

На правах рукописи

ЛЕВИЦКИЙ Иван Валерьевич

**ГЕОХИМИЯ ГРАНУЛИТОВЫХ И ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ
ПРИСАЯНСКОГО ВЫСТУПА ФУНДАМЕНТА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Специальность 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск
2012

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

Научные руководители: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Котов Александр Борисович (ИГГД РАН)

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
Ефремов Сергей Васильевич (ИГХ СО РАН)

Официальные оппоненты: Абрамович Григорий Яковлевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ИГУ, профессор кафедры динамической геологии

Козаков Иван Константинович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ИГГД РАН, главный научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Защита состоится «28» ноября 2012 г. в 14⁰⁰ 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: (3952) 42-70-50. E-mail: korol@igc.irk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИГХ СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Автореферат разослан «8» октября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Г.П.Королева

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Проблема формирования континентальной коры в докембрии крайне актуальна в современной геологии и геохимии. Важное место в ее решении занимают геохимические и изотопно-геохронологические исследования метаматматических и метаосадочных пород, поскольку только они позволяют реконструировать природу, первичный состав и геодинамические обстановки формирования, что служит объективной основой для разработки моделей становления и эволюции докембрийской континентальной коры. В настоящей диссертационной работе в этом аспекте рассматриваются геохимические особенности разновозрастных пород слабо- и глубоко-метаморфизованных метаморфических комплексов Присяянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы (ФСП), который является примером докембрийских провинций. Здесь для непосредственного изучения доступны практически все главные ассоциации и типовые тектонические структуры раннего докембрия.

Цель диссертации состояла в том, чтобы реконструировать первичный состав, установить геодинамические обстановки формирования протолитов и получить информацию о возрасте слабо- и глубоко-метаморфизованных докембрийских комплексов Присяянского краевого выступа ФСП.

Задачи исследований:

1. Провести комплексные геологические, геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования доминирующих разностей метаморфических пород шарыжалгайского и китойского гранулитовых комплексов, Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов (ЗП), а также Гарганской глыбы для реконструкции первичного состава и геодинамических обстановок формирования протолитов.

2. Выявить различия в составе и геодинамических обстановках формирования протолитов неоархейских и палеопротерозойских метаморфических пород шарыжалгайского комплекса.

3. Разработать для Присяянского краевого выступа ФСП схему корреляции эндогенных процессов.

4. Определить возрастные рубежи проявления регионального метаморфизма в истории геологического развития китойского комплекса.

Объекты исследований – метаматматические, метаосадочные силикатные, карбонатные и железистые породы гранулитовых (шарыжалгайский и китойский) и зеленокаменных (Онотский и Таргазойский ЗП, гранито-гнейсы тоналит-трондjemит-гранодиоритовых ассоциаций (ТТГА) их основания и Гарганской глыбы) комплексов.

Фактический материал. В основе диссертации лежат материалы, собранные автором в ходе полевых исследований Присяянского выступа (2008–2011 гг.). Для обоснования защищаемых положений изучено 650 шлифов, использовано 527 оригинальных анализов пород на главные и редкие элементы, 121 оригинальный анализ на редкоземельные элементы. Выполнены Sm-Nd изотопные исследования 27 проб метаосадочных и метавулканических пород, датированы U-Pb методом по циркону 5 реперных комплексов. В работе использованы пробы З.И. Петровой (19 шт.), В.И. Левицкого (138 шт.).

Аналитические методы. Применялись рентгенофлюоресцентный (А.Я. Финкельштейн, Е.В. Чупарина, З.М. Ложкина, А.К. Климова, Т.С. Айсуева), количественный спектральный (А.И. Кузнецова, О.В. Зарубина, Л.А. Персикова, Н.Л. Чумакова, О.М. Чернышова, В.А. Русакова, С.С. Воробьева, Е.В. Смирнова – Ba, Sr, La, Ce, Yb, Y, Zr, Cr, V, Ni, Co), пламенной фотометрии (Л.В. Алтухова, С.И. Шигарова, М.И. Уфимцева –

Li, Rb, Cs), метод индукционно-связанной плазмы – ICP-MS (Е.В. Смирнова, Л.А. Чувашова, Н.Н. Пахомова, Г.П. Сандиминова, С.В. Пантеева), выполненные в Институте геохимии СО РАН. Изотопно-геохронологические (U-Pb метод по циркону; Sm-Nd) исследования проведены в ИГГД РАН (Е.Б. Сальникова, И.В. Анисимова, В.П. Ковач).

Интерпретация результатов. Для проведения палеореконокструкций автором применялись традиционные методы петрологии и геохимии, использовались графики нормирования REE, мультиэлементные спектры, диаграммы (Куно, 1964; Классификация..., 1981; Неелов, 1980; Pearce, 1982, 1984; Юдович, Кетрис, 2000; Bhatia, 1983; Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Научная новизна работы состоит в том, что впервые:

1. Установлены геохимические особенности метаморфических пород слабо- и глубокометаморфизованных комплексов Присяянского выступа ФСП, проведены реконструкции их первичной природы и геодинамических обстановок формирования протолитов.

2. Определен возраст протолитов тоналит-трондьемитовых плагиогнейсов Гарганской глыбы и наложенных на них структурно-метаморфических преобразований.

3. Новыми данными уточнены возрастные рубежи регионального метаморфизма китойского комплекса Присяянского выступа ФСП.

4. Обосновано представление об аполатеритной природе андалузит-силлиманитовых руд Китойского месторождения.

5. В шарыжалгайском комплексе выделены метаморфические породы неоархейского и палеопротерозойского возрастов, обосновано присутствие неоархейских расслоенных тел метагаббро-метаанортозитов (2649 млн лет) и метавулкаников высококаалиевой известково-щелочной (шошонит-латитовой) серии.

Практическая значимость работы. Полученные в ходе исследований по теме диссертации результаты могут быть использованы для разработки корреляционных легенд по созданию геологических карт нового поколения Присяянского краевого выступа ФСП и сопредельной территории Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Основные защищаемые положения.

1. В шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе тектонически совмещены метаморфизованные в условиях гранулитовой фации породы неоархейского и палеопротерозойского возраста. Неоархейские породы представлены биотит-двупироксеновыми и биотит-гиперстеновыми плагиосланцами и плагиогнейсами, высоко- и умеренноглиноземистыми гнейсами, кальцифирами и кальцитовыми мраморами, палеопротерозойские – двупироксеновыми плагиосланцами и плагиогнейсами, низко-и умеренноглиноземистыми гнейсами, доломитовыми мраморами.

2. Протолитами неоархейских метавулканических пород шарыжалгайского комплекса послужили вулканические породы высококаалиевой известково-щелочной (шошонит-латитовой), а палеопротерозойских – известково-щелочной серии. Протолиты неоархейских метавулканических пород китойского комплекса представлены вулканическими породами известково-щелочной серии. Образование протолитов метавулканических пород шарыжалгайского и китойского полиметаморфических комплексов происходило в надсубдукционных обстановках.

3. Геохимические особенности ТТГА гранито-гнейсов Гарганской глыбы свидетельствуют о том, что она является фрагментом фундамента Сибирской платформы.

4. Существенные различия в возрасте и геохимических особенностях пород гранулитовых и зеленокаменных комплексов указывают на то, что в Присаянском краевом выступе ФСП зеленокаменные комплексы не могли быть протолитом гранулитовых.

Личный вклад автора. Проводил самостоятельные полевые работы с отбором проб и обработку геохимических данных шарыжалгайского (2008–2011 гг.) и китойского (2010–2011 гг.) комплексов, Онотского (2009–2011 гг.) и Таргазойского (2010 г.) ЗП, Гарганской глыбы (2007, 2009 гг.).

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 24 работы, из них 3 статьи из списка журналов ВАК (одна персональная, две в соавторстве), 21 – материалы и тезисы к совещаниям. Сделано 4 доклада на конференциях: международной – «Современные проблемы геохимии» (ИГХ СО РАН, Иркутск, 2007 г.); молодых ученых «Основные проблемы геохимии» (ИГХ СО РАН, Иркутск, 2009, 2011 гг.) и «Строение литосферы и геодинамика» (ИЗК СО РАН, Иркутск, 2009 г.).

Объем и структура диссертации. Объем работы – 276 страниц, включая 42 таблицы, 73 иллюстрации, табличное приложение – 21. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения. Список литературы содержит 172 наименования.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма ИГХ СО РАН. Нет предела благодарности, которую выражает автор всем, кто способствовал его становлению как специалиста: научным руководителям А.Б. Котову (ИГГД РАН) и С.В. Ефремову (ИГХ СО РАН), директору ИГХ академику М.И. Кузьмину. Глубочайшая признательность за общение и науку полевых исследований академику Ф.А. Летникову, чл.-корр. РАН Е.В. Складову, Л.З. Резницкому, А.И. Мельникову, И.Г. Барашу (ИЗК СО РАН), В.Г. Иванову, В.Е. Загорскому, А.Б. Перепелову, В.М. Макагону, А.Н. Сапожникову, М.А. Митичкину (ИГХ СО РАН), Е.Б. Сальниковой, В.П. Ковачу, С.Д. Великославинскому, И.В. Анисимовой, А.Б. Кузнецову (ИГГД РАН), В.С. Федоровскому (ГИН РАН), В.М. Жандалинову («АЛРОСА»), А.Н. Диденко (ИГТ ДВО РАН), проф. М.М. Райту (Боннский университет), А.В. Лавренчуку (ИГМ СО РАН), Р.М. Латыпову (университет Оулу). Огромная благодарность за ценные замечания при подготовке работы В.А. Макрыгиной, А.Я. Медведеву, В.Д. Козлову. В этой работе огромный вклад аналитиков ИГХ СО РАН, ИГГД РАН, ИЗК СО РАН.

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХРОНОЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ ГРАНУЛИТОВЫХ И ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИСАЯНСКОГО КРАЕВОГО ВЫСТУПА

Присаянский (Шарыжалгайский) краевой выступ ФСП (Докембрийская геология СССР, 1982) прослеживается от побережья оз. Байкал на 300 км к северо-западу до р. Ока. Ширина его колеблется от 80 км на побережье оз. Байкал до 15 км на северо-западе. На северо-востоке он перекрыт толщами платформенного чехла. С юга и юго-запада границей выступа является зона Главного Саянского разлома.

С 80-х гг. XX в. (Грабкин, Мельников, 1980) в Присаянском краевом выступе выделяли северо-восточный Иркутский, центральный Жидойский, северо-западные Китойский и Булунский блоки (рис. 1). Некоторые исследователи (Беличенко и др., 2010) считают, что выступ состоит из кратонных структурно-вещественных комплексов (террейнов): Шарыжалгайского (гранулитовой и амфиболитовой фаций), Онотского (амфиболитовой и зеленосланцевой фаций), Гарганского (амфиболитовой фации).

Основными стратиграфическими подразделениями Присаянского выступа ФСП являются (Докембрий ..., 1964; Геология СССР, 1964; и др.): шарыжалгайская серия,

доминирующая Иркутном и Жидойском блоках; китойская серия, слагающая южную часть Китайского блока и породы Онотского ЗП в северной его части; породы Таргазойского ЗП (Эволюция..., 1988) в Булунском блоке. В работе рассмотрена Гарганская глыба – фундамент Тувино-Монгольского массива. Формально глыба не относится к Присаянскому выступу, но существовали взгляды (Докембрий..., 1964; др.) о том, что она сложена породами шарыжалгайской серии, поэтому она была объектом изучения.

В Присаянском выступе по степени метаморфизма обособляются: 1) породы гранулитовой фации шарыжалгайского и китойского комплексов, которые объединяются в Прибайкальскую гранулит-гнейсовую область (ПрГГО); 2) низкометаморфизованные «комплексы гранито-гнейсов ТТГА основания» («гранито-гнейсы комплекса основания») и породы Онотского, Таргазойского ЗП, относящиеся к Восточно-Саянской гранит-зеленокаменной области (ВСГЗО) (Левицкий и др., 2000; Левицкий, 2005).

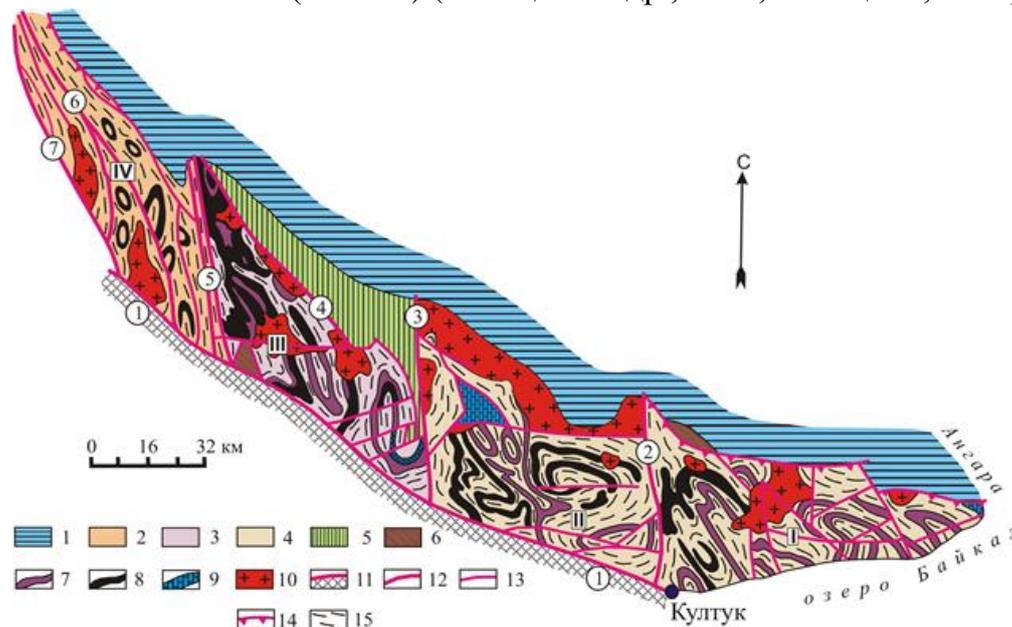


Рис. 1. Геологическая схема Присаянского выступа (Грабкин, Мельников, 1980).

1 – платформенный чехол. 2–5 – архейские породы: Таргазойского ЗП (2), китойского (3) и шарыжалгайского (4) комплексов, Онотского ЗП (5). 6 – позднепротерозойские породы грабенов; 7–9 – маркирующие горизонты: гранатсодержащих гнейсов (7), амфиболитов (8), мраморов (9); 10 – гранитоиды саянского комплекса; 11– 13 – разломы: Главный Саянский (11), межблоковые (12), недифференцированные (13); 14– надвиги; 15 – простираение полосчатости.

Римскими цифрами обозначены блоки: I – Иркутный, II – Жидойский, III – Китойский, IV – Булунский. Цифры в кружках – разломы: 1 – Главный-Саянский, 2 – Зазарский, 3 – Даб-адский, 4 – Алагнино-Холомхинский, 5 – Онотский, 6 – Аларский, 7 – Точерский.

Гранулитовые комплексы – шарыжалгайский, китойский. Использование для них этого понятия, а не «серия» является предпочтительнее, ибо термин «комплекс» отражает их полихронный и полигенный характер. В обоих комплексах преобладают основные и кислые метамагматические породы, в меньшей степени развиты метаосадочные. Карбонатные породы ограниченно присутствуют в шарыжалгайском комплексе, но больше распространены в китойском. Китойский комплекс залегает на шарыжалгайском. В комплексах по геологическим, вещественным и геохронологическим признакам выделяются (Петрова, Левицкий, 1984): ранняя группа – изохимически метаморфизованные породы гранулитовой фации (кристаллические сланцы, гнейсы, мраморы); аллохимические продукты их ультраметаморфических преобразований (мигматиты, граниты); поздняя – метасоматиты (Левицкий, 2005). В комплексах ранняя группа пород составляет 15–30 % ее объема, поздняя – 70–85 % (Петрова, Левицкий, 1984). Последняя группа полностью определяет структурно-вещественный облик обоих гранулитовых комплексов.

Шарыжалгайский комплекс сложен основными ортопородами (биотит-двупироксеновыми и двупироксеновыми плагиосланцами) с переходами к плагиогнейсам (двупироксеновым, гиперстеновым и биотит-гиперстеновым). Переслаивание основных кристаллических сланцев и гнейсов, реконструируемых от базальтов до риолитов, указывает на возможную принадлежность их протолитов к бимодальным сериям. Менее развиты метаосадочные биотит-гранатовые и гранат-гиперстеновые (\pm Би) плагиосланцы и плагиогнейсы, кварцитогнейсы. По геохимическим данным (глава 2) биотит-двупироксеновые плагиосланцы и плагиогнейсы реконструируются как образования высококалиевой известково-щелочной (шошонит-латитовой) серии, которые обнаружены в комплексе впервые. Встречаются высокоглиноземистые парагнейсы, карбонатные породы, метагабброиды. Двупироксеновые плагиосланцы преобразованы в амфиболиты.

По данным U-Pb метода по цирконам, возраст протолита биотит-двупироксеновых плагиосланцев древнее 2649 ± 6 млн лет – так как они пересекаются метагабброидами с таким возрастом. Возраст метаморфизма двупироксеновых сланцев – 1873 ± 20 млн лет, развитых по ним амфиболитов (диафторитов амфиболитовой фации) – 1860 ± 4 млн лет (Анисимова и др., 2009). Эпизоды гранулитового метаморфизма для шарыжалгайского комплекса: неоархейский – 2,56–2,65 млрд лет; палеопротерозойский – 1,85–1,87 млрд лет (Сальникова и др., 2007). Они подтверждаются датированием по метаморфическим минералам – 2,48–2,56 и 1,87 млрд лет (Левченков и др., 2012). Для протолитов шарыжалгайского комплекса отмечено два возрастных уровня модельного возраста $T_{Nd}(DM)$ – мезо-неоархейский (2,9–3,8 млрд лет) и палеопротерозойский (2,3–2,5 млрд лет).

В шарыжалгайском комплексе вещественные и геохронологические данные позволили впервые установить породы, присущие неоархейскому и палеопротерозойскому эпизодам гранулитового метаморфизма (И.В. Левицкий, 2010, 2011 и др.). Неоархейские ассоциации представлены биотит-двупироксеновыми плагиосланцами и плагиогнейсами, ортогнейсами высококалиевой известково-щелочной серии, эндербитами, метагабброидами, кальцитовыми мраморами, кальцифирами, а палеопротерозойские – метабазальтовыми (известково-щелочных серий) двупироксеновыми, пироксеновыми, гиперстеновыми (\pm Амф, Кв, Мгт, Би, Илм) плагиосланцами и плагиогнейсами, метатерригенными биотитовыми и биотит-гранатовыми гнейсами и плагиогнейсами, доломитовыми мраморами, кварцитогнейсами. Неоархейские и палеопротерозойские образования сочетаются в одном разрезе и, вероятно, являются тектоническими пластинами. Полученные данные указывают на то, что наблюдаемый разрез гранулитовых шарыжалгайского и китойского комплексов не может являться стратиграфическим, а представляет собой тектонический коллаж пород различного состава, сформированных в разное время.

Первое защищаемое положение. *В шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе тектонически совмещены метаморфизованные в условиях гранулитовой фации породы неоархейского и палеопротерозойского возраста. Неоархейские породы представлены биотит-двупироксеновыми и биотит-гиперстеновыми плагиосланцами и плагиогнейсами, высоко-и умеренноглиноземистыми гнейсами, кальцифирами и кальцитовыми мраморами, палеопротерозойские – двупироксеновыми плагиосланцами и плагиогнейсами, низко-и умеренноглиноземистыми гнейсами, доломитовыми мраморами.*

Китойский комплекс доминирует в Китойском блоке, присутствует в Булунском. Изучено три участка, различающихся между собой степенью метаморфизма, количественными соотношениями пород, протолитами и их вещественными характеристиками.

1. В стратотипе комплекса на левом берегу р. Китой развиты двупироксеновые плагиосланцы, амфиболиты, переслаивающиеся с умеренно- и высокоглиноземистыми плагиогнейсами, кальцитовыми (реже доломитовыми) мраморами, кварцитогнейсами, кварцитами (\pm Мгт). Возраст секущих двупироксеновых плагиосланцев ультраметагенных гранитоидов составляет 2535 ± 7 млн лет (U-Pb метод по цирконам) (Гладкочуб и др., 2005), возраст метаморфических пород – 1,84–1,87 млрд лет (Poller et al., 2005).

2. В бассейнах рек Олот, Малая и Большая Белая доминируют амфиболиты, биотитовые плагиогнейсы, умеренно- и высокоглиноземистые плагиогнейсы, реже встречаются – кальцитовые и доломитовые мраморы, кварцитогнейсы. Двупироксеновые сланцы отмечены как реликты в амфиболитах, т.е. преобладают образования регрессивной амфиболитовой фации. Для плагиогнейсов Rb-Sr изохронным методом по породам была получена оценка возраста 2827 ± 54 млн лет (Сандимирова и др., 1993).

3. В районе Китойского силлиманитового месторождения в нижних частях разреза комплекса доминируют амфиболиты, меланократовые амфиболовые, биотит-амфиболовые и пироксен-амфиболовые плагиогнейсы, отмечены гранат- и силлиманитсодержащие гнейсы, пироксеновые кальцифиры, доломитовые и кальцитовые мраморы. В средней части развиты метатерригенные лейкократовые биотитовые (\pm Амф, Гр) и меланократовые амфиболовые (\pm МП, Гр), гранат-биотитовые, гранат-силлиманитовые и гранат-андалузит-силлиманитовые плагиогнейсы (+Би, Крд). В верхней части разреза преобладают метаосадочные биотит-андалузитовые (\pm Сил, Кор, Илм) и существенно андалузитовые (\pm Сил, Би, Гр, Илм) с графитом сланцы и гнейсы. От нижних частей разреза к верхним доля метавулканических и карбонатных пород уменьшается, метатерригенных пород и латеритных кор выветривания – возрастает. Исследователи (Хлестов, Ушакова, 1968) отмечали переходы амфиболитов к двупироксеновым плагиосланцам. Возраст, полученный U-Pb методом по магматическому циркону амфибол-биотитовых плагиогнейсов Китойского силлиманитового месторождения составляет 2578 ± 16 млн лет (ИГГД РАН, Е.Б. Сальникова), а возраст секущих амфиболитов гранатовых ортотектитов ультраметаморфического этапа – 2482 ± 4 млн лет (Сальникова и др., 2009; Левицкий и др., 2010). Первая датировка отражает возраст магматического протолита гнейсов, а вторая – время завершения этапа метаморфизма.

В китойском комплексе гранулитовый метаморфизм проявился в интервале – 2,48–2,54 млрд лет, а в палеопротерозое отмечается повторный метаморфизм неоархейского протолита (в условиях амфиболитовой фации) – 1,84–1,87 млрд лет. Неоархейский эпизод подтвержден и датированием (Глебовицкий и др., 2011) по минералам гнейсов (Pb-Pb метод Гр-Сил; Sm-Nd метод – вал-Гр; U-Pb метод – Мон) – 2,41–2,54 млрд лет, а палеопротерозойский – 1,62–1,9 млрд лет (Pb-Pb метод – Ру; Rb-Sr метод – Би).

Зеленокаменные комплексы представлены породами Олотского и Таргазойского ЗП, гранито-гнейсами (ТТГА) их основания, гранито-гнейсами Гарганской глыбы.

Олотский зеленокаменный пояс залегает субмеридионально в северной части Китойского блока, представляя асимметричную синклиналию структуру (Левицкий, 1994, 2005) круто налегая на китойский комплекс. Его размеры: длина – 90 км, ширина на юге – 22 км, на севере – 1 км. Он имеет форму треугольника и ограничен с юго-запада Алагнинским, с востока – Дабадским разломом. В Олотском ЗП (снизу вверх) выделяются свиты: бурухтуйская, малоиретская, камчадальская и Соснового Байца. Они метаморфизованы в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. В бурухтуйской свите амфиболиты переслаиваются с амфибол-биотитовыми сланцами, гранат-

биотитовыми гнейсами и сланцами, кварцитами, известняками. Малоиретская свита включает биотитовые и биотит-гранатовые гнейсы, амфибол-биотитовые (\pm Гр) и биотитовые микрогнейсы (ортогнейсы), амфиболиты. В камчадальской свите присутствуют доломитовые и магнезитовые мраморы, метамагматические амфиболиты и гнейсы, метаосадочные низко (\pm Гр, Би, Кв, Пл)- и высокоглиноземистые (\pm Ст, Крд, Би, Гр, Пл, Кв, Амф) гнейсы и сланцы, кварциты (\pm Мгт). В свите Соснового Байца доминируют амфиболиты и биотит-гранатовые гнейсы, переслаивающиеся с гематит-магнетитовыми и гематитовыми кварцитами, мономинеральными и силлиманитовыми кварцитами.

Rb-Sr изохронным методом для амфиболитов и биотит-гранатовых гнейсов разных свит Онотского ЗП были получены оценки возраста от 2675 до 2786 млн лет (Сандиминова и др., 1993). Модельный возраст пород Онотского ЗП $T_{Nd}(DM)$ – 2,7–3,6 млрд лет (Туркина, Ножкин, 2008; наши данные).

Таргазойский зеленокаменный пояс выделен в 1988 г. (Эволюция земной коры..., 1988) в полосе развития таргазойской и ерминской серий (или свит шарыжалгайской серии) Булунского блока. С юго-востока он ограничен Главным Саянским разломом, на северо-западе погружается под чехол Сибирской платформы, залегает в виде субмеридиональной полосы шириной от 10 до 17 км и длиной до 80 км. Для Таргазойского ЗП характерно чешуйчато-надвиговое строение, а также присутствие высокобарических ассоциаций, прежде всего гранатовых амфиболитов (Скляров и др., 1998, 2001).

В строении и составе Онотского и Таргазойского ЗП много общего. Для инфраструктуры характерны комплексы гранито-гнейсов (ТТГА) основания, а для супраструктуры – метамагматические амфиболиты (\pm Гр), плагиогнейсы, метаосадочные низкоглиноземистые биотитовые, гранат-биотитовые и высокоглиноземистые (\pm Ки, Гр, Ст, Пл, Кв), кварциты (\pm Мгт, Гем, МП). В Таргазойском ЗП по сравнению с Онотским ЗП больше парагнейсов, metabазальтовых и апогабброидных гранатовых амфиболитов (Скляров и др., 1998), а мраморы отсутствуют. Модельный возраст $T_{Nd}(DM)$ пород Таргазойского ЗП – 2,89–3,6 млрд лет (Туркина, Ножкин, 2008; наши данные).

Тоналит-трондьемит-гранодиоритовые ассоциации ЗП слагают так называемые комплексы гранито-гнейсов основания. В Присянском выступе они известны в обрамлении Онотского ЗП (междуречье Онот – Савина) на протяжении почти 38 км и в Таргазойском ЗП (междуречье Урик – Белая – Хор-Тагна) на протяжении 45 км. Они образуют разобщенные выходы (массивы) разных размеров, тектонические пластины мощностью от 500 м до 2 км и имеют с породами ЗП тектонические контакты. Фиксируются вариации в составе ТТГА, проявленные в доминировании в одних участках тоналитовых, в других – трондьемитовых гнейсов с обилием структурно-текстурных разностей. Тоналиты составляют 65–70 %, трондьемиты – 29–33 %, амфиболиты – 1–2 %.

U-Pb методом по цирконам для тоналитов Онотского ЗП получены оценки возраста в интервале 3287 ± 8 – 3386 ± 14 млн лет (Бибикова и др., 2002, 2006). Модельный возраст $T_{Nd}(DM)$ для них составляет 3,1–3,6 млрд лет (Туркина и др., 2009; наши данные). Возраст трондьемитов и плагиогранитов Таргазойского ЗП – 3249 ± 6 и 3330 ± 8 млн лет (SHRIMP) (Туркина и др., 2009), а модельный возраст $T_{Nd}(DM)$ – 3,2–3,6 млрд лет (Туркина и др., 2009; наши данные).

Гарганская глыба расположена в восточной части Восточного Саяна и большинством исследователей (Беличенко и др., 2003; Кузьмичев, 2004; Хераскова и др., 1995; и др.) рассматривается как докембрийское основание Тувино-Монгольского массива (микроконтинента по А.В. Ильину, 1971). Ее тектоническое положение является пред-

метом острейших дискуссий. С начала 30-х гг. XX в. одни исследователи (Обручев, 1934; Лодочников, 1941; и др.) считали, что она является частью фундамента Сибирской платформы (Докембрий ..., 1964; и др.), а другие (Беличенко и др., 2003; Кузьмичев, 2004; и др.) полагали, что она представляет собой изолированный от фундамента блок («глыбу», «массив», «кратонный террейн») в Центрально-Азиатском складчатом поясе. В настоящий момент часть исследователей считает Гарганскую глыбу осколками Сибирского кратона, часть – фрагментом одного из Гондванских материков (Хераскова и др., 1995; 2010; Кузьмичев, Ларионов, 2011). В краевых частях глыбы развиты породы офиолитовой ассоциации, имеющие аллохтонное залегание (Добрецов и др., 1985).

Ранее считалось, что докембрийский фундамент Гарганской глыбы сложен породами шарыжалгайской серии (Докембрий..., 1964). При проведении исследований было установлено, что докембрийские породы фундамента глыбы представлены комплексом полосчатых и гнейсовидных ТТГА с редкими включениями амфиболитов и габбро. В гнейсах проявлены ультраметаморфические преобразования с мигматитами и гранитами. U-Pb методом по цирконам были получены оценки возраста – 2727 ± 6 млн лет и 2611 ± 11 млн лет, первая из которых отражает возраст магматического циркона тоналитов, а вторая – ультраметаморфических преобразований (Анисимова и др., 2009).

ГЛАВА 2. ГЕОХИМИЯ ГРАНУЛИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Применимость палеогеодинамических реконструкций к раннему докембрию дискуссионна. По современным представлениям, разделяемым многими исследователями, прогрессивный метаморфизм является изохимическим процессом, при котором наследуется химический состав протолита, исключая летучие компоненты (Менерт, 1970; Петров, Макрыгина, 1975; Макрыгина, 1981; Петрова, 1990; и др.). Для реконструкций состава протолита, определения его принадлежности к той или иной магматической серии использовались только породы прогрессивного этапа регионального метаморфизма.

Шарыжалгайский комплекс. Первые данные по геохимии и палеорекострукциям комплекса были получены З.И. Петровой, В.И. Левицким (Петрова, Левицкий, 1984).

Геохимия основных метамагматических пород и палеогеодинамические обстановки их формирования. Среди основных метамагматических пород выделяются:

1. Неоархейские. Биотит-двупироксеновые плагиосланцы (\pm Амф), биотитовые ортогнейсы относительно двупироксеновых плагиосланцев обогащены Na_2O , K_2O , Rb, Ba, Sr, LREE, Zr (таблица, выб. 6–7). На диаграмме X. Куно точки составов лежат в поле высокоглинозёмистых и щелочных базальтов, имеют резко фракционированный характер распределения REE, как правило, с отрицательной Eu аномалией.

К толеитовым базальтам близки неоархейские метагаббро, метагаббро-анортозиты, микрогаббро. Им присущи вариации Mg# (45–60), Al_2O_3 (13,7–20,7 %), умеренные содержания элементов группы железа, низкие – REE при пологих линиях спектра.

2. Палеопротерозойские. Двупироксеновые (\pm Амф, Кв, Би, Мгт), гиперстеновые и пироксеновые (\pm Амф, Кв, Би, Мгт) плагиосланцы с Mg# 38–68. На диаграмме X. Куно точки составов расположены в поле толеитовых и высокоалюминиевых базальтов. Они имеют горизонтальные линии спектров REE, соответствуя толеитовым базальтам ТН-2, реже ТН-1 типов (Конди, 1983). Иногда проявлено незначительное фракционирование REE, что наряду с высокими содержаниями щелочных и щелочно-земельных (таблица, выб. 7) элементов указывает на протолит метабазитов известково-щелочных серий.

Таблица

Средний химический (мас. %) и редкоэлементный (г/т) состав пород
зеленокаменных (1–5) и гранулитовых (6–14) комплексов

№№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n	69	18	63	26	50	12	65	32	21	29	56	13	9	56
SiO ₂	70,7	65,5	49,5	65,2	59,8	50,9	50,2	60,4	62,2	59,5	63,5	51,0	59,9	63,1
TiO ₂	0,28	0,42	1,27	0,65	1,10	1,45	1,39	0,87	0,85	0,88	0,89	1,22	1,14	0,82
Al ₂ O ₃	15,5	15,4	13,7	14,6	14,8	15,6	14,2	16,2	15,4	18,1	14,3	14,5	14,9	18,8
Fe ₂ O ₃ *	2,87	4,71	13,5	6,63	11,0	11,2	14,6	7,57	7,60	9,30	10,2	14,4	8,30	7,02
MnO	0,04	0,08	0,20	0,11	0,15	0,17	0,21	0,09	0,15	0,10	0,17	0,19	0,10	0,12
MgO	0,89	2,14	7,18	2,09	3,70	5,29	6,73	3,01	2,80	4,35	3,53	6,31	3,36	4,29
CaO	2,51	3,99	9,51	4,07	3,99	7,42	9,99	5,18	5,65	2,69	3,27	9,22	6,84	1,78
Na ₂ O	5,09	4,69	2,17	3,68	1,78	3,00	2,11	3,95	3,31	2,05	1,67	2,13	3,43	1,42
K ₂ O	1,32	1,43	1,00	2,14	2,02	2,89	0,62	1,88	1,16	2,38	1,82	0,75	1,32	1,74
P ₂ O ₅	0,07	0,11	0,14	0,16	0,21	0,95	0,17	0,30	0,23	0,07	0,09	0,12	0,22	0,05
Li	25	36	15	17	17	26	13	17	17	35	21	11	19	31
Rb	52	55	31	81	66	72	15	53	35	78	72	19	42	72
Ba	262	788	155	549	606	1220	210	708	410	651	395	179	300	369
Sr	299	473	159	232	197	990	162	396	305	200	129	154	515	79
B	48	14	16	12	28	10	11	5	6	11	10	17	8	27
Be	1,4	1,4	1,6	2,0	1,8	2,6	1,4	1,7	2,3	1,1	1,6	1,9	1,5	1,7
Mo	1,4	2,1	1,0	1,5	1,7	2,0	1,6	1,4	1,7	2,8	2,3	2,2	0,6	1,3
Sn	2,2	1,9	1,9	2,5	3,6	4,7	2,4	2,3	3,3	3,1	3,2	2,6	2,9	1,7
La	28	42	14	55	55	95	14	45	43	48	41	13	29	44
Ce	52	59	31	96	100	187	35	85	79	83	73	31	62	74
Nd	18	21	11	44	48	82	18	35	31	36	34	21	34	38
Yb	1,5	1,9	2,8	5,6	4,3	4,0	4,1	2,0	3,6	2,3	3,3	3,2	2,4	7,8
Y	13	10	24	34	39	54	31	22	22	20	27	25	23	97
Zr	170	169	87	258	255	291	99	283	178	192	214	106	251	304
Zn	43	77	115	75	125	156	182	98	99	148	128	148	135	132
Pb	10	44	7	13	17	13	9	11	15	16	13	6	11	12
Cu	17	9	106	27	45	77	86	28	32	49	43	76	40	64
Cr	44	52	314	138	151	129	178	118	74	277	181	131	85	416
V	31	86	290	92	156	171	288	116	137	178	150	341	139	172
Ni	17	33	133	48	85	69	100	58	36	143	76	92	63	181
Co	6	16	53	19	27	26	47	21	20	35	25	42	23	45
Sc	6	9	43	14	27	23	44	19	19	27	24	44	23	33

Примечание. 1 – гранито-гнейсы (ТТГА) ВСГЗО, 2 – гранито-гнейсы (ТТГА) Гарганской глыбы, 3 – амфиболиты по габбро и базальтам ВСГЗО, 4 – метамагматические породы среднего и кислого состава ЗП ВСГЗО, 5 – алюмосиликатные парапороды ВСГЗО; 6 – 11 – шарыжалгайский комплекс: неоархейские (6) и палеопротерозойские (7) основные метамагматические кристаллические сланцы, неоархейские (8) и палеопротерозойские (9) метамагматические породы среднего-кислого состава, неоархейские (10) и палеопротерозойские (11) алюмосиликатные парапороды; 12 – 14 – китойский комплекс: основные кристаллические сланцы (12), метамагматические породы среднего-кислого состава (13), алюмосиликатные парапороды (14).

n – количество проб в выборках. Приведенные составы выборок рассчитаны по средним значениям для метамагматических и алюмосиликатных парапород комплексов и свит, которые в совокупности охватывают весь круг пород каждого стратиграфического подразделения. Редко наблюдаемые типы исключены из расчетов.

Неоархейские протолиты, представленные биотит-двупироксеновыми плагиосланцами и ортогнейсами, пространственно совмещены между собой и реконструируются как высококалийевые известково-щелочные (шошонит-латитовые) серии – производные надсубдукционного магматизма. Палеопротерозойская группа – двупироксеновые плагиосланцы, соответствуют протолитам известково-щелочной (надсубдукционный магматизм) и толеитовой серий. Неоархейские и палеопротерозойские породы обособлены в полях диаграммы (рис. 2), различаются между собой содержаниями большинства элементов (таблица, выб. 6–7). Присутствие метабазитов с разными геохимическими характеристиками в одном комплексе указывает на то, что они не являются генетически едиными сериями, а сформировались в разных геодинамических обстановках и были совмещены при неоархейской и палеопротерозойской коллизии.

Геохимия метаосадочных и метамагматических пород среднего-кислого состава

Геохимия метаосадочных пород. Среди неоархейских пород преобладают умеренно- и высокоглиноземистые (\pm Би, Гр, Сил, Крд, Пл, Кв, Ги, Шп) сланцы, гнейсы, а среди палеопротерозойских – низко- и умеренноглиноземистые (\pm Би, Гр, РП, Кв, Крд) гнейсы, плагиогнейсы, кварцитогнейсы. Парাপороды Иркутского блока реконструируются как граувакки, аркозы, аргиллиты, алевропелиты (Неелов, 1980), соответствуя (Юдович, Кетрис, 2000) силитам и сиалитам, реже гидролизатам, а породы Жидойского блока – полимиктовые алевролиты, алевропелиты, карбонатистые и железистые аргиллиты (Неелов, 1980), относящиеся к гидролизатам, силитам, сиаллитам (Юдович, Кетрис, 2000). В целом, неоархейские парापороды по сравнению с палеопротерозойскими обогащены Al_2O_3 , MgO, K_2O , Na_2O , Ba, Sr, Cr, V, Ni, Co, обеднены SiO_2 , железом, CaO, Yb, Y (таблица, выб. 10–11). В распределении REE отмечается три типа спектров – пологие, крутые, V-образные без аномалий и с Eu минимумами, иногда весьма значительными.

Геохимия метамагматических пород среднего-кислого состава. К ним отнесены гнейсы, плагиогнейсы, эндербиты с содержаниями SiO_2 от 53 до 74 %, наблюдаемые в пластах, вкрест простирания которых отмечены переходы от основных к кислым разностям, что позволяет относить их к бимодальным сериям. Среди них по возрасту и вещественным параметрам (таблица, выб. 8–9) выделяются два типа ассоциаций.

Первый тип – неоархейские биотит-двупироксеновые, биотит-гиперстеновые плагиогнейсы (эндербиты), реставрируемые как протолиты высококалийевой известково-щелочной (шошонит-латитовой серий; рис. 2, выб. 1; таблица, выб. 8). Они обогащены Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , Ba, Sr, Zr, REE, имеют четко выраженные Eu минимумы.

Второй тип – палеопротерозойские гиперстеновые (\pm Би), двупироксеновые плагиогнейсы, эндербиты, реконструируемые как андезит-дацитовая нормальной щелочности серия (рис. 2, выб. 3; таблица, выб. 9). Им присущи высокие содержания CaO, Cr, V, Co, Ni, Sc и низкие – Al_2O_3 , P_2O_5 , Na_2O , K_2O , Ba, Sr, La, Ce, Nd, Pb. Эндербиты обоих типов отличаются по геологическому положению, структурно-текстурным и геохимическим особенностям от ультраметаморфических эндербитов (Петрова, Левицкий, 1984).

В целом, для метамагматических пород шарыжалгайского комплекса основного-кислого состава фиксируется два возрастных уровня надсубдукционного магматизма: неоархейский представлен метамагматическими образованиями высококалийевой известково-щелочной (шошонит-латитовой) ассоциации, палеопротерозойский – более «геохимически примитивными» породами известково-щелочной серии.

Геохимия «проблемных» метамагматических пород. Среди них отмечается две группы близкого облика. Первая – слабополосчатые гранит-мигматиты и лейкократовые

полосчатые плагиогнейсы. Фиксируется преобладание Na над K, повышенные содержания Al_2O_3 , Zr, Cr, V, Ni, умеренные – REE, присутствует Eu минимум. По распределению элементов, за исключением их низкой Mg#, породы группы однозначно могут быть отнесены к классическим ТТГА (Martin, 1994). Породы второй группы – мигматиты и граниты, относительно первой обогащены K, Na, Ba, Sr, обеднены – Al_2O_3 , Zr, Cr, V, Ni, Co, REE, имеют Eu максимум и принадлежат к ультраметаморфическим.

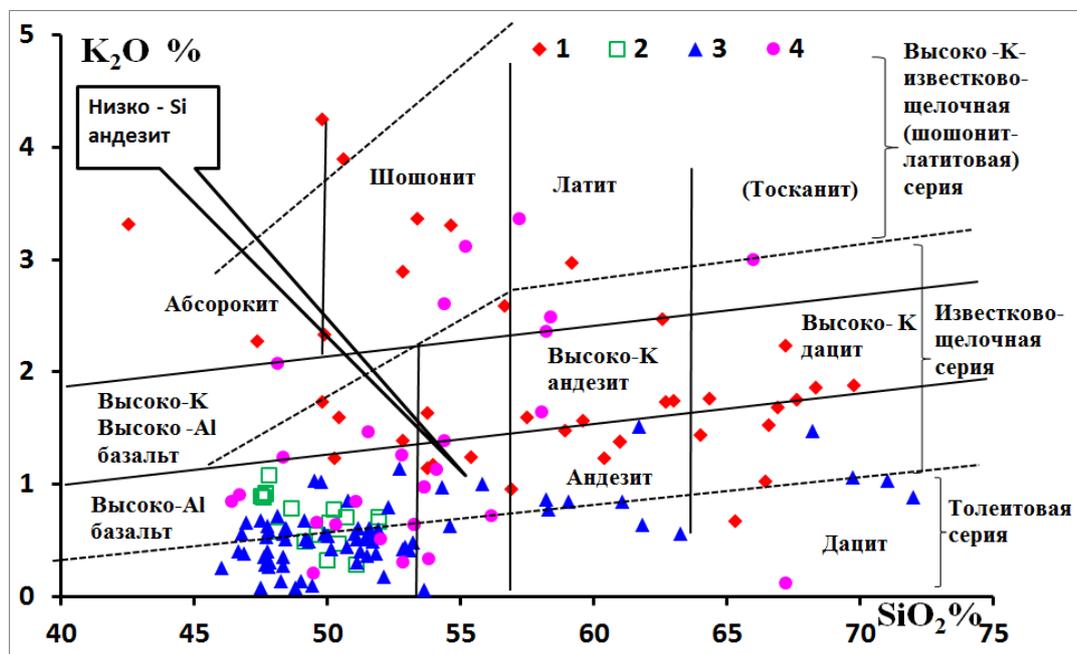


Рис 2. Реконструкция составов пород гранулитовых комплексов (Mackenzie, Chappell, 1972).

1–3 – шарыжалгайский комплекс: неoarхейские метавулканиды (1) и метагабброиды (2), палеопротерозойские метавулканиды (3); 4 – неoarхейский китойский комплекс.

Геохимия карбонатных пород и железистых кварцитов

Карбонатные породы. К участкам развития пород с неoarхейскими датировками приурочены пироксеновые кальцифиры и кальцитовые мраморы, обогащенные железом и MnO, а с палеопротерозойскими – доломитовые мраморы, обедненные железом, MnO.

Железистых кварциты. Общей их геохимической чертой являются низкие содержания практически всех редких элементов.

Китойский полиметаморфический комплекс изучен в районах: 1) его выделения как стратотипа в левобережье р. Китой, 2) бассейна рек Онот, Малая и Большая Белая, 3) Китойского андалузит-силлиманитового месторождения. Было установлено, что гранулитовые парагенезисы в нем являются редкими и реликтовыми.

Геохимия и обстановки формирования метамагматических пород

Метамагматические породы основного состава представлены апобазальтовыми и апогаббровыми амфиболитами (\pm Гр, МП), дупироксеновыми сланцами известково-щелочной (умеренно-и высококалиевой) и толетовой серий (рис. 2) с низкой Mg# (38–53), отличными по составу от архейских базальтов ТН-1 и ТН-2 (Конди, 1983).

Метамагматические породы среднего-кислого состава. Амфиболовые плагиогнейсы (\pm Би, МП, РП) реконструируются как андезитобазальты и дациты нормальной щелочности; амфибол-биотитовые (\pm МП, РП) и биотитовые (\pm Амф) плагиогнейсы – известково-щелочные вулканиды; биотит-амфиболовые плагиогнейсы – как дациты.

Неoarхейские метамагматические породы основного-кислого состава китойского комплекса по геохимическим характеристикам, распределению REE соответствуют вулканидам известково-щелочных серий варьирующей калиевости (рис. 2). Китойский комплекс, как и шарыжалгайский, представляет неoarхейский аккреционно-коллизийный террейн, в котором тектонически совмещены породы разных обстановок.

Геодинамические обстановки. Основные–кислые метамагматические породы китойского комплекса по вещественным параметрам (таблица, выб. 12–13) подобны надсубдукционным известково-щелочным сериям, но в отличие от шарыжалгайского комплекса они имеют неархейский возраст.

Геохимия метаосадочных пород. Для различных частей комплекса отмечаются существенные вариации в составе и природе протолита и соответственно содержаниях элементов. Низко- и умеренноглиноземистые разности в основном реконструируются как нормосиаллиты и миосиаллиты, суперсилиты, а высокоглиноземистые – гипосиаллиты, нормосиаллиты, гидролизаты (Юдович, Кетрис, 2000). По А.Н. Неелову (1980), среди первых преобладают полимиктовые, граувакковые, карбонатистые, карбонатные, железистые алевролиты, туффиты, псаммитолиты, миосилиты, а среди высокоглиноземистых – пелитовые аргиллиты, пиррофиллитовые, иллитовые, гидрослюдистые, карбонатистые и железистые субсиаллиты, сиаллиты, латериты. Высокие содержания как железа, MgO, Cr, Ni, так и REE, Zr в сланцах и гнейсах могут свидетельствовать о том, что продуктами их разрушения могли быть как ультраосновные, так и кислые породы, ТТГА. Парাপороды различаются по содержаниям REE – могут быть обедненными ими, а могут содержать аномальные количества, иметь крутые наклоны линий на графиках с отрицательными Eu аномалиями. Наиболее распространенным биотит-гранатовым плагиогнейсам и гнейсам присущи линии REE, близкие к PAAS и NASK, реже ES. Андалузитовые (+Сил, Би, Гфт) сланцы имеют высокие концентрации LREE, низкие – HREE с большими Eu минимумами, отражающими их аполатеритную природу.

Геохимия карбонатных пород, представленных пироксеновыми кальцифирами с гроссуляром, кальцитовыми, доломитовыми мраморами. Они имеют более высокие содержания железа, MnO, Ba по сравнению с породами шарыжалгайского комплекса.

Второе защищаемое положение. *Протолитами неархейских метавулканических пород шарыжалгайского комплекса послужили вулканические породы высококальциевой известково-щелочной (шошонит-латитовой), а палеопротерозойских – известково-щелочной серии. Протолиты неархейских метавулканических пород китойского комплекса представлены вулканическими породами известково-щелочной серии. Образование протолитов метавулканических пород шарыжалгайского и китойского полиметаморфических комплексов происходило в надсубдукционных обстановках.*

ГЛАВА 3. ГЕОХИМИЯ КОМПЛЕКСОВ ГРАНИТО-ГНЕЙСОВ ОСНОВАНИЯ И ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСОВ

В зеленокаменных областях выделяют: 1) древние породы, представленные массивами ТТГА «комплексов гранито-гнейсов основания» или «гранито-гнейсовые комплексы основания»; 2) зеленокаменные и/или парагнейсовые пояса.

Геохимия комплекса гранито-гнейсов (ТТГА) и пород Онотского ЗП. Датирование трондьемитов (Бибикова и др., 1982) в онотской свите Онотского грабена (Шамес, 1962) явилось началом выделения ЗП (Эволюция ..., 1988; Сандиминова и др., 1992).

Комплекс основания Онотского ЗП сложен метатоналитовыми, метатрондьемитовыми, лейкократовыми плагиогнейсами и редкими включениями амфиболитов.

Комплекс гранито-гнейсов (ТТГА) основания. На диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ они располагаются в поле тоналитов, гранодиоритов. По уровням содержания элементов гранито-гнейсы (таблица, выб.1) отвечают среднему составу докембрийских ТТГА (Martin, 1994). Спектры REE в изученных породах такие же, как и в ТТГА других регио-

нов, – характерны умеренные и повышенные содержания REE с крутыми и пологими наклонами линий, иногда с небольшим Eu максимумом.

Основные породы представлены амфиболитами, соответствующими базальтам повышенной глиноземистости и железистости. Они имеют низкие содержания и пологие линии спектров REE и сопоставимы с базальтами ТН-1 (Конди, 1983), присущие в основном толеитовым базальтам срединно-океанических хребтов.

Геохимия и геодинамические обстановки формирования пород Онотского ЗП. Основные породы представлены амфиболитами (\pm Би, Пл, Гр, Кв), меньше развиты орто- и парагнейсы, редко встречаются кварциты (\pm Гем, Мгт, Сил).

Основные метаматматические породы. В Онотском ЗП они представлены главным образом амфиболитами, развитыми по базальтам, андезитобазальтам, габбро, метагипербазитам; встречаются слабоизмененные габбро и гранатовые амфиболиты. Из-за различий протолита отмечаются широкие вариации Mg#: 32–73. Метабазальтам разных свит Онотского ЗП свойственна геохимическая специфика, соответствующая толеитам континентальным внутриплитным или срединно-океанических хребтов. Учитывая заложение Онотского ЗП на континентальной коре, можно рассматривать эти породы как производные внутриплитного базальтового магматизма.

Метаосадочные породы крайне разнообразны, что обуславливает значительные колебания концентраций элементов. По содержаниям SiO₂ они варьируют от средних до кислых, Al₂O₃ – от низко- до высокоглиноземистых. Доминирующие гранатсодержащие умеренно- и высокоглиноземистые гнейсы свиты Соснового Байца реконструируются (Юдович, Кетрис, 2000) как гидролизаты, реже суперсиаллиты; умеренно- и низкоглиноземистые гнейсы (\pm Гр, Би, Пл, Кв) камчадальской свиты – миосилиты, реже суперсиаллиты, гипосилиты, а высокоглиноземистые (\pm Дис, Ст, Гр, Би, Пл, Кв) – как гидролизаты, нормосилиты, суперсиаллиты. Для метаосадочных пород Онотского ЗП характерно распределение REE как полностью или частично подобное сланцам PAAS, NASC и ES, так и редко наблюдаемое, отражающее гидролизатную природу протолита.

Метаматматические породы среднего–кислого состава. Биотитовые и биотит-амфиболовые (ортогнейсы) плагиогнейсы бурухтуйской свиты реконструируются по диаграмме (Le Maitre et al., 1989) как высококалиевые дациты, риодациты, риолиты. Они обогащены K₂O, Na₂O, Rb, Ba, Sr, La, Ce, Nd, Zr, Pb, обеднены –TiO₂, железом, MnO, MgO, CaO, Cr, V, Ni, Co, Sc. Им присущи умеренно высокие содержания REE, крутые наклоны линий в области LREE и относительно пологие в области HREE, различной величины Eu минимумы. Амфиболовые гнейсы бурухтуйской свиты реконструируются как низко- и умереннокалиевые андезитобазальты. Содержания REE невысокие с умеренными наклонами и небольшими Eu минимумами. В камчадальской свите ставролит-гранат-амфиболовые (\pm Би) и биотит-амфиболовые (\pm Гр) гнейсы реконструируются как андезиты, гранат-амфиболовые (\pm Би, Ст) – как андезитобазальты.

Геодинамические обстановки. Геологические и геохимические особенности метаматматических основных-кислых пород ЗП показывают, что, они представляют бимодальные серии, сформированные в рифтогенной структуре на континентальной коре.

Карбонатные породы. Доломитовые мраморы камчадальской свиты имеют более высокие концентрации железа, MnO, низкие – Ba, V, Ni, Co по сравнению с мраморами нижней бурухтуйской. Доломитовые и магнезитовые мраморы камчадальской свиты обогащены TiO₂, Al₂O₃, железом, MnO, обеднены – Ba, Sr, Pb, Cr, V, Ni, Co, Zn, что отражает их образование в бассейне именно с такими соотношениями этих элементов.

Железистые кварциты. Различий между железистыми кварцитами разных свит ЗП не отмечено. Минеральный состав кварцитов определяет их геохимические характеристики – обеднение практически всеми редкими элементами.

Геохимия и обстановки формирования пород Таргазойского ЗП

Основные породы пояса разнообразны – амфиболиты (\pm Би, Гр, Пл), реконструируемые как базальты, андезитобазальты. Часть их близка к типу базальтов ТН-1 или ТН-2 (Конди, 1983). Содержания REE низкие с горизонтальной линией без Eu аномалий, реже – слабологие. По геологическому положению и петрогеохимическим параметрам основные породы Таргазойского ЗП соответствуют толеитовым базальтам внутриплитных рифтогенных обстановок.

Комплекс гранито-гнейсов (ТТГА) основания Таргазойского ЗП. Полосчатые, катаклазированные, реже массивные плагиогнейсы андезитового, тоналитового (дацитового), риолитового (трондьемитового) состава Таргазойского и Онотского ЗП имеют близкие геохимические характеристики.

Метаосадочные породы Таргазойского ЗП. Представлены амфибол-гранат-биотитовыми и амфиболовыми плагиогнейсами, биотит-гранат-амфиболовыми гнейсами, кианит-амфиболовыми и биотит-гранатовыми плагиогнейсами. По составу варьируют от основных до кислых, с преобладанием средних разностей. Реконструируются как миосилиты, гипосиаллиты и нормосиаллиты.

Средние-кислые метамагматические породы Таргазойского ЗП. Биотит-амфиболовые ортогнейсы (микрогнейсы) и амфибол-биотитовые плагиогнейсы реставрируются как диориты, трахиандезиты, дациты, тоналиты. Характерны умеренные содержания REE, линии распределения имеют слабые или крутые наклоны, небольшие Eu минимумы. Составы метамагматических пород Таргазойского ЗП, как и Онотского, широко варьируют по содержаниям SiO_2 от средних до кислых. Они реконструируются как бимодальные серии, присущие внутриконтинентальным рифтогенным обстановкам.

Геохимия комплекса гранито-гнейсов основания Гарганской глыбы

Основные породы. Амфиболиты реставрируются как базальты высокоалюминиевой и щелочной серий; наблюдаются низкие содержания REE с незначительным наклоном, без Eu аномалий, свойственных базальтам континентальных рифтогенных обстановок. Габбро присущи повышенные содержания литофильных элементов (K, Rb, Ba, Sr, LREE), которые свидетельствуют о их близости к базитам океанических островов или внутриконтинентальных обстановок. Они имеют высокие содержаниями REE, крутые наклоны линий, со слабой отрицательной Eu аномалией.

Тоналит-трондьемит-гранодиоритовые ассоциации представлены гнейсо-гранитами, биотитовыми (катаклазированными) тоналитовыми и трондьемитовыми плагиогнейсами. Мезолитовые гнейсо-граниты по составу соответствуют андезитам. Биотитовые плагиогнейсы по геохимическим данным реставрируются как тоналиты (дациты), гранодиориты, имея с ними уровни содержаний, близкие с ТТГА (Martin, 1994), умеренные – REE, крутые наклоны линий на графиках REE без Eu аномалий. Биотитовые трондьемитовые плагиогнейсы по составу близки к ТТГА (Martin, 1994).

По структурно-текстурным особенностям, минеральному составу, уровням содержаний петрогенных, редких элементов, линиям распределения REE тоналитовые и трондьемитовые плагиогнейсы Гарганской глыбы (рис. 3, лин. 5–6) подобны тоналитовым и трондьемитовым плагиогнейсам из комплекса гранито-гнейсов Онотского и Таргазойского ЗП (рис. 3, лин. 1–4), «проблемным» ТТГА шарыжалгайского комплекса

(рис. 3, лин. 7–8), однозначно относящихся к фундаменту Присяянского выступа. Это может свидетельствовать о их вещественной идентичности и о том, что гранито-гнейсы, слагающие Гарганскую глыбу, являются фрагментом ФСП.

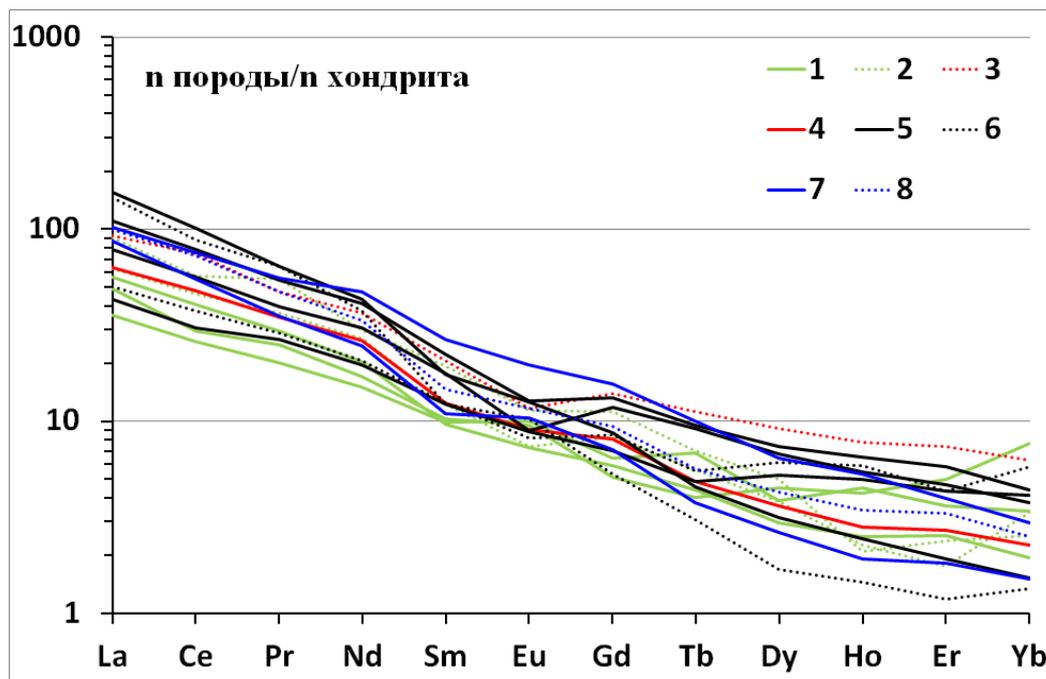


Рис 3. Распределение REE в метатоналитовых (1, 4, 5, 7) и метатрондьмитовых (2, 3, 6, 8) плагиигнейсах Онотского (1–2) и Таргазойского (3–4) ЗП, Гарганской глыбы (5–6), проблемные ТТГА шарыжалгайского полиметаморфического комплекса (7–8).

Третье защищаемое положение. Геохимические особенности ТТГА гранито-гнейсов Гарганской глыбы свидетельствуют о том, что она является фрагментом фундамента Сибирской платформы.

ГЛАВА 4. ВОЗРАСТНЫЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ, МИНЕРАГЕНИЯ ПРИСАЯНСКОГО КРАЕВОГО ВЫСТУПА

Раннедокембрийская кора, представленная гранулитовыми и зеленокаменными комплексами, является основанием всех материков. К.С. Конди (1983) впервые обозначил проблему – близки ли они по возрасту и составу, могут ли первые быть протолитом для вторых, или это самостоятельные структуры. З.И. Петрова (1990) полагала, что зеленокаменные комплексы являются протолитом гранулитовых.

Вещественные характеристики пород гранулитовых и зеленокаменных комплексов существенно различаются.

ТТГА в Онотском и Таргазойском ЗП, Гарганской глыбе, шарыжалгайском и китойском комплексах. В целом для них на графиках отмечена симбатность линий с различиями по концентрациям элементов (рис. 4, выб. 1–5). Наиболее близки между собой гранито-гнейсы (ТТГА) Онотского и Таргазойского ЗП, при более высоких концентрациях большинства элементов в последнем (рис. 4, выб. 1). Им, судя по положению линий, подобны проблемные ТТГА шарыжалгайского комплекса (рис. 4, выб. 1–2, 5). Гранито-гнейсы ТТГА Гарганской глыбы и метамагматические породы шарыжалгайского комплекса по спектру линий близки между собой, но отличаются от других ТТГА (рис. 4, выб. 1–5). Средний состав ТТГА ВСГЗО и Гарганской глыбы различается по содержаниям петрогенных и редких, главным образом литофильных элементов (таблица, выб. 1–2), но не существенно. Это может указывать на вещественную специфику ТТГА Гарганской глыбы, подобную в большей степени проблемным ТТГА шарыжалгайского комплекса, а не ВСГЗО, и на принадлежность плагиигнейсов Гарганской глыбы непосредственно к фрагменту фундамента Присяянского выступа.

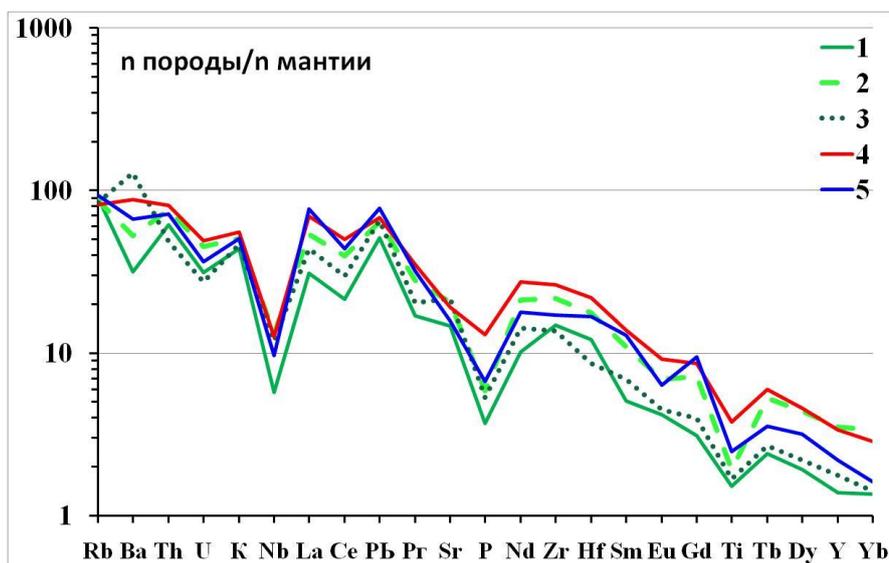


Рис. 4. Спайдердиаграмма для пород ТТГА из комплексов гранито-гнейсов (нормирование по мантии (McDonough, Sun, 1995)).

1 – 3 – ТТГА гранито-гнейсового основания Онотского ЗП (1), Таргазойского ЗП (2), Гарганской глыбы (3); 4 – 5 – средний состав неoarхейских пород шарыжалгайского комплекса: метамагматических (4) и проблемных ТТГА (5).

Метамагматические породы гранулитовых и зеленокаменных комплексов

Основные ортопороды. Вещественные характеристики амфиболитов палеoarхейского комплекса (ТТГА) основания Онотского ЗП и неoarхейского основания Гарганской глыбы довольно близки (рис. 5, выб. 1–2). Это свидетельствует о том, что все они имеют близкие по составу источники вещества и, возможно, являются разрозненными разновозрастными выходами ФСП в разных частях Присаянского краевого выступа.

Амфиболиты всех свит Онотского и Таргазойского ЗП имеют весьма подобные геохимические характеристики, что также свидетельствует о близости источников вещества и условий формирования (см. главу 3). С большой долей вероятности они представляют единую структуру. Неoarхейские габброиды (рис. 5, выб. 3а) встречаются только в шарыжалгайском комплексе, не имея аналогов в других подразделениях ФСП.

Среди неoarхейских основных кристаллосланцев выделяются биотит-двупироксеновые плагиосланцы (рис. 5, выб. 3б; таблица, выб. 6). Они обладают аномальными концентрациями большинства некогерентных элементов и встречены только в шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе, что отражает специфику его геологического развития – появление высококальциевых известково-щелочных (шошонит-латитовых) серий, индикаторов зрелой континентальной коры уже в раннем докембрии.

Метамагматические неoarхейские основные породы китойского полиметаморфического комплекса (рис. 5, выб. 5; таблица, выб. 12) по вещественным характеристикам отличаются от неoarхейских пород шарыжалгайского, что подтверждает их отнесение к разным структурно-вещественным подразделениям (террейнам).

Метамагматические палеопротерозойские основные кристаллические сланцы встречаются только в шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе. Среди них по геохимическим параметрам выделяются две разновидности, отличающиеся концентрациями щелочных и щелочно-земельных элементов (рис. 5, выб. 4а и 4б). Существование двух типов metabазальтов (известково-щелочных и толеитовых серий) палеопротерозойского периода свидетельствует о том, что наблюдаемый «геологический разрез» не является генетически единым и эти породы, скорее всего, сформировались из разных источников в разных геодинамических обстановках (см. главу 2).

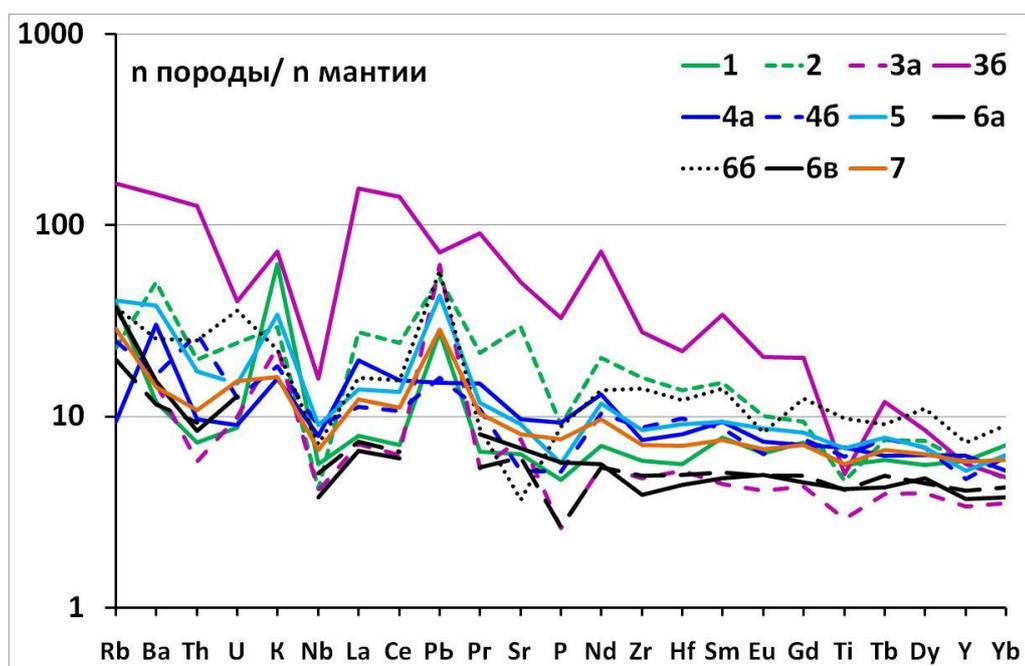


Рис. 5. Спайдердиаграмма для основных метаматических пород гранулитовых и зеленокаменных комплексов (нормирование по мантии (McDonough, Sun, 1995)).

1 – 2 – амфиболиты из гранито-гнейсов (ТТГА) Онотского ЗП (1) и Гарганской глыбы (2); 3–4 – породы шарыжалгайского полиметаморфического комплекса: неoarхейские – метагаббро (3a), биотит-двупироксеновые плагиосланцы (3b), палеопротерозойские двупироксеновые плагиосланцы (4a и 4b); 5 – основные породы китойского комплекса; 6 – амфиболиты Онотского ЗП: бурухтуйской свиты (6a), камчадальской свиты (6b), свиты Соснового Байца (6в); 7 – амфиболиты Таргазойского ЗП.

Метаматические породы среднего-кислого состава – гнейсы и эндербиты гранулитовых комплексов отличаются от гнейсов ЗП более высокими содержаниями Al_2O_3 , железа, MgO, CaO, P_2O_5 , Sr, V, Ni, Sc и более низкими – K_2O , Rb, Ba, La, Ce, Nd, Yb, Y, Cr (таблица, выб. 4, 8–9, 13). Неoarхейские ортопороды шарыжалгайского полиметаморфического комплекса по сравнению с палеопротерозойскими имеют более высокие содержания большинства элементов при минимумах Nb, Pb, Sr, Ti и максимумах – La, Ce (рис. 6, выб. 1, 3; таблица, выб. 8–9). Линии гнейсов неoarхейского китойского комплекса и Таргазойского ЗП на диаграммах симбатны (рис. 6, выб. 4, 6). Близость составов Онотского и Таргазойского ЗП, за исключением Th, U (рис. 6, выб. 5–6), может указывать на их принадлежность к одной структуре – Восточно-Саянскому зеленокаменному суперпоясу, выделенному А.И. Сезько (Эволюция земной коры..., 1988).

Метаосадочные породы гранулитовых и зеленокаменных комплексов. Парापороды гранулитовых комплексов (шарыжалгайский и китойский) ПрГГО отличаются по составу от метаосадочных пород ЗП (Онотский, Таргазойский) ВСГЗО более высокими содержаниями SiO_2 , Al_2O_3 , MgO, Y, Zn, Cr, Ni и пониженными – TiO_2 , железа, CaO, P_2O_5 , Ba, Sr, Ce, Nd (таблица, выб. 4, 10-11, 14). Такие различия указывают на то, что гнейсы гранулитовых комплексов не могли быть протолитом зеленокаменных.

Карбонатные породы в гранулитовых и зеленокаменных комплексах. Предположительно неoarхейские карбонатные породы (кальцитовые, доломитовые, магнезитовые) китойского комплекса и Онотского ЗП относительно палеопротерозойских доломитовых мраморов шарыжалгайской серии обогащены железом, MnO, обеднены – Sr и Ba.

Вещественные характеристики железистых кварцитов гранулитовых и зеленокаменных комплексов различаются. Железистые породы гранулитовых комплексов по сравнению с зеленокаменными обогащены TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , Sn, Y, Zn, Sc.

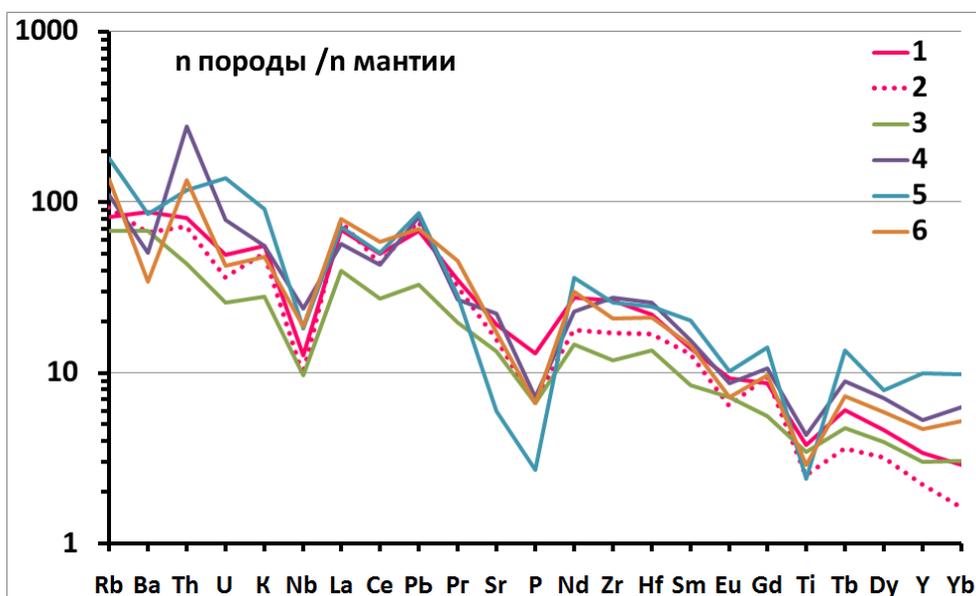


Рис. 6. Спайдердиаграмма для метамагматических пород среднего-кислого состава ПрГГО и ВСГЗО (нормирование по мантии (McDonough, Sun, 1995)).

1 – 4 – ПрГГО: шарыжалгайский комплекс – неоархейские метамагматические породы (1), проблемные неоархейские ТТГА (2), палеопротерозойские метамагматические породы (3); китойский комплекс – неоархейские метамагматические породы (4); 5 – 6 – ВСГЗО: метамагматические породы Онотского (5) и Таргазойского (6) ЗП.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что метамагматические (основного-кислого состава), метаосадочные, карбонатные породы, железистые кварциты ведущих стратиграфических подразделений, представляющие разные сегменты Присаянского краевого выступа ФСП, имеют различные вещественные характеристики. Это однозначно указывает на то, что каждый из них имеет собственную геологическую историю, отличную от других, и является самостоятельной тектонической структурой.

Минерагения метаморфических комплексов. В Присаянском выступе ФСП выделены следующие минерагенические провинции: 1) гранито-гнейсовое (ТТГА) основание ВСГЗО; 2) зеленокаменные пояса ВСГЗО; 3) Прибайкальская гранулит-гнейсовая область. К гранито-гнейсовому (ТТГА) основанию ВСГЗО приурочены месторождения золота и редкометалльных пегматитов (Li, Nb, Ta, Sn) в Онотском и Таргазойском ЗП, Гарганской глыбе. Для зеленокаменных поясов ВСГЗО характерны месторождения магнезита, железа, золота, талька, офиокальцита. Прибайкальской гранулит-гнейсовой области присуща специализация на железу, силлиманит, графит, корунд.

Схема корреляции эндогенных процессов в сегментах Присаянского выступа. Главными сегментами Присаянского выступа являются: 1) комплекс гранито-гнейсов (ТТГА) основания и зеленокаменные (Онотский, Таргазойский) пояса; 2) шарыжалгайский и 3) китойский гранулитовые комплексы.

Палеоархей (3200 – 3600 млн лет). Достоверно палеоархейские породы присутствуют только в комплексе (ТТГА) Таргазойского и Онотского ЗП.

Мезоархей (2800 – 3200 млн лет). Возможно, протолит Онотского и Таргазойского ЗП, шарыжалгайского и китойского комплексов был мезоархейским.

Неоархей (2500 – 2800 млн лет) – главный период становления коры. Он **представлен: Онотским и Таргазойским ЗП** (2,7 – 2,5 млрд лет; протолит – основные-кислые метавулканы внутриплитного рифтогенного магматизма; высоко- и низкоглиноземистые, магнезитовые, доломитовые осадки); гранито-гнейсами (ТТГА) Гарганской глыбы; **полиметаморфическими гранулитовыми шарыжалгайским** (2,8 – 2,7 млрд

лет; протолиты – метавулканыты высококалиевоы известково-щелочной (шошонит-латитовой) серии надсубдукционного магматизма; габбро-анортозиты; кальциевые, высокоглиноземистые (гидролизаты) и умеренноглиноземистые (метаграувакки, пелиты, алевролиты) осадки) и китойским (2,87 – 2,6 млрд лет; протолиты – метавулканыты известково-щелочных серий; габбро; кальциевые, доломитовые, высоко (гидролизаты) - и умеренноглиноземистые (метатерригенные) осадки) комплексами.

Палеопротерозой (1600 – 2500 млн лет). В шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе: 1,94 – 2,4 млрд лет: протолит – метатерригенные породы (аркозы, граувакки), базальты, андезитобазальты, андезиты, дациты, риодациты известково-щелочной и толеитовой серий, доломитовые осадки, силициты; 1,85 – 1,87 млрд лет: метаморфизм – двупироксеновые, пироксеновые, гиперстеновые плагиосланцы и плагиогнейсы, метатерригенные биотитовые и биотит-гранатовые гнейсы и плагиогнейсы, доломитовые мраморы, кварцитогнейсы, кварциты. В китойском полиметаморфическом комплексе проявлены ультраметаморфические (1,84 – 1,87 млрд лет) и постультраметаморфические (1,72 – 1,8 млрд лет) преобразования неархейского субстрата. В гранито-гнейсах (ТТГА) основания, породах ЗП (Онотский, Таргазойский) развиты метасоматические палеопротерозойские ассоциации – 1994 – 2180 млн. лет.

Выявленная схема корреляции эндогенных процессов в главных сегментах Присаянского выступа ФСП явилась основой для разработки основ вещественной шкалы докембрия. Схематично она приведена для шарыжалгайского (рис. 7 а) и китойского (рис. 7 б) комплексов, гранито-гнейсов (ТТГА) и ЗП (Онотский и Таргазойский) (рис. 7 в).

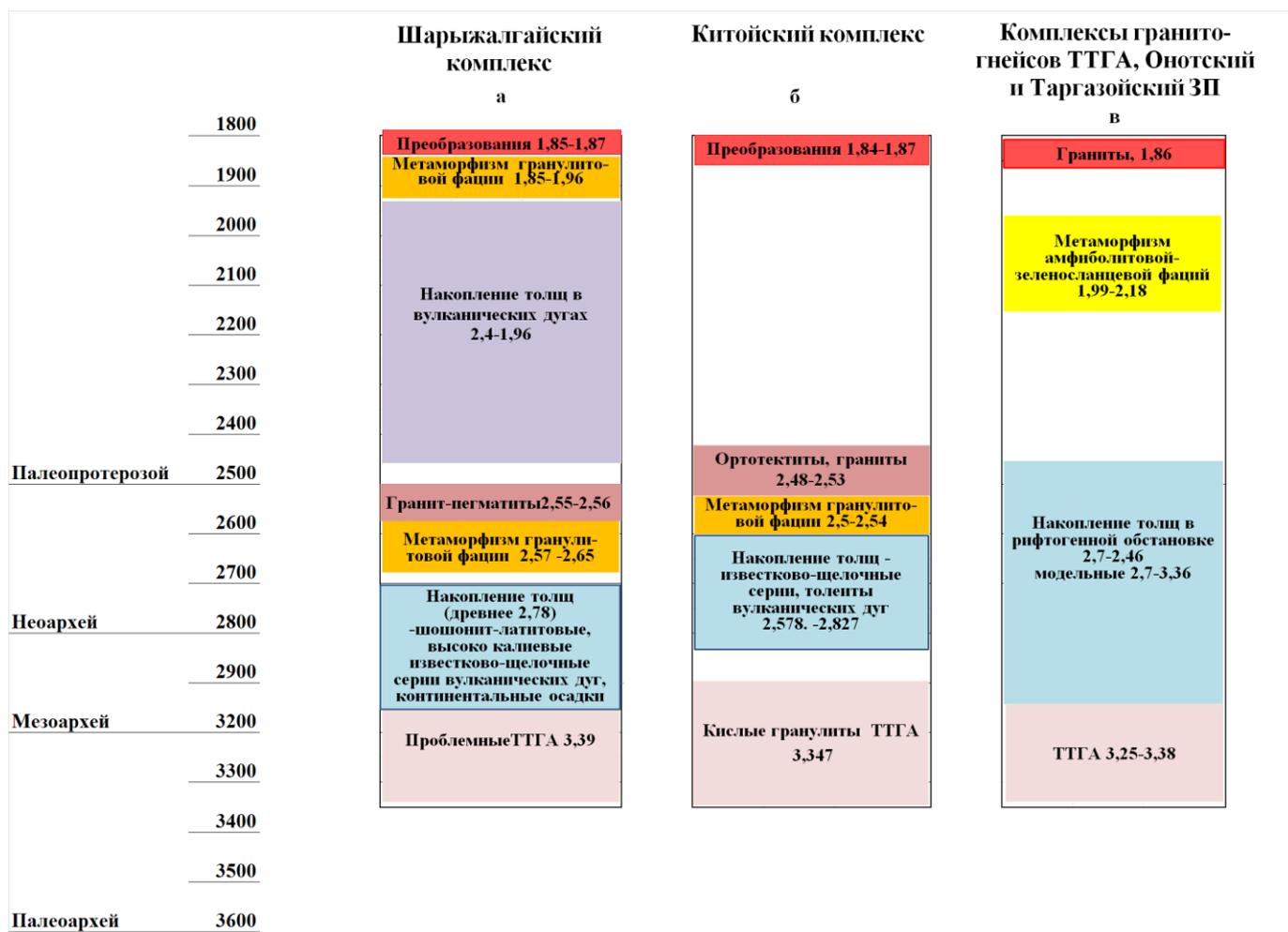


Рис. 7. Схема корреляции эндогенных процессов в Присаянском краевом выступе ФСП. Сегменты: а – шарыжалгайский и б – китойский гранулитовые комплексы; в – зеленокаменные комплексы: гранито-гнейсы (ТТГА) комплекса основания, Онотский и Таргазойский ЗП. Возраст – млрд лет.

Четвертое защищаемое положение. Существенные различия в возрасте и геохимических особенностях пород гранулитовых и зеленокаменных комплексов указывают на то, что в Присяянском краевом выступе ФСП зеленокаменные комплексы не могли быть протолитом гранулитовых.

Заключение

Выполнены комплексные исследования гранулитовых и зеленокаменных комплексов, определена последовательность процессов, проведены палеорекострукции с выявлением природы протолитов и геодинамических обстановок формирования. В шарыжалгайском полиметаморфическом комплексе впервые определены породы, присущие неоархейскому и палеопротерозойскому возрастным уровням, установлено присутствие неоархейских высококаалиевой известково-щелочной (шошонит-латитовой) ассоциации, габбро-анортозитов. В китойском комплексе выявлен один неоархейский этап формирования протолита и два эпизода (неоархейский и палеопротерозойский) его метаморфизма. Установлено, что разрезы гранулитовых шарыжалгайского и китойского комплексов, Онотского и Таргазойского ЗП не являются стратиграфическими, а представляют коллаж пород разного состава, генезиса, геодинамических обстановок и возрастов образования. Доказана принадлежность гранито-гнейсов Гарганской глыбы к ТТГА. Проведен минерагенический анализ метаморфических комплексов, и разработаны основы вещественной шкалы докембрия для создания геологических карт нового поколения.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации

1. **Левицкий И.В.** Породы основного состава в гранулитовых и зеленокаменных комплексах (Восточная Сибирь) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2010. № 4. С. 22–30.
2. Левицкий В.И., Резницкий Л.З., Сальникова Е.Б., **Левицкий И.В.**, Котов А.Б., Бараш И.Г., Яковлева С.З., Анисимова И.В., Плоткина Ю.В. Возраст и происхождение Китойского месторождения силлиманитовых сланцев (Восточная Сибирь) // Доклады АН. 2010. Т. 431, № 3. С. 386–391.
3. Глебовицкий В.А., Левченков О.А., Левицкий В.И., Ризванова Н.Г., Левский Л.К., Богомолов Е.С., **Левицкий И.В.** Возрастные рубежи проявления метаморфизма на Китойском силлиманитовом месторождении (Юго-Восточное Присяянье) // Доклады АН. 2011. Т. 436, № 3. С. 351–355.
4. **Левицкий И.В.** Петрология, геохимия и генезис пород Китойского силлиманитового месторождения. Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии // Мат. XVIII молод. конф., посв. чл.-корр. АН СССР К.О. Кратцу. СПб.: ИГГД РАН, 2007. С. 77–79
5. **Левицкий И.В.** Карбонатные породы в докембрийских структурах Присяянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы // Мат. XVIII мол. конф., посв. чл.-корр. АН СССР К.О. Кратцу. СПб.: ИГГД РАН, 2007. С. 75–77.
6. **Левицкий И.В.** Вещественные особенности карбонатных пород Присяянского выступа фундамента Сибирской платформы // Современные проблемы геохимии: Мат. конф., посв. 50-летию ИГХ СО РАН и 50-летию СО РАН). Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2007. С. 29–31.
7. Левицкий В.И., **Левицкий И.В.** Китойская серия Юго-Восточного Присяянья – новые геологические, петрологические и геохимические данные // Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя: Мат. II Рос. конф. СПб.: ИГГД, 2007. С. 88–91.
8. **Левицкий И.В.** Сравнительная петрогеохимическая характеристика основных пород гранулитовых и зеленокаменных комплексов Присяянского выступа фундамента Сибирской платформы // Мат. XVIII молод. конф., посв. памяти. чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца. Апатиты: ГИ КолНЦ, 2008. С. 92–95.
9. Левицкий В.И., **Левицкий И.В.**, Сальникова Е.Б., Котов А.Б. Гранит-зеленокаменные и гранулитовые комплексы Присяянского выступа фундамента Сибирской платформы // Гранит-зеленокаменные системы архея и их аналоги. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С.101–104.

10. Левицкий В.И., **Левицкий И.В.** Минерагеническая типизация Присяянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы // Минерагения докембрия: Мат. Всерос. конф. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2009. С. 158–162.

11. **Левицкий И.В.**, Левицкий В.И. Железистые кварциты гранулитовых и зеленокаменных комплексов юга Восточной Сибири // Минерагения докембрия: Мат. Всерос. конф. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2009. С. 162–165.

12. **Левицкий И.В.** Петрогеохимическая характеристика габброидов и основных кристаллических сланцев шарыжалгайской серии // Строение литосферы и геодинамика: Мат. Всерос. мол. конф. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. С. 175–176.

13. Сальникова Е.Б., **Левицкий И.В.**, Левицкий В.И., Резницкий Л.З. Котов А.Б., Бараш И.Б., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Анисимова И.В. Новые данные о возрасте Китоийского андалузит-силлиманитового месторождения // Изотопные системы и время геологических процессов: Мат. Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб.: ИГГД РАН, 2009. Т. 2. С. 154–155.

14. Анисимова И.В., **Левицкий И.В.**, Котов А.Б., Левицкий В.И., Резницкий Л.З., Ефремов С.В., Великославинский С.Д., Бараш И.Г., Федосеенко А.М. Возраст фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян): результаты U-Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: Мат. IV Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб.: ИГГД РАН, 2009. Т. 1. С. 34–35.

15. **Левицкий И.В.** Геохимия парапород гранулитовых и зеленокаменных комплексов Присяянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики, геоэкологии: Мат. XVIII молод. конф., посв. чл.-корр. АН СССР К.О. Кратцу. СПб.: ИГГД РАН, 2010. Т. 1. С. 50–53.

16. Левицкий В.И., Прокопчук С.И., **Левицкий И.В.** Благородные металлы (Ag, Au, Pd, Pt) в фундаменте и складчатых поясах юга Сибирской платформы, Балтийского щита, Памира // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Мат. межд. конф. Томск: ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2010. С. 256–260.

17. **Левицкий И.В.**, Левицкий В.И. Неоархейские калиевые метавулканыты в шарыжалгайском гранулитовом комплексе Присяянского выступа фундамента Сибирской платформы // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма: Мат. XXVIII Школы "Щелочной магматизм Земли". Минск: Право и экономика. 2011. С. 117–119.

18. **Левицкий И.В.**, Левицкий В.И. Неоархейский и палеопротерозойский метаморфизм гранулитовой фации в Присяянском выступе фундамента Сибирской платформы // Гранулитовые и эклогитовые комплексы в истории Земли: Научн. конф. с участ. заруб. учен. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2011. С. 125–127.

19. **Левицкий И.В.** Неоархейские и палеопротерозойские метавулканыты гранулитовой фации в шарыжалгайском комплексе Присяянского выступа фундамента Сибирской платформы // Современные проблемы геохимии: Конф. молодых ученых. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2011. С. 68–73.

20. Левицкий В.И., **Левицкий И.В.**, Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Резницкий Л.З., Анисимова И.В., Бараш И.Г. Вещественные и геохронологические характеристики пород из неоархейской зоны субдукции в китоийском комплексе Присяянского выступа // Проблемы плейт- и плюм-тектоники в докембрии. СПб.: ИГГД РАН, 2011. С. 215–216.

Условные обозначения

Аб	альбит	До	доломит	Мон	монацит	Ст	ставролит
Амф	амфибол	Илм	ильменит	МП	моноклинный пироксен	Фл	флогопит
Ан	анортит	Ка	кальцит	Мус	мусковит	Фо	форстерит
Анд	андалузит	Ки	кианит	Ст	ставролит	Цир	циркон
Би	биотит	Кв	кварц	Орт	ортит	Цо	цоизит
Гем	гематит	Клц	клиноцоизит	Пл	плагиоклаз	Шп	шпинель
Ги	гиперстен	Крд	кордиерит	РП	ромбический пироксен	Эп	эпидот
Гр	гранат	Мгз	магнезит	Сер	серпентин	Хл	хлорит
Гфт	графит	Мик	микроклин	Сил	силлиманит		
Mg#	магнезиальный номер						
PAAS	постархейские глинистые сланцы Австралии						
NASK	палеозойские глинистые сланцы Северной Америки						
ES	европейские палеозойские глинистые сланцы						

Подписано к печати 02.10.2012 г.
Формат 60*84/16. Объем 1,2 п.л. Тираж 150 экз. Заказ № 567.
Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1.