно для лейкогранитов Трехголового массива:  $Eu/Eu^*=0,03–0,14$  (рис. 3). Спектры РЗЭ в гранитах второй фазы близки к таковым в равномернозернистых гранитах первой фазы.

## Глава 6. ГЕОХИМИЯ ПОСТМАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Изучение геохимии постмагматических процессов выполнено путем сопоставления составов метасоматически измененных гранитов с вмещающими неизменными породами. На ранней стадии грейзенизации (замещение биотита мусковитом, плагиоклаза серицитом, калиевого полевого шпата альбитом) отмечается небольшой рост содержания Na и снижение K. Содержания  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MnO, CaO,  $P_2O_5$  меняются слабо, проявлен вынос FeO и менее  $Fe_2O_3$ . Содержание F меняется незакономерно. Проявлены тенденции к росту содержаний Li, Rb, Ba при выносе Zn и Be.

При образовании собственно кварц-мусковитовых грейзенов выносятся  $Na_2O$ , в некоторых случаях  $Fe_2O_3$ , FeO,  $Al_2O_3$  и  $K_2O$ ; возрастают содержания потерь при прокаливании, CaO и  $CO_2$ . В кварц-мусковитовых грейзенах проявлено обогащение относительно гранитов Li, Sn, Y, Nb, Th, U.

Для кварц-мусковит-топазовых грейзенов характерны повышенные, относительно гранитов, содержания F и  $Al_2O_3$ . Наряду с выносом  $Na_2O$  усиливается вынос  $K_2O$ . Кроме того, выносятся MgO, MnO, менее FeO и  $Fe_2O_3$ , тогда как содержание CaO в одних случаях в грейзенах понижено относительно гранитов, в других повышено. Происходит вынос Rb, Sr, Ba, Pb, Zn, Be, в меньшей мере Y, Th, Li. При окварцевании выносятся практически все петрогенные компоненты, включая Al.

В целом в грейзенизированных породах возрастают средние содержания F, Sn, Li, и увеличивается разброс (в г/т) содержаний F (700–60000), Li (11–205), Rb (96–1100), Sn (13–310), Ce (12–550), Y (7–210), Nb (24–190), W (от <5 до 218). Кварц-мусковитовые грейзены по сравнению с кварц-мусковит-топазовыми содержат больше Li, Rb, Sn, Nb, Y, Th, U, однако в последних установлены наиболее высокие содержания W (до 218 г/т).

Альбитизация сопровождалась привносом в породы Na, Al, Fe, Mg,  $CO_2$  и F. В альбитовых метасоматитах, по сравнению с гранитами, повышены

содержания Li, Be, Sc, V, Ga, Sr, в меньшей мере Y, Nb, Th, Zr, Hf и понижены Ni, Cu, Pb, Sn, U.

## **Глава 7. УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГРАНИТОВ И ФОРМИРОВАНИЯ АПОГРАНИТНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ**

### **VII.1. Условия кристаллизации гранитов**

К числу главных параметров, влияющих на рудоносность гранитных массивов, относятся глубинность их становления, температура расплава, из которого кристаллизовались граниты, кислотность–щелочность и поведение летучих компонентов при кристаллизации расплава.

Для рапакиви юго-западных выходов комплекса Т.В.Донской и др. (2005) на основе амфиболового геобарометра получены значения давления при кристаллизации 4-7 кбар. В изученных автором породах амфибола нет, поэтому при оценке глубинности можно опираться только на геологические данные. Граниты Трехголового массива прорывают породы иликтинской свиты, метаморфизованные примерно при 2.2 кбар и 340 °С (Савельева, Зырянов, 2001), что позволяет считать глубину становления верхней кромки массива не более 6-7 км. Присутствие в Бугульдейско-Ангинском массиве порфиридных аляскитов с гранофировой структурой также указывает на относительно малоглубинные условия кристаллизации.

Для оценки температуры начальных стадий кристаллизации расплавов использовано уравнение цирконового термометра (Watson, Harrison, 1983). Для порфиридных и равномернозернистых биотитовых гранитов Бугульдейско-Ангинского массива получено среднее значение 860°С, для крупноовоидных гранитов Улан-Ханского массива 840°С, а для крупноовоидных гранитов Трехголового массива 830°С.

Для оценки кислотности-щелочности расплавов использовались диаграммы А.А.Маракушева и И.А.Тарарина (1965) и В.С.Иванова (1970). На первой точки составов слюд ложатся в основном в поле нормальной щелочности, за исключением биотитов Трехголового массива, которые попадают также в поле пониженной щелочности. В Улан-Ханском массиве рост железистости биотита практически не сопровождается изменением его глиноземистости, что свидетельствует о не меняющейся щелочности. В Трехголовом массиве рост железистости сопровождается ростом глиноземистости биотита, что указывает на снижение щелочности расплава. В Бугульдейско-Ангинском массиве отчетливой зависимости не наблюдается.

Общее представление о флюидном режиме кристаллизации расплавов дает диаграмма Q-Ab-Ort, где точки средних составов крупноовоидных гранитов – производных слабо дифференцированных расплавов располагаются вблизи расплава-минимум при  $P_{H_2O}=1$  кбар с некоторым смещением к вершине ортоклаза. Кристаллизация лейкократовых гранитов всех массивов протекала при  $P_{H_2O}<1$  кбар. С учетом данных по глубинности

это указывает на обедненность расплавов водой, что связано, вероятно, с высокой степенью метаморфизма пород, подвергавшихся плавлению.

Состав главных летучих компонентов изучен методом газовой хроматографии. Для гранитов характерно резкое преобладание во флюиде водорода над углеродом и высокая окисленность флюида: средние отношения  $H/C$  ( $H/C=2(H_2O+H_2)/(CO_2+CO)$ ) в гранитах разных типов первой фазы 18–54, в гранитах второй фазы 16–27; коэффициент восстановленности флюида ( $K_B=(CO+H_2)/(CO_2+H_2O)$ ) в гранитах первой фазы 0,04–0,16, в гранитах второй фазы 0,02–0,06. Отношение  $H_2/H_2O$  для большинства проб  $<0,1$ . Полученные данные показывают, что образование расплавов происходило под воздействием на исходную матрицу окисленной флюидной системы  $H$ -типа (Летников и др., 1981).

Основные тенденции в поведении флюидных компонентов отражены на графиках зависимости их содержаний от отношения  $Ba/Rb$  в гранитах. С уменьшением  $Ba/Rb$  отношения содержания флюидных компонентов снижаются. Граниты Трехголового массива имеют повышенную флюидонасыщенность по сравнению с гранитами других массивов, а наиболее высокие содержания воды и водорода характерны для кварц-турмалиновых шлиров в этом массиве (рис. 4). Поведение  $CO_2$  и  $CO$  менее закономерно.

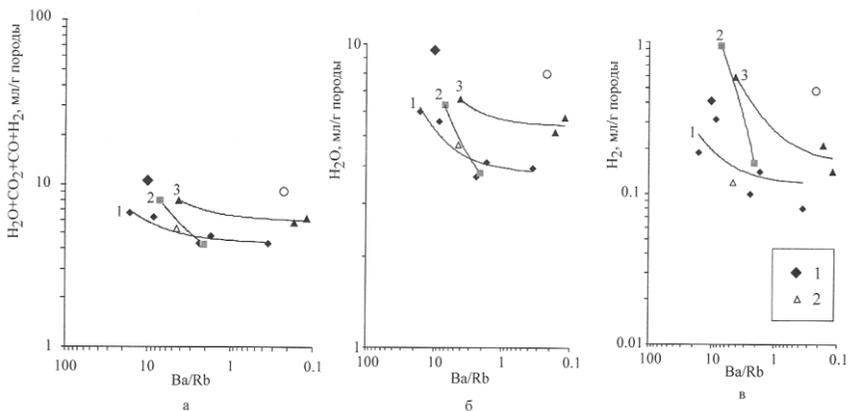


Рис. 4. Корреляция содержаний флюидных компонентов в гранитах с отношением  $Ba/Rb$ . 1 – 3 – линейные тренды для Бугульдейско-Ангинского (1), Улан-Ханского (2) и Трехголового (3) массивов. Тренд 1: биотитовые равномернозернистые граниты – лейкократовые граниты – аляскиты – мелкозернистые граниты и гранит-порфиры; тренд 2: крупноовоидные граниты – равномернозернистые лейкократовые граниты; тренд 3: крупноовоидные граниты – равномернозернистые средне- и крупнозернистые граниты – жильные мелко- и среднезернистые граниты. 1 и 2 – точки составов крупноовоидных гранитов Бугульдейско-Ангинского (1) и мелко- и

среднезернистых гранитов второй фазы Трехголового (2) массивов, не учитывающиеся при построении трендов. Кружками обозначены точки средних содержаний флюидных компонентов в кварц-турмалиновых шлирах.

Наиболее важную роль в магматических и постмагматических процессах играют F и Cl. Распределение галогенов в биотите дает информацию о поведении этих компонентов в магмах. Биотиты приморского комплекса содержат умеренные количества F (в среднем по разным группам пород от 0,27 до 1,07%) и Cl (0,07-0,36%). Наиболее высокие содержания галогенов характерны для биотитов из Трехголового массива. По соотношению F и Cl в биотитах граниты относятся к водному и хлорофильному типам по классификации (Бушляков, Холоднов, 1986).

Для оценки режима F и Cl во флюиде, равновесном с биотитом, использовались уравнения из работ (Munoz, 1984; Munoz, Swenson, 1981; Аксюк, 2002). Температура кристаллизации биотита оценивалась по экспериментальной кривой зависимости железистости слюды от температуры при окислительных условиях, отвечающих буферу Ni-NiO (Wones, Eugster, 1965). При наиболее высоких концентрациях HF во флюиде кристаллизовался биотит в Трехголовом массиве, при наиболее низких в Бугульдейско-Ангинском массиве и при промежуточных в Улан-Ханском массиве (рис. 5). Поздние дифференциаты главной фазы во всех массивах кристаллизовались при пониженной летучести HCl по сравнению с HF:  $\lg(f_{HCl}/f_{HF})$  снижается от 1,88–1,96 в крупноовоидных биотитовых гранитах до 1,25–1,46 в лейкократовых гранитах.

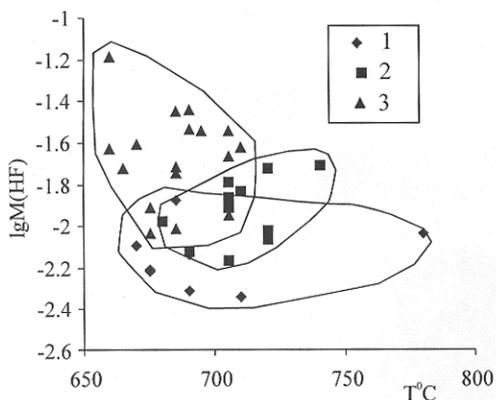


Рис. 5. Концентрации HF во флюиде гранитов, определенные с помощью биотитового геофториметра (Аксюк, 2002). 1–3 - биотиты из гранитов Бугульдейско-Ангинского (1), Улан-Ханского (2) и Трехголового (3) массивов.  $M_{HF}$  – концентрация нейтральной частицы HF<sup>0</sup> во флюиде, равновесном со слюдой, моль/дм<sup>3</sup> (Аксюк, 2002).

Присутствие турмалина в породах Трехголового массива и особенно кварц-

турмалиновых шлиров в гранитах отличает этот массив от других массивов и свидетельствует об обогащенности расплава бором (содержания В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> в кварц-турмалиновых шлирах достигает 3%).

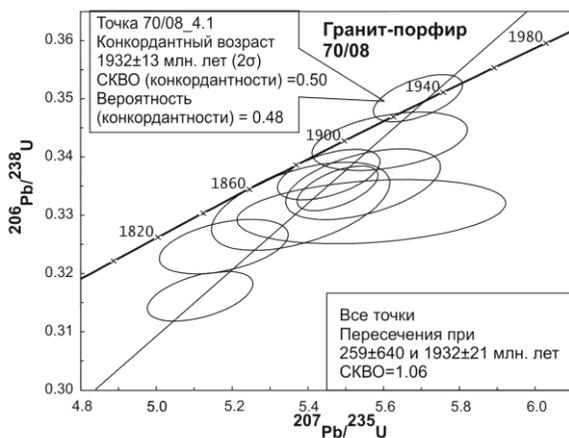
## VII.2. Условия протекания постмагматических процессов

Образование грейзенов, содержащих флюорит и топаз, свидетельствует о том, что процесс протекал под воздействием на породы кислых растворов, богатых HF. В соответствии с экспериментами (Зарайский, 1999), температура образования грейзенов составляла от 400 до 600°C и происходила под воздействием растворов, насыщенных глиноземом и бедных калием. Присутствие кальцита в грейзенах показывает, что наряду с фтором постамагматический флюид содержал в значительном количестве углекислоту.

Образование фторфлогопита связано с процессом альбитизации, проявившемся в апикальной части гипабиссального массива субщелочных гранитов. Аномально низкая глиноземистость флогопита и его парагенезис с гематитом и кальцитом показывают, что образование микроклин-альбитовых метасоматитов происходило в условиях повышенной щелочности, высокого окислительного потенциала, при участии флюида, богатого углекислотой и при повышенных концентрациях HF во флюиде, однако недостаточных для образования флюорита.

## Глава 8. НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В предшествующих работах определение возраста приморского комплекса U-Pb методом проводилось по цирконам из гранитов главной фазы (см. Главу 2). Нами была поставлена задача датирования гранитов второй фазы Трехголового массива, с которыми связаны проявления редкометалльной минерализации грейзенового типа. Датирование циркона выполнено локальным U-Pb методом (SHRIMP-II). Всего было выполнено 10 анализов в 9 кристаллах циркона, из которых один анализ дал конкордантный возраст  $1932 \pm 13$  млн. лет, а результаты, полученные по остальным цирконам,



группируются вблизи верхнего пересечения дискордии с конкордией, отвечающего возрасту  $1932 \pm 21$  млн. лет (рис. 6). Значение, получаемое по нижнему пересечению, не имеет геологического смысла.

Рис. 6. Диаграмма с конкордией для цирконов: дискордия:  $T_1 = 1932 \pm 21$  млн. лет,  $T_2 = 259 \pm 640$  млн. лет,  $SKBO = 1,06$  (через все точки). Размеры эллипсов соответствуют  $\pm 2\sigma$

погрешностям по обеим осям координат.

Полученный возраст гранитов второй фазы Трехголового массива в пределах ошибки измерения близок к возрасту, установленному ранее по циркону из гранитов главной фазы этого же массива. Это, вслед за (Бибикова и др., 1987), позволяет предполагать, что в состав приморского комплекса объединяются разновозрастные граниты со сходными минералогическими и геохимическими характеристиками. Датирование мусковита из кварц-мусковитовых грейзенов Трехголового массива Ag–Ag-методом дало возраст промежуточного плато в спектре  $792 \pm 7$  млн. лет и интегральный возраст  $868 \pm 8$  млн. лет. По-видимому, эти значения отражают не время образования грейзенов, а термальное событие, имевшее место в Западном и Северном Прибайкалье в интервале 700-800 млн. лет (Гладкочуб и др., 2007).

### Глава 9. ФЛЮИДНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГРАНИТОВ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА

Приморский комплекс в соответствии с (Изох, 1978) представлен полной и завершенной гранитоидной ассоциацией умеренной общей щелочности и повышенной калиевости. Исходными для комплекса являлись известково-щелочные магмы, образовавшиеся при плавлении глубокометаморфизованных верхнеархейских пород кислого состава (Донская и др., 2005) и изначально обогащенные F, Ba, Zr, Rb, Pb, Th, Sn, что следует из геохимии наиболее основных разностей гранитов. Эволюция состава пород главной интрузивной фазы выражается в увеличении кремнекислотности при одновременном снижении основности, росте железистости, отношения  $K_2O/Na_2O$  и агапитности. Дифференциация расплава отвечала Ba-Rb тренду. Для гранитов второй фазы проявлена тенденция к возрастанию общей щелочности в основном за счет Na.

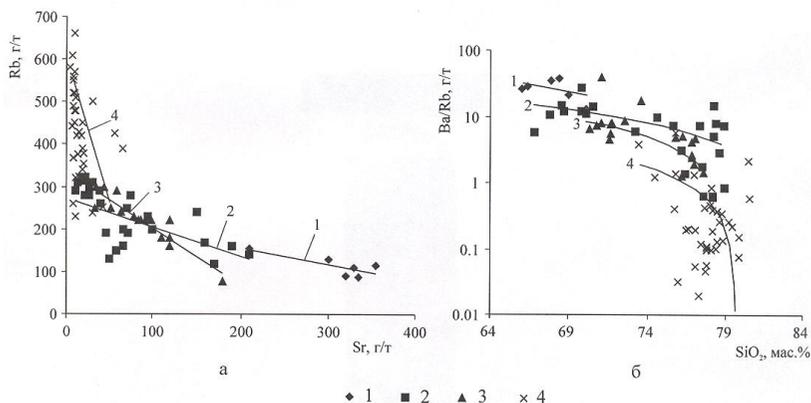


Рис. 7. Соотношения Rb–Sr (а) и Ba/Rb–SiO<sub>2</sub> (б) в гранитах. Точки составов и линейные тренды эволюции: 1 – гранитов бухты Песчаной по (Донская и др., 2005), 2

– Бугульдейско-Ангинского массива, 3 – Улан-Ханского массива, 4 – Трехголового массива.

Массивы разделяются на два типа по соотношению Rb и Sr (рис. 7 а). Первый тип представлен Бугульдейско-Ангинским массивом. Значительный диапазон содержаний Sr в породах этого массива указывает на проявление внутрикамерной дифференциации, которая не сопровождалась существенным накоплением Rb и снижением отношения Ba/Rb (рис. 7 б). Исключение составляют аляскиты, которые отличаются от лейкогранитов повышенными содержаниями Rb и пониженными - Ba. Относительно наиболее основных гранитов массива аляскиты обогащены Sn в 3 раза, Th в 2 раза и Rb в 1.4 раз. Вторую группу образуют граниты Улан-Ханского и Трехголового массивов, которые имеют пониженные концентрации Sr и повышенные Rb, причем концентрация Rb резко возрастает при относительно небольшом снижении Sr, что особенно выражено в Трехголовом массиве. Обогащенность лейкогранитов Трехголового массива Rb, обедненность Ba, Sr, Eu, резко пониженные отношения K/Rb, Ba/Rb, Sr/Rb, Eu/Eu\*, Zr/Hf, Nb/Ta по сравнению с лейкогранитами других массивов (рис. 7) позволяют предполагать, что исходным для этого массива являлся лейкогранитный расплав, образовавшийся в процессе дифференциации известково-щелочной магмы в глубинной магматической камере и затем отделившийся от нее и перемещенный в верхние горизонты коры. Этот расплав уже изначально содержал в повышенных количествах литофильные элементы: лейкограниты Трехголового массива по сравнению с лейкогранитами других массивов содержат в среднем примерно в 2 раза больше F, в 1.6–2.2 раза больше Li, Cs, Ta, до 1.5 раз больше Sn, в 3 р. больше U. Повышенные содержания F и Cl в биотите, пониженные температуры кристаллизации, кварц-турмалиновые шпирь и проявления грейзенизации указывают на обогащенность расплава флюидными компонентами.

Граниты Трехголового массива по ряду геохимических особенностей близки к типу плюмазитовых редкометалльных гранитов, по Л.В.Таусону. Лейкогранитный состав интрузии и ее значительный объем являлись благоприятными факторами для накопления летучих компонентов и Sn в остаточных расплавах, от которых могли отделяться рудоносные растворы. Присутствие в гранитах второй фазы акцессорных редкометалльных минералов, связь с гранитами грейзенов, также содержащих минералы Sn, W, Nb, Y, TR, Th, повышенные концентрации Sn в гранитах и гидротермально измененных породах позволяют рассматривать массив Трехголовый как перспективный в отношении оловянного оруденения грейзенового типа. Неблагоприятным фактором для его обнаружения является значительный эрозионный срез. Повышенное содержание Cl в биотитах является показателем специализации комплекса на Au, Cu, Pb, Zn и Mo.

## **Заключение**

Полученный материал по геохимии, минералогии и условиям кристаллизации гранитоидов приморского комплекса, а также новые изотопно-геохронологические данные позволяют сделать следующие выводы.

Формирование комплекса связано с внедрением в породы раннего протерозоя порций расплава, отделившихся от эволюционирующего глубинного очага высококальциевой и высокожелезистой известково-щелочной магмы, и их дальнейшей внутрикамерной дифференциации.

Наиболее контрастными по составу и условиям кристаллизации являются Бугульдейско-Ангинский и Трехголовый массивы. Исходным для первого являлся относительно слабо дифференцированный расплав, кристаллизация которого не сопровождалась накоплением фтора и существенным обогащением лейкогранитов гранитофильными элементами. Исходным для Трехголового массива служил лейкогранитный расплав, обогащенный Cs, Li, Rb, Sn, Th, водой, фтором и бором.

Повышенная флюидонасыщенность гранитов Трехголового массива, присутствие аксессуарных минералов Sn, Mo, Nb, Y, проявление грейзенизации, повышенные концентрации Sn, Rb, Li, F в гранитах и гидротермально измененных породах позволяют рассматривать этот массив как перспективный в отношении обнаружения оловянного оруденения грейзенового типа, а повышенное содержание Cl в слюдах является показателем специализации комплекса на Au, Cu, Pb, Zn, Mo. Тем не менее, дифференциация расплава не привела к формированию редкометалльных гранитов, а выразилась лишь в повышении в 2-4 раза содержания гранитофильных элементов. Причиной этого могут быть преимущественно глубинные условия кристаллизации и недосыщенность расплавов водой.

Полученный возраст кристаллизации гранитов второй фазы Трехголового массива, в пределах ошибки измерения близкий к возрасту гранитов главной фазы этого же массива (1,91 млрд. лет) и сильно отличающийся от значения, полученного по циркону из гранитов крайней юго-западной части массива (1,86 млрд. лет), позволяет считать, что в состав приморского комплекса объединяются разновозрастные граниты, сходные по петрографическому составу и геохимии.

## **Список опубликованных работ по теме диссертации**

*Статьи в рецензируемых журналах*

1. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.** Геохимическая типизация гранитов приморского комплекса Западного Прибайкалья // Доклады РАН, 2010. Т. 435, №2. С. 244-248.

2. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.**, Карманов Н.С. Аксессуарные минералы приморского комплекса гранитов рапакиви (Западное Прибайкалье) // Записки Российского минералогического общества, 2011. №2. С. 38 – 58.

3. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.** Фторфлогопит из альбитизированных гранитов приморского комплекса (Западное Прибайкалье) // Записки Российской минералогического общества, 2011. №4. С. 119 – 128.

*Тезисы докладов на российских и международных конференциях*

4. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.** Редкометаллная минерализация в раннепротерозойских постколлизийных гранитах Приморского комплекса (Западное Прибайкалье) // Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность ранитоидных батолитов: Материалы I международной конференции. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. С. 339 – 342.

5. **Базарова Е.П.** Особенности состава слюд в гранитах приморского комплекса // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXIII Всероссийской молодежной конференции 21 – 26 апреля 2009 г., Иркутск. – Иркутск, Институт земной коры СО РАН, 2009. С. 129 – 130.

6. **Базарова Е.П.** Геохимия гранитов приморского комплекса (граниты массива г. Трехголовый) // Современные проблемы геохимии. Материалы конференции молодых ученых 5 – 10 октября 2009 г., Иркутск. Иркутск: Изд-во УРАН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2009. С. 13 – 15.

7. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.**, Ларионов А.Н. Новые данные о возрасте гранитов приморского комплекса в Западном Прибайкалье // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН 11 – 14 октября 2009 г., Иркутск. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. –В 2-х томах. – Т. 2. С. 64 – 66.

8. **Базарова Е.П.** Геохимическая характеристика гранитов приморского комплекса // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIV международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. Т. 1. ТПУ. – Томск, издательство ТПУ, 2010. С. 71 – 81.

9. **Базарова Е.П.**, Савельева В.Б. Процессы грейзенизации в приморском комплексе гранитов рапакиви // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания. Екатеринбург, Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. Т. 1. С. 70 – 71.

10. Савельева В.Б., **Базарова Е.П.** Флюидно-геохимическая характеристика приморского комплекса гранитов рапакиви (Западное Прибайкалье) // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Тезисы докладов XI Всероссийского петрографического совещания. Екатеринбург, Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. Т. 2. С. 199 – 200.

11. **Базарова Е.П.** Турмалинизация в гранитах Трехголового массива приморского комплекса (Западное Прибайкалье) // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции

(Иркутск, 19 – 24 апреля 2011 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. С. 62 – 63.





