

На правах рукописи

ВАСЮКОВА Елена Александровна

ПЕТРОЛОГИЯ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛАМПРОФИРОВ ЧУЙСКОГО КОМПЛЕКСА
(ЮВ АЛТАЙ-СЗ МОНГОЛИЯ)

25.00.04 - петрология и вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора ФГБУН
Института геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН
БОРИСЕНКО Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУН Геологический институт СО РАН
ДОРОШКЕВИЧ Анна Геннадьевна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Национального исследовательского
Томского государственного университета
ГЕРТНЕР Игорь Федорович

Ведущая организация: ФГБУН Институт геохимии
им. А.П. Виноградова СО РАН

Защита состоится 3 декабря 2014 г в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 003.067.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес: пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090.

Факс: +7 (383) 333-27-92

e-mail: science@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Автореферат разослан 10 октября 2014г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геол.-мин. наук

О.М. Туркина

Актуальность исследований. Дайковые комплексы известково-щелочных и щелочных лампрофиров, представленные такими породами как керсантиты, минетты, камптониты, вогезиты, мончикиты, часто проявлены в рудных районах разного металлогенического профиля, где они пространственно ассоциируют с разными типами оруденения близкого им по возрасту: Sn-сульфидным, Sn-Ag, Ag-Sb, Sb и Sb-Hg, Ag-Ni-Co, Au-As, Ag-Pb-Zn и другими. Одним из таких районов, модельным для решения различных рудно-петрологических задач является рудный район ЮВ Алтая и СЗ Монголии, в котором в раннем мезозое сформировались чуйский лампрофировый, тархатинский монцодиорит-граносиенитовый и теранжинский монцодиорит-гранитный комплексы и Ag-Sb, Sb и Sb-Hg, Ag-Ni-Co и другие типы оруденения (Оболенская, 1963, 1971, 1979, 1983, Кузнецов, 1975, Кузнецов и др., 1964, 1963, Митропольский, Кулик, 1975, Оболенский, 1985, Оболенский, Оболенская, 1968, Михалева, 1962, 1963, 1986, 1989, Борисенко и др., 1984, 1991, 1992, 2006, Врублевский и др., 2004, 2005, Крупчатников, 2010, Гусев и др. 1991, 2009, 2010, Павлова, 2010, Говердовский, Третьякова, 2012).

Чуйский дайковый комплекс насчитывает более 400 лампрофировых даек раннемезозойского возраста, и проявлен на территории в структурах Горного Алтая и Монгольского Алтая. В пределах комплекса разные исследователи выделяли от трех до шести отдельных дайковых поясов или ареалов. При этом было показано, что разные ареалы пространственно связаны с близкими по возрасту гидротермальными месторождениями и рудопроявлениями разных типов. Так, в Акташском ареале проявлено в основном Sb и Hg оруденение (м-ния Акташское, Курайское др.), в Южно-Чуйском ареале известны Mo-W (Калгутинское), Ag-Pb-Zn (Чаганбургазинское) и Cu-Ba-Hg (Джилкыдал, Отсалар) месторождения, в Юстыдском ареале преобладает Ag-Sb (Асгат, Озерное, Пограничное и др.) и Ni-Co-As (м-ние Асхатиин гол) оруденение.

Выяснение особенностей геологических условий формирования пород чуйского комплекса, общей хронологии его становления, пространственно-временных и генетических соотношений лампрофиров с другими магматическими образованиями и оруденением, изучение вещественного состава, геохимической специализации, включая изотопно-геохимические и геохронологические характеристики, является важной фундаментальной и прикладной задачей геологических и металлогенических исследований. Их изучение необходимо и важно как для построения корректных геолого-генетических моделей рудно-магматических систем, так и для разработки надежных прогнозно-

поисковых критериев ассоциирующего Ag-Sb, Ag-Pb, Hg-Sb и Ni-Co-As оруденения.

Объектом исследования являются лампрофиры чуйского комплекса, породы монцодиорит-граносиенитового Тархатинского массива (ЮВ Алтай – СЗ Монголия), слагающие их минералы, расплавные и флюидные включения.

Целью работы является выяснение хронологии формирования, источников породообразующих расплавов лампрофиров чуйского комплекса и сопутствующих им сиенитов Тархатинского массива, их флюидного режима и металлоносности магматических флюидов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучить геологическое положение даек лампрофиров в структурах Горного Алтая, внутреннее строение и морфологию самих даек.
2. Исследовать минеральный, химический и изотопный состав пород.
3. Охарактеризовать источники расплавов исследуемых пород.
4. Установить временные границы и общую хронологию формирования чуйского комплекса и связанного с ним оруденения.
5. Изучить флюидный режим кристаллизации лампрофиров, установить состав и металлоносность связанных с ними магматических флюидов.

Фактический материал и методы исследования

Для выполнения исследований автором были проведены полевые работы в 2009-2012 гг. В ходе них была собрана представительная коллекция, включающая более 118 проб из лампрофировых даек Южно-Чуйского, Юстыдского и Акташского ареалов чуйского комплекса и сиенитов Тархатинского массива. Кроме того, в работе использовался каменный материал, собранный сотрудниками лаборатории рудно-магматических систем и металлогении ИГМ СО РАН в 1970-90-е годы по Юстыдскому и Акташскому ареалам. Таким образом, в исследованиях было задействовано 130 проб лампрофиров и сиенитов, из которых было сделано 150 петрографических шлифов и более 100 препаратов для изучения флюидных и расплавных включений.

По 39 пробам был определен валовый состав пород методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА). В 34 из них было определено содержание редких и рудных элементов (Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sb, Cs, Ba, P3Э, Hf, Ta, Th, U, Hg, As, W, Pb, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo и Sn) методом ICP-MS на приборе ELEMENT фирмы Finnigan Mat). Для 6 проб пород был определен изотопный состав Sr и Nd методом (ИГТД РАН, Санкт-Петербург (аналитики В.П. Ковач, Н.Ю. Загорская). Выполнено 11 определений возраста было сделано Ar-Ar методом

по флогопиту и 3 определения – по циркону методом SHRIMP II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург). Для изучения состава минералов и стекол закалённых расплавных включений сделано более 500 микрорентгеноспектральных анализов (микроанализатор JEOL JXA8100, Cameca Camebax-Micro, LEO 1430 VP). Определение редкоземельного состава минералов (7 анализов), а также состава и металлоносности флюидных включений выполнено методом LA-ICP-MS на приборе ELEMENT с лазерной установкой UP213 фирмы New-WaveResearch (USA) с ультрафиолетовым лазером Nd:YAG (длина волны = 213 нм). Для изучения флюидного режима применялись термобарогеохимические методы. Гомогенизация флюидных и расплавных включений проводилась в крио- и термокамерах (THMSG600 фирмы Linkam в диапазоне температур от -180 до +500^oC и с помощью контрольно-измерительного комплекса ТК1500 в диапазоне температур от +25 до 1200^oC). Состав газовой фазы включений и диагностика твёрдых фаз проводилась методом КР (рамановской) спектроскопии (КР-спектрометр Jobin Yvon Ramanog U-1000). Большинство аналитических работ проводилось на базе ЦКП Аналитического центра ИГМ СО РАН и лаборатории термобарогеохимии ИГМ СО РАН за исключением тех исследований, для которых место проведения указано выше.

Научная новизна:

- Впервые двумя разными геохронологическими методами (Ar-Ar и U-Pb) уточнены и расширены границы времени проявления чуйского комплекса и выделены 2 этапа его формирования: 251–242 и 236–234 млн лет. Это свидетельствует о двух импульсах щелочного мантийного магматизма, которые проявились во всех трёх изученных ареалах чуйского комплекса.
- В результате петролого-геохимических, изотопных и геохронологических исследований доказана комагматичность лампрофировых даек Южно-Чуйского ареала чуйского комплекса и плутонических пород Тархатинского массива, который ранее выделялся в составе самостоятельного тархатинского комплекса. Показано, что становление данного массива приурочено к первому этапу формирования и может фиксировать одну из стадий эволюции магмы для щелочно-базитовых расплавов чуйского комплекса.
- Петро- и геохимические особенности лампрофиров чуйского комплекса (парные корреляции MgO-SiO₂, Al₂O₃-SiO₂, CaO-SiO₂, FeO-SiO₂, P₂O₅-SiO₂, обогащение LREE, деплетирование HREE, минимумы

по Sr, Nb, Ta, Hf, Zr, Ti) являются петротипическими для комплексов лампрофиров центрального и СЗ Вьетнама, СЗ Китая и Таймыра, проявленных в обстановках смены режимов сжатия-растяжения.

- Впервые для чуйского комплекса установлено, что в процессе эволюции щелочно-базитовых расплавов, формировавших лампрофиры, происходило отделение несмешивающейся преимущественно карбонатной или фосфатно-карбонатной жидкости, которая закристаллизовалась в виде оцелллей в лампрофирах Юстыдского ареала, или апатит-карбонатного цемента в интерстициях между сферолитами полевого шпата в лампрофирах Южно-Чуйского ареала. Этот вывод хорошо согласуется с существующими схемами эволюции силикатно-карбонатного расплава [Андреева, 2000; Соловова, 2005; Panina, 2005 Панина, Моторина, 2008].

- Впервые на основе изучения флюидных, кристалло-флюидных и расплавных включений в минералах лампрофиров чуйского комплекса определены особенности кристаллизации лампрофиров чуйского комплекса, установлены состав, свойства и металлоносность связанных с ними магматогенных флюидов. В них выявлены высокие содержания Sb, As, Hg и других рудных элементов, что подтверждает генетическую связь лампрофиров с Ni-Co-As, Ag-Sb и Sb-Hg оруденением, проявленным в ареале чуйского комплекса.

Практическое значение и внедрение.

1. Материалы диссертации могут быть использованы для уточнения легенды геологических карт Алтая, ЮЗ Тувы и СЗ Монголии, построения петрогенетических моделей рудно-магматических систем.

2. Установленный факт отделения карбонатной жидкости в процессе эволюции щелочно-базитового расплава указывает на возможность выявления карбонатитов в районе развития даек чуйского комплекса, что может иметь экономический интерес в связи с их потенциальной рудоносностью.

3. На примере Юстыдского ареала чуйского комплекса получены новые данные о генетической связи лампрофиров с Ag-Sb оруденением, что важно для разработки критериев поисков месторождений этого типа.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации. Основу диссертации составляют исследования, проведенные в период 2009-2014гг. Автором в ходе полевых работ 2009-2012гг. была собрана представительная коллекция образцов лампрофиров Южно-Чуйского, Юстыдского и Акташского ареалов чуйского комплекса и пород Тархатинского массива. Автором была самостоятельно выполнена

пробоподготовка для петрохимических, геохимических исследований, датирования $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом, изготовление препаратов для КР-спектроскопии и термобарогеохимических исследований. Соискателем были выполнены все приведённые в диссертации микрозондовые анализы, термобарогеохимические исследования, КР-спектроскопия, проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей и материалы тезисов.

Степень достоверности и обоснованность полученных результатов, обобщенных в виде защищаемых положений, определяется большим объемом фактического материала, тщательной пробоподготовке анализируемых материалов, использованием современных высокоточных аналитических методов исследования, а также апробацией результатов исследований на российских и зарубежных конференциях.

Апробация работы

Отдельные разделы диссертации докладывались на двух российских и пяти международных конференциях. Среди них: III Азиатская конференция по изучению флюидных включений (ACROFI III) и 14-ая Международная конференция по термобарогеохимии (TBG XIV) - Новосибирск 15-20 сентября 2010 г.; 5-ая Сибирская конференция молодых учёных (Новосибирск, 29. ноября-2 декабря 2010 г.); Международная конференция «Лампрофиры и связанные с ними базитовые породы», (Рожанка, Польша, 14-17 октября 2010 г.); Международная Ассамблея Европейского союза по наукам о земле, EGU2012 (Вена, Австрия, 22-27 апреля 2012 г.); Международная конференция по геохимии, Гольдшмидт2013 (Флоренция, Италия, 25-30 августа 2013 г.), Второе Российско-Казахстанское международное научное совещание «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование» (Новосибирск, Россия, 1-4 апреля 2014)

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В работе описаны магматические горные породы, их геологическое положение, петрография, минералогия, химический состав; показаны результаты изучения расплавных и флюидных включений в породообразующих минералах. На основе приведенных данных построена петрологическая модель формирования раннемезозойских лампрофиров чуйского комплекса. Перечисленные пункты входят в паспорт специальности 25.00.04, «петрология, вулканология» и, таким образом, работа полностью соответствует данной специальности.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы и содержит 166 страниц текста, 40 рисунков, 17 таблиц, 1 приложение. Список литературы включает 142 наименования.

Благодарности

Работа выполнена в лаборатории рудно-магматических систем и металлогении ИГМ СО РАН под руководством д.г.-м.н. А.С. Борисенко, которому автор выражает глубокую признательность за внимание и поддержку, оказанную как в период полевых работ, так и на всех этапах написания диссертации. Автор искренне благодарит коллег, сотрудников ИГМ СО РАН, чл.-корр., д.г.-м.н. Г.В. Полякова, д.г.-м.н. А.Э. Изоха, д.г.-м.н. О.М. Туркину, д.г.-м.н. Г.Г. Павлову, к.г.-м.н. А.А. Боровикова, к.г.-м.н. Р.А. Шелепаева, к.г.-м.н. А.В. Лавренчука, к.г.-м.н. Н.Н. Крука, к.г.-м.н. С.З. Смирнова, к.г.-м.н. В.П. Чупина, д.г.-м.н. С.Н. Руднева, к.г.-м.н. В.М. Калугина, к.г.-м.н. И.А. Андрееву, к.г.-м.н. В.А. Говердовского.

Содержание работы и обоснование защищаемых положений.

Чуйский комплекс находится в зоне сочленения нескольких разнородных по составу и возрасту отложений тектонических блоков. В представленной работе чуйский комплекс был изучен на примере трёх ареалов – Акташского, Южно-Чуйского и Юстыдского (рис.1-1). В центральной части Южно-Чуйского ареала синхронно с дайками проявлены монцодиорит-граносиенитовые интрузивы – Тархатинский и Жаньёденгуйский. По структурно-геологическому положению и дайки, и плутонические тела приурочены к крупным долгоживущим разломным зонам и совмещены с оруденением в пространстве и по времени. Существенные различия этих ареалов выражаются в составе и возрасте вмещающих дайки пород (преимущественно кембро-ордовикские метаморфизованные терригенные породы в Южно-Чуйском ареале, кембрийские известняки и песчаники в Акташском и девонские углистые терригенные породы в Юстыдском ареале). Они также существенно отличаются по металлогении и масштабам развития разных типов оруденения – в Акташском ареале развита преимущественно ртутная минерализация, в Юстыдском - широко проявлено Ag-Sb и Ni-Co-As оруденение, представленное протяженными жильными зонами сидерит-сульфосольного или карбонатно-арсенидного состава (месторождения Асгат, Озерное, Пограничное, Асхатиин-гол и др.). В Южно-Чуйском известны лишь небольшие рудопроявления Ag-Hg-Sb, Cu-U-Au, Ni-Co и Ag-Pb-Zn типа [Борисенко и др., 1992, 2011, Крупчатников, 1999].

В настоящей диссертационной работе на примере этих трех локальных ареалов развития чуйского комплекса планировалось решение таких основных задач: 1) установить общую хронологию формирования щелочных пород и гидротермального оруденения, 2) выявить источники и характер эволюции породообразующих расплавов лампрофиров чуйского и сиенитов Тархатинского массива и 3) выяснить особенности их флюидного режима и металлоносности магматических флюидов. Полученные результаты исследований позволяют обосновать следующие три защищаемые положения.

1. По данным геологических и геохронологических исследований (U-Pb (SHRIMP) и Ar-Ar методы, таблица 1) длительность развития щелочного мезозойского магматизма на территории ЮВ Алтая и СЗ Монголии составляла около 20 млн лет и протекало в два этапа: (1) 251-242 млн лет и (2) 237-234 млн лет, которые проявлены во всех локальных ареалах чуйского комплекса. Первый и второй этапы завершились формированием Ag-Sb (240 млн лет) и Sb-Hg (234-231 млн лет) оруденения соответственно. Становление Тархатинского массива совпадает по времени с первым этапом формирования чуйского комплекса.

Проблема возраста лампрофиров чуйского комплекса в Горном Алтае активно обсуждается в литературе, начиная со времени их открытия в 50-60-е годы прошлого века. Их считали самыми молодыми магматическими образованиями в Горном Алтае и геологический возраст определялся как постдевонский, а верхняя возрастная граница устанавливалась по наложению мезозойского ртутного оруденения на дайки этих пород. Первые изотопно-геохронологические данные (K-Ar метод) были получены Р.В. Оболенской и Л.В. Фирсовым (1966г.), которые на основе анализа 16 проб биотита из лампрофиров определили их возраст как триас-юрский (260-163 млн лет, средний 210 млн лет). В это же время был установлен возраст пород Тархатинского массива – 255-276 млн лет (Оболенская, 1971). Позже, в связи с выявлением поднемезозойского (J_2 - K_1) Cu-Co-As, Ni-Co-As и Fe-F-REE-карбонатитового в Центральной и ЮВ Туве, а также Hg и U оруденения в Горной Шории, лампрофиры чуйского комплекса стали относить к поднемезозойским образованиям. Такой возраст пород комплекса был введён в легенды геологических карт и приводился в публикациях вплоть до начала 2000 г. И лишь с внедрением в практику геохронологических исследований новых методов (U-Pb и Ar-Ar) стало возможным уточнить возраст щелочных пород ЮВ Алтая и ассоциирующего с ним Ni-Co-As, Ag-Sb и Sb-Hg

Таблица 1. Хронология процессов магматизма в ареале чуйского комплекса (ЮВ Алтай- СЗ Монголия).

Порода/оруденение	Минерал	Возраст (млн. лет)		Метод
		плато	изохрона	
Позднеперский магматизм и оруденение				
Минетта, Южно-Чуйский ареал	Мегакрит флогопита	276.8±3 258.2±2,7	254.5±2,7	Ar-Ar
Ni-Co оруденение, Южно-Чуйский ареал [1]	Настуран		258-250	U-Pb
Ni-Co оруденение, Юстыдский ареал	Серицит	251.8±2,4		Ar-Ar
Лампрофиры чуйского комплекса, первый этап				
Минетта, Ag мест. Асгат (СЗ Монголия), Юстыдский ареал	Циркон		250.8±4.5	U-Pb
Минетта, Южно-Чуйский ареал	Флогопит	249,2±2,5		Ar-Ar
Минетта, Южно-Чуйский ареал	Флогопит	246,8±2,6		Ar-Ar
Минетта, Южно-Чуйский ареал [2]	Флогопит	245.7±0.7		Ar-Ar
Минетта, Южно-Чуйский ареал [2]	Флогопит	244±0.8		Ar-Ar
Минетта, Юстыдский ареал	Флогопит	243,8±2,5		Ar-Ar
Минетта, Ag-Sb месторождение Асгат (СЗ Монголия), Юстыдский ареал	Флогопит	243±3.7		Ar-Ar
Минетта, Акташский ареал	Флогопит	242.6±2.8		Ar-Ar
Тархатинский монцодиорит-граносиенитовый массив				
Граносиенит, Южно-Чуйский ареал [3]	Циркон		247.0±5.2	U-Pb
Сиенит, Южно-Чуйский ареал [3]	Циркон		243±3	U-Pb
Гранитоидные интрузии				
Гранит, Атуркольский массив [3]	Циркон		242.7±2.4	U-Pb
Лейкогранит, СЗ Монголия	Мусковит	242.3±2.7		Ar-Ar
Граносиенит, Цузутусайский массив, Юстыдский ареал	Циркон		239.6±2.5	U-Pb
Оруденение				
Ag-Sb м-ние Асгат, Юстыдский ареал [4]	Серицит	240±3.5		Ar-Ar
Лампрофиры чуйского комплекса и оруденение, второй этап				
Минетта, Южно-Чуйский ареал [2]	Флогопит	236.5±3.8		Ar-Ar
Минетта, Южно-Чуйский ареал	Флогопит	236.8±0.6	236.2±1	Ar-Ar
Минетта, Юстыдский ареал	Флогопит	236.9±2.8		Ar-Ar
Минетта, м-ние Асгат, Юстыдский ареал	Флогопит	234.6±3.1		Ar-Ar
Ag-Hg м-е Кок-Узек, Юж.-Чуйский ареал [3]	Серицит	234.4±1.3		Ar-Ar
Hg м-е Тюте, Северо-Чуйский хребет [3]	Серицит	231.5±1		Ar-Ar

Примечание: Жирным шрифтом выделены данные автора. Ссылки: 1-Митропольский, Кулик; 2- Врублевский, 2004а,3- Борисенко и др., 2003, 2010, 4-Павлова и др., 2008.

оруденения. Первые данные Ar-Ag датирования лампрофиров (Борисенко и др., 2003, 2006, Врублевский и др., 2004, 2005, Павлова и др., 2008 и др.) позволили более надёжно обосновать раннетриасовый возраст лампрофиров (245-236 млн лет) и показать полихронность чуйского комплекса.

Для выяснения общей хронологии развития процессов раннемезозойского магматизма в основных локальных ареалах проявления чуйского комплекса (Южно-Чуйский, Акташский, Юстыдский) и возрастной корреляции пород комплекса с проявлениями базитового и гранитоидного магматизма и оруденением было проведено Ag-Ag и U-Pb (SHRIMP) датирование (табл.1), что позволило сделать следующие выводы:

1. Проведённые исследования позволили существенно уточнить общие временные границы проявления щелочного магматизма в разных локальных ареалах чуйского комплекса – $250,8 \pm 4,5$ – $234,6 \pm 3,1$ млн лет. Для Южно-Чуйского ареала он укладывается в интервал $249,2 \pm 2,5$ – $236,2 \pm 2,1$ млн лет (Ag-Ag метод), а для Юстыдского - $250,8 \pm 4,5$ – $234,6 \pm 3,1$ млн лет (Ag-Ag и U-Pb методы). Необходимо отметить, что в Южно-Чуйском ареале установлены редкие своеобразные дайки слюдяных лампрофиров, обогащённых крупными (< 3 см) мегакристами флогопита. Судя по возрастным спектрам, на которых выделено два возрастных плато: $276,8 \pm 2,7$ и $258,2 \pm 2,7$ (60%), эти лампрофиры имеют, вероятно, более древний возраст. Возможно они относятся к другому, более раннему позднепалеозойскому этапу проявления базитового магматизма (теректинский комплекс) и кобальтового оруденения (табл.1).

2. Обоснованы полихронность формирования, и выделены два этапа проявления щелочного магматизма в ареале чуйского комплекса: 1) ранний (минетты, керсантиты и породы Тархатинского сиенит-граносиенитового массива) $250,8 \pm 4,5$ – $242,6 \pm 2,8$ млн лет и поздний (дайки лампрофиров) - $236,9 \pm 4,2$ – $234,6 \pm 3,1$ млн лет. Такая двухэтапность развития проявлена во всех локальных ареалах чуйского комплекса. Формирование пород тархатинской интрузии по данным U-Pb датирования цирконов (247 - 243 млн лет) совпадает с заключительным периодом первого этапа развития чуйского комплекса ($250,8 \pm 4,5$ – $242,6 \pm 2,8$ млн лет). В ареале этого комплекса проявлен и раннемезозойский гранитоидный магматизм, тяготеющий в основном к зонам Курайско-Кобдинского и Толбонурского разлома. Возраст таких интрузий гранитов, часто пространственно обособленных от полей развития даек лампрофиров и имеющих Cu, Mo, W, Au металлогеническую специализацию укладывается в интервал 243 - 239 млн лет. Таким образом, выделенные два этапа формирования щелочного магматизма разделены внедрением гранитоидных интрузий, а также формированием Ag-Sb оруденения (табл.1).

3. Возрастная корреляция раннемезозойского щелочного магматизма с характерным для ЮВ Алтая и СЗ Монголии Ni-Co-As, Ag-Sb и Sb-Hg оруденением показала, что с каждым из этапов магматизма связан свой комплекс гидротермального оруденения. С ранним этапом связано во времени формирование Ni-Co-содержащей арсенипирит-лёллигитовой минерализации ($251,8 \pm 2,4$ млн лет), непосредственно предшествовавшей внедрению даек лампрофиров. Образование разных минеральных типов Ag-Sb оруденения завершает ранний этап щелочного магматизма, а Sb-Hg (антимонит-киноварное и барит-Hg блёклорудное) оруденение заканчивает второй этап развития магматизма. Эти данные хорошо согласуются с наблюдаемыми пространственно-временными соотношениями магматических пород с разными типами оруденения (Оболенская, 1971, Митропольский, Кулик, 1975, Оболенский, Оболенская, 1983, Борисенко и др. 1992 и др.).

2. Материнские расплавы, формирующие лампрофиры разных ареалов, образовались при низких степенях плавления гранатосодержащих, в разной степени метасоматизированных мантийных источников, схожих по редкоэлементному составу, но отличных по изотопным характеристикам. Расплав по мере кристаллизации насыщался флюидными компонентами (F, P₂O₅, CO₂, H₂O), что привело к обособлению карбонатной или фосфатно-карбонатной жидкости. В расплавах Юстыдского и Акташского ареалов отделение карбонатной жидкости достигалось вследствие ликвации. В Южно-Чуйском ареале фосфатно-карбонатный расплав обособлялся на заключительной стадии кристаллизации пород как остаточная фаза.

Породы даек чуйского комплекса из Акташского, Южно-Чуйского и Юстыдского ареалов относятся к слюдяным разновидностям лампрофиров, минеттам и реже керсантитам. Все породы имеют схожий минеральный состав – вкрапленники представлены кристаллами флогопита и пироксена, матрикс сложен в основном щелочным полевым шпатом с теми же фемическими минералами. Акцессорные минералы представлены магнетитом, ильменитом, рутилом, флюоритом, целестинобаритом, апатитом, достигающим по содержанию первых процентов, и редких кристаллов циркона и сфена.

Несмотря на схожесть и единообразие минерального состава, лампрофиры даек Южно-Чуйского, Акташского и Юстыдского ареалов макроскопически существенно отличаются, что обусловлено их текстурно-структурным разнообразием. Характерными для них

структурами являются глобулярная и оцеллярная. Эти структуры ранее считались диагностическим признаком лампрофиров. Их происхождение важное имеет петрологическое значение и является объектом дебатов по настоящее время (Philpotts, 1976; Freestone, 1978; Cooper, 1979; Carstens, 1982; Попов, 1982; Huang et al., 2002; Holub, 2004).

Для большинства пород даек Южно-Чуйского ареала характерной является *глобулярная* структура. Главный структурообразующий элемент, глобули, представляют собой агрегат преимущественно полевошпатового состава, имеющего или сферолитовое строение, или состоящий из скелетных кристаллов калишпата в альбитовом матриксе (рис. 2-1) с тонкой магнетитовой или магнетит-пиритовой вкрапленностью. Граница глобули маркируется оксидами железа. Межглобулярное пространство сложено апатит-карбонатным агрегатом с аксессуарными магнетитом, целестинобаритом и кварцем. Ранее образовавшиеся крупные вкрапленники флогопита «облекают» глобули или пересекают их. Таким образом, в лампрофирах Южно-Чуйского ареала устанавливается последовательная кристаллизация расплава, на заключительной стадии которой обособляется остаточный существенно фосфатно-карбонатный расплав.

Для даек Акташского и Юстыдского ареала более характерна *оцеллярная* структура, видимая только в шлифах. Структурный рисунок обусловлен характерной изогнутой формой лейст флогопита, обрамляющих оцелли, сложенные кальцитом, иногда с калиевым полевым шпатом в различных соотношениях (рис. 2-1 г, д). По петрохимическим и изотопным данным, дайки Юстыдского ареала не несут признаков существенной контаминации в коровых условиях и последующего гидротермального изменения (низкие LOI, низкое значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), что указывает на магматический генезис карбоната. Представляется, что на определённой стадии кристаллизации расплава, происходило разделение его на две жидкости. На капли жидкости карбонатного состава «флотировались» лейсты флогопита, изолируя их от силикатного расплава. Затем происходила кристаллизация основной массы породы и на заключительном этапе кристаллизовалась внутренняя часть оцелли. Подобные структуры являются признаком неэффективной ликвации, т. е. разделении на две жидкости и их совместная кристаллизация. Эти данные хорошо согласуются с результатами изучения расплавных включений в минералах лампрофирах чуйского комплекса, которые показали роль процессов жидкостной несмесимости и кристаллизационной дифференциации щелочно-базитового расплава,

что привело на разных стадиях его кристаллизации к обособлению карбонатного и фосфатно-карбонатного расплава и формированию оцеллярных и глобулярных структур в лампрофирах.

Анализ петрохимических данных исследуемых пород показал, что они широко варьируют по содержанию кремнезёма от 40 до 60 мас.% (рис. 2-2). Содержания большинства породообразующих оксидов выявляют о корреляцию с содержанием кремнезёма (CaO , MgO , Fe_2O_3 , MnO , и P_2O_5), а Al_2O_3 увеличивается с ростом SiO_2 (рис. 2-2). При этом составы пород даек разных ареалов не образуют отдельных самостоятельных полей, а перекрываются, формируя единоподобные тренды. Исследуемые породы Тархатинского массива имеют схожий минеральный состав (щелочной полевой шпат, флогопит, пироксены), а составы сиенитов находятся на окончании и плавно продолжают тренды, образованные точками составов лампрофиров. По сравнению с породами даек, они характеризуются самыми высокими содержаниями кремнезёма – 62-69 мас.%. Суммарное содержание щелочей (4-11 мас.%) является повышенным, относя большинство исследуемых пород к умеренно-щелочному ряду, по отношению $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ они относятся к калиевому типу. Содержание TiO_2 составляет 1 - 2 мас.% и практически одинаково для всех изучаемых пород. Разнообразие химического состава лампрофировых даек чуйского комплекса обусловлено разным соотношением породообразующих минералов. На TAS-диаграмме (2-2а) точки составов лампрофиров попадают внутрь треугольника, вершинами которого являются составы реальных породообразующих минералов даек – пироксена, флогопита и щелочного полевого шпата. Высокий магнезиальный номер изученных пород ($\#mg=60-80$), наличие в них вкрапленников флогопита, хромсодержащего пироксена и оливина указывают на мантийный источник этих пород.

Графики распределения редких и редкоземельных элементов приведены на рисунке 2-3. Для лампрофиров чуйского комплекса и для сиенитов Тархатинского массива совпадает форма графиков, наклон, положение основных аномалий. Наибольшие вариации в уровне концентраций редких элементов при общей параллельности графиков наблюдается для лампрофиров Южно-Чуйского ареала. В этот же диапазон попадают лампрофиры Юстыдского ареала и сиениты Тархатинского массива (рис. 2-3). Для всех мультиэлементных спектров характерно обеднение HFSE (Nb, Ta, Hf, Zr, Ti) и отрицательная Sr аномалия (рис. 2-3а). Для спектров РЗЭ характерно обогащение LREE

и обеднение HREE, высокое отношение $La/Yb=18\div 50$, высокое отношение $Gd/Yb=3,9\div 9,7$ и отсутствие Eu аномалии (рис. 2-3б).

Анализ графиков распределений редких и редкоземельных элементов показал, что родоначальные расплавы для лампрофиров Южно-Чуйского, Акташского и Юстыдского ареалов чуйского комплекса, а также для сиенитов Тарахтинского массива выплавились из гранатосодержащих мантийных источников, схожих по редкоэлементному составу. Отрицательные аномалии по HFS элементам свидетельствуют о том, что в рестите остались минералы-концентраторы высокочарядных элементов, такие как ильменит, рутил и сфен. Отсутствие Eu аномалии указывает на то, что в процессе эволюции родоначальной расплава не было фракционирования плагиоклаза.

Но наибольшее различие вещественного состава пород чуйского комплекса наблюдается в изотопных характеристиках. Лампрофиры Юстыдского ареала имеют состав, приближенный к BSE ($^{87}Sr/^{86}Sr=0,70509\div 0,70570$, $eNd=-1,1\div 1,5$), тогда как породы Южно-Чуйского ареала - как лампрофиры, так и сиениты - обладают существенно более высокими значениями $^{87}Sr/^{86}Sr$ ($0,70858\div 0,71113$) и отрицательными значениями eNd ($-4,1\div -1,1$). Сравнение изотопных данных с уровнем eNd континентальной коры в алтае-монгольском террейне, варьирующем от -5 до -7,5 (Kruk et al., 2011 и др.), подтверждает мантийное происхождение лампрофиров и сиенитов. С другой стороны, смещение параметров в сторону отрицательных eNd и более высоких, чем для BSE значений $^{87}Sr/^{86}Sr$ отношений свидетельствует о влиянии корового субстрата на состав магмы, формировавшей лампрофиры Южно-Чуйского ареала и сопутствующие сиениты. Учитывая высокий магнезиальность пород одновременно с высокими содержаниями K_2O и CaO , подобный сдвиг может быть результатом образования материнских расплавов за счёт плавления метасоматизированной мантии. (Zhang et al., 2008; Miller et al., 1999; Placid, 2011 и др.).

3. Магматогенные флюиды, отделявшиеся от расплавов, формировавших лампрофиры Южно-Чуйского ареала, являлись окисленными хлоридно-сульфатными по составу. Более восстановленные флюиды расплавов Юстыдского ареала отличались присутствием метана в газовой фазе. Специфика металлонности (Fe, Mn, Ag, Sb, Co, Ni и др.) флюидов отвечает составу профилирующих компонентов руд ассоциирующего с ареалами лампрофиров гидротермального оруденения (Ni-Co-As, Ag-Sb, Sb-Hg).

Для изучения особенностей кристаллизации лампрофиров чуйского комплекса, определения состава, свойств и металлонности связанных с ними магматогенных флюидов были проведены термобарогеохимические исследования (термо- и криометрия, КР-спектроскопия, LA-ICP-MS, микрорентгеноспектральный анализ и др.) расплавных и флюидных включений в пироксенах, апатите, цирконе и ксеногенном кварце из этих пород. Первичные расплавные включения были установлены во всех изученных минералах, а кристаллофлюидные и флюидные (газово-жидкие и газовые) - в основном в апатите. Наиболее полно отражают эволюцию состава флюидов, отделявшихся от породообразующих расплавов, включения в апатите. Изучены также вторичные расплавные и флюидные включения в ксеногенном кварце из этих пород. Расплавные включения сложены в основном в раскристаллизованном стеклом и газовой фазой (рис. 3-1). Во включениях в минералах из лампрофиров Акташского и Юстыдского ареалов было отмечено две фазы в разной степени раскристаллизованного стекла, которые при нагревании плавилась, образуя два расплава контрастного состава – карбонатный и силикатный (рис. 3-2). При нагревании до температуры 1000-1200°C гомогенизации таких включений не происходило. Это свидетельствует о жидкостной несмесимости и гетерофазном состоянии расплава и объясняет происхождение оцеллярных структур в лампрофитах этих ареалов. Химический состав расплавных включений в пироксенах отвечает, по-видимому, исходным или близким к исходным расплавам, а в апатитах – более кислым. Кристаллофлюидные включения в минералах лампрофиров содержат минералы-узники, занимающие 50-80% объема включения, фазы высококонцентрированного раствора и газа (рис. 3-3). Среди твердых фаз во включениях методом КР-спектроскопии диагностированы кальцит, доломит, ангидрит, галит, тремолит, калишпат, сложные сульфаты Cu и U. Флюидные 2 и 3-фазные включения фазами раствора, газа и галита или жидкой CO_2 (рис. 3-4). В растворах таких включений установлены ионы SO_4^{2-} . Газовая фаза всех типов расплавных и флюидных включений, по данным КР-спектрометрии, представлена в основном CO_2 и N_2 в переменных количествах и только во включениях из лампрофиров Юстыдского ареала установлены повышенные содержания метана. Все это указывает, что флюиды отделявшиеся от расплавов формировавших лампрофиры являлись высококонцентрированными (22-45% и более в NaCl экв.), окисленными, углекислотно-сульфатно-хлоридными по составу.

В кристалло-флюидных и флюидных включениях в апатитах методом LA-ICP-MS были установлены повышенные содержания целого ряда рудных элементов: Fe, Mn, Ba, Sr, Cs, Rb, Pb, Cs, Zn, Cu, Sb, As, Th, U, Mo, W, Ag, Hg и Bi. При этом K, Fe, Mn, Rb, Cu, Co в относительно больших количествах установлены в расплавах-рассолах и растворах кристалло-флюидных включений, а другие, Na, Sr, Ba, Cs, Pb, Zn, Sb, As, Hg, Th, U, W – в концентрированных растворах газовой-жидких 2-3-х фазных включений. Концентрацию этих элементов рассчитать только для газовой-жидких включений, в которых методом криометрии удалось определить содержание Na, явившимся внутренним стандартом. Установлено, что в растворах таких включений концентрация Hg, Sb, и As в 150-350 раз превышают их содержание в лампрофирах Алтая (рис. 3-5). Другие компоненты – Pb, Zn, W и отчасти Ag отмечаются в повышенных количествах, в 5-10 раз превышающих их содержания в лампрофирах. Остальные элементы, хотя и уверенно устанавливаются методом LA-ICP-MS в растворах включений, но их концентрация сопоставима или ниже чем в лампрофирах (рис.3-5).

Таким образом, в магматогенных флюидах, связанных с лампрофирами чуйского комплекса, в наиболее значимых для рудообразования концентрациях установлены лишь легколетучие элементы Sb, As, и Hg, являющиеся профилирующими для руд ассоциирующего с ареалами лампрофиров гидротермального оруденения (Ni-Co-As, Ag-Sb, Sb-Hg). Ряд других рудных элементов присутствует в менее значимых количествах в магматогенных флюидах. Однако учитывая высокую экстракционную способность таких окисленных флюидов, дополнительный источник рудных элементов для формирования руд мог быть обеспечен за счет заимствования из вмещающих пород (Pavlova, Borovikov, 2009, Борисенко и др., 2011).

Заключение.

В результате проведенного исследования были получены новые данные о возрасте, составе пород и породообразующих минералов, геохимических и изотопных характеристиках лампрофиров чуйского комплекса и сопутствующих им сиенитов. Установлено, что в раннемезозойское время формирование даек лампрофиров продолжалось около 20 млн лет (251-234 млн. лет) и протекало в два этапа синхронно во всех изученных ареалах развития комплекса. Высказано предположение о возможности выделения более раннего, позднепермского этапа формирования лампрофиров в изученном регионе, что требует дополнительно Ar-Ar и U-Pb датирования пород.

Доказана комагматичность лампрофиров Южно-Чуйского ареала и сиенитов Тархатинского массива, который ранее считался петротипом самостоятельного интрузивного комплекса (Шокальский и др., 2000). Полученные данные свидетельствуют о том, что Тархатинский массив может рассматриваться как плутоническая фация чуйского комплекса.

Анализ текстурно-структурных особенностей, минерального состава лампрофиров и результаты изучения расплавных включений в минералах показало, что формирование оцеллярных и глобулярных структур в лампрофирах связано с проявлением процессов жидкостной несмесимости, кристаллизационной дифференциации исходного расплава и обособлению карбонатного и фосфатно-карбонатного расплава.

Впервые были изучены расплавные и флюидные включения в минералах лампрофиров ЮВ Алтая и СЗ Монголии. Эти исследования показали, что в процессе становления чуйского комплекса происходила ликвидация щелочно-базитового расплава на силикатную, карбонатную и хлоридно-сульфатную жидкости. Установлено, что в процессе эволюции расплава отделялся флюид с повышенным содержанием Fe, Mn, As, Sb, Hg, что свидетельствует о генетической связи щелочно-базитового магматизма с Ag-Sb, Sb-Hg и Ni-Co-As оруденением, которое развито в ареале чуйского комплекса и синхронизировано с ним по возрасту.

Список основных опубликованных работ автора по теме диссертации:

Статьи в журналах:

Борисенко А.С., Боровиков А.А., **Васюкова Е.А.**, Павлова Г.Г., Рагозин А.Л., Прокопьев И.Р., Владыкин Н.В. Окисленные магматогенные флюиды, их металлоносность и роль в рудообразовании // Геология и геофизика - 2011. - Т. 52. - № 1. - С. 182-206

Васюкова Е.А., Изох А.Э., Борисенко А.С., Павлова Г.Г., Сухоруков В.П., Чан Туан Ань. Петрология и возрастные рубежи раннемезозойских лампрофиров Горного Алтая // Геология и геофизика – 2011. – Т.52. - №12. – С.2001-2021.

Борисенко А.С., Павлова Г.Г., **Васюкова Е.А.**, Травин А.В., Говердовский В.А., Гусев Н.И. Возраст лампрофиров Алтая и северо-запада Монголии и их соотношение с другими типами магматизма и оруденением // Геология и минералогия Сибири: Сб. тр. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010 - С.143-149

Тезисы совещаний и конференций:

Borisenko A.S., Pavlova G.G., Goverdovsky V.A., Gusev N.I., **Vasyukova E.A.** The Age of the Lamprophyres of Chuya Complex and Their Correlation With Granitoid Magmatism and Mineralization // Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny: Abstracts of the International Symposium (Novosibirsk, 6-9 august 2009). - Novosibirsk: Sibprint, 2009. - P. 50-53

Borisenko A.S., Borovikov A.A., **Vasyukova E.A.**, Pavlova G.G., Naumov E.A. Early Mesozoic lamprophyres and mineralization of the SE Altai and NW Mongolia: age, forming conditions and fluid regime // International Workshop on Geodynamic Evolution and Magmatism of the Central Asian Orogenic Belt, 2010 Novosibirsk: Abstract. - Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2010. - С. 17-19

Vasyukova E.A., Sukhorukov V.P. The composition of phlogopites from lamprophyric dykes and syenites (South-Eastern Altai) // The 20th general meeting of the IMA, Budapest, Hungary, 21-27 August 2010. – CD-ROM - p.579.

Borisenko A.S., Borovikov A.A., **Vasyukova E.A.**, Pavlova G.G., Palessky S.V. Fluid regime of lamprophyre dikes formation, SE Altai and NW Mongolia // Meeting ACROFI-III and 14th on Thermobarogeochemistry TBG-XIV (Novosibirsk, 2010): Abstracts. - Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2010. - P. 34-35

Vasyukova E. Petrology of lamprophyres of Chuya complex (SE Altai-NW Mongolia) // Mineralogia – Special papers, 37, 2010, XVIIth Meeting of the petrology group of the Mineralogical society of Poland, “Lamprophyres and related mafic hypabissal rocks: current petrological issues.” - Rozanka, Poland, 2010 - p.63

Vasyukova E. Geochemical data of Early Mesozoic lamprophyres and associated syenites (SE Altai-NW Mongolia) // Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-3986-1, 2012, EGU General Assembly 2012 [http:// meeting-organizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-3986-1.pdf](http://meeting-organizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-3986-1.pdf)

Vasyukova E. Enigma of the lamprophyres. // EGU General Assembly 2013 (7-12 April, 2013, Vienna, Austria), [2013EGUGA..15.9688V](https://doi.org/10.5194/EGUGA-15-9688V), <http://meeting-organizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-9688.pdf/>

Vasyukova E. Petrology of the lamprophyres // Goldschmidt 2013, (25-30 august, 2013, Florence, Italy), <http://goldschmidtinfo/2013/abstracts/-finalPDFs/2403.pdf>

Боровиков А.А., Борисенко А.С., **Васюкова Е.А.**, Брянский Н.В. Состав и металлоносность рудообразующих флюидов W-Mo(Вe) месторождения Калгута (Горный Алтай), по результатам изучения флюидных включений. // Тезисы XVI Всероссийской конференция по термобарогеохимии, Иркутск, ИГХ СО РАН, 10-14 сентября 2014.

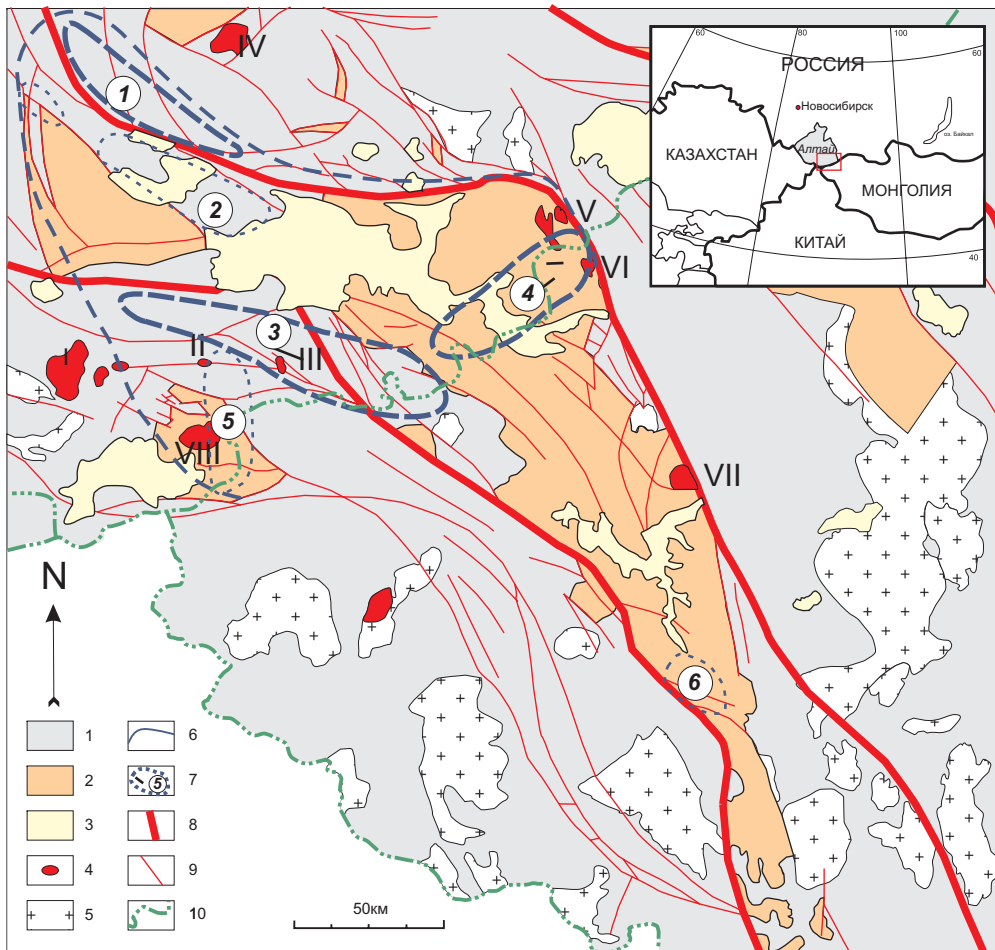


Рис. 1-1. Схема района распространения лампрофировых даек чуйского комплекса на территории Российской Федерации и Монголии (Составлена с использованием работ Добрецов и др., 1995, 2005; Борисенко, Павлова и др., 1992)

1- кембро-ордовикские метаморфические породы; 2 – срдне-верхнедевонские отложения; 3 – четвертичные отложения; 4 – мезозойские гранитоиды (I-Алаха; II-Жанендыгуйский; III-Тархатинский; IV-Атуркольский; V-Ценгесайский; VI-Нарынгольский; VII-Кызыл-Тау VIII-Калгутинский); 5 – другие гранитоиды региона; 6 – область распространения лампрофировых даек Чуйского комплекса; 7 – локальные ареалы лампрофиров в пределах чуйского комплекса (1 – Акташский, 2- Северо-Чуйский, 3 – Южно-Чуйский, 4 – Юстыдский, 5 – Калгутинский, 6 - Толбонурский) - чертой показаны преобладающие направления простирания даек ареала; 8 – тектонические зоны; 9 – разломы; 10 – государственная граница.

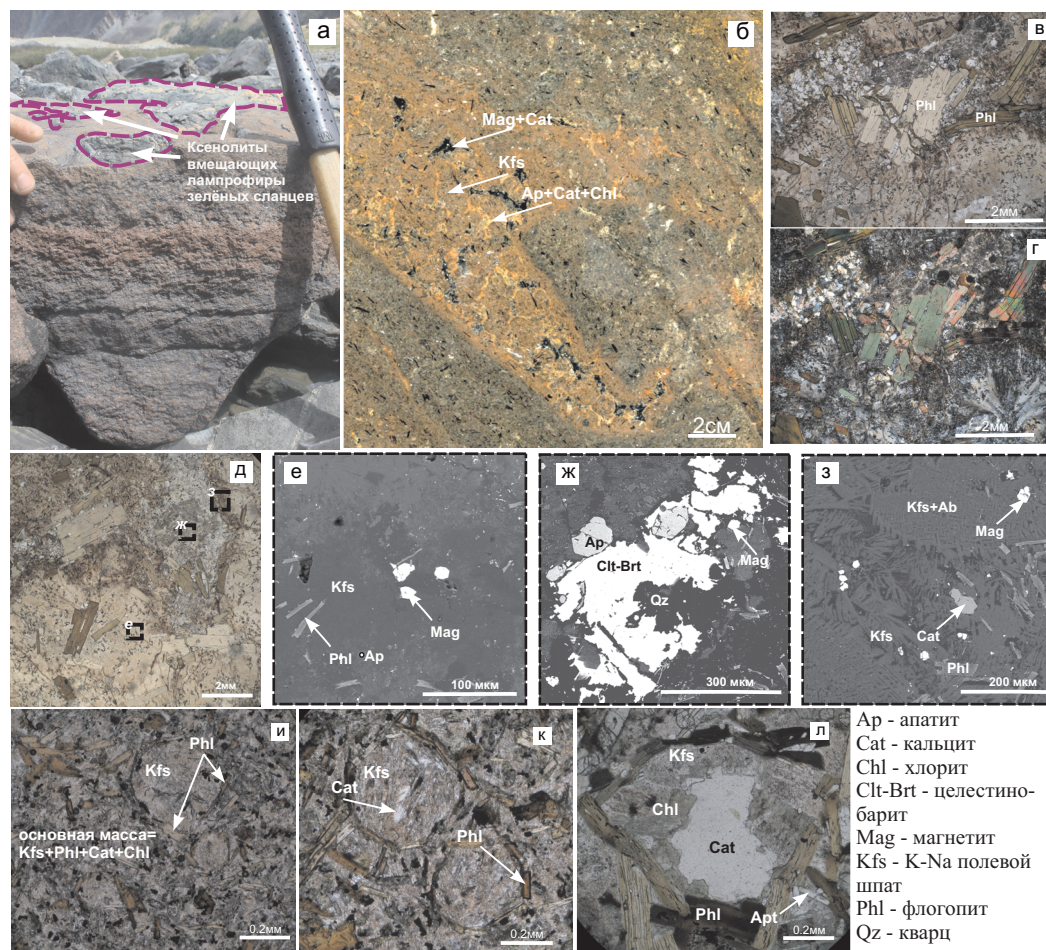


Рис. 2-1. Структуры лампрофиров чуйского комплекса.
 а-г) Глобулярные структуры лампрофиров даек Южно-Чуйского ареала и их состав.
 а) Лейкокатровый лампрофир, Южно-Чуйский ареал. В образце хорошо видно чередование равномернозернистой и глобулярной структуры. Слоистость параллельна контакту, маркированному ксенолитами вмещающих зелёных сланцев. Переходы между слоями постепенные, без закалочных зон.
 б) Образец лампрофировой дайки, демонстрирующий соотношение равномернозернистой и глобулярной структур. Внутри равномернозернистой породы наблюдается шпир неправильной формы. Шпир имеет пламеневидную форму, отчётливо видимую за счёт каймы коричневого цвета. Кайма имеет, ровный с внешней стороны и фестончатый внутренний контур шириной около 1.5 мм. Основным структурообразующим элементом породы, находящейся в шпире являются красноцветные глобулы, окружённые лейкокатровым материалом. В интерстициях между глобулами находятся скопления рудного материала и фосфатно-карбонатного агрегата. Фенокристы флогопита находятся повсеместно: внутри глобулы, в промежутках между ними и в равномернозернистой породе.
 в, г) Внутреннее сферолитовое строение глобулы (фото в одном (в) и скрещенных николях(г))
 д-з) Состав глобулей и межглобулярного матрикса. (фото в одном никеле (д) и во в отражённых электронах (BSE) (е-з)). Глобулы имеют полевошпатовый состав, а матрикс - фосфатно-карбонатный.
 и-л) Состав и строение пород с оцеллярной структурой (фото в проходящем свете). Оцеллы окружены лейстами флогопита. Показаны разные соотношения щелочного полевого шпата и карбоната внутри оцеллей.

Ар - апатит
 Cat - кальцит
 Chl - хлорит
 Clt-Brt - целестинобарит
 Mag - магнетит
 Kfs - K-Na полевого шпата
 Phl - флогопит
 Qz - кварц

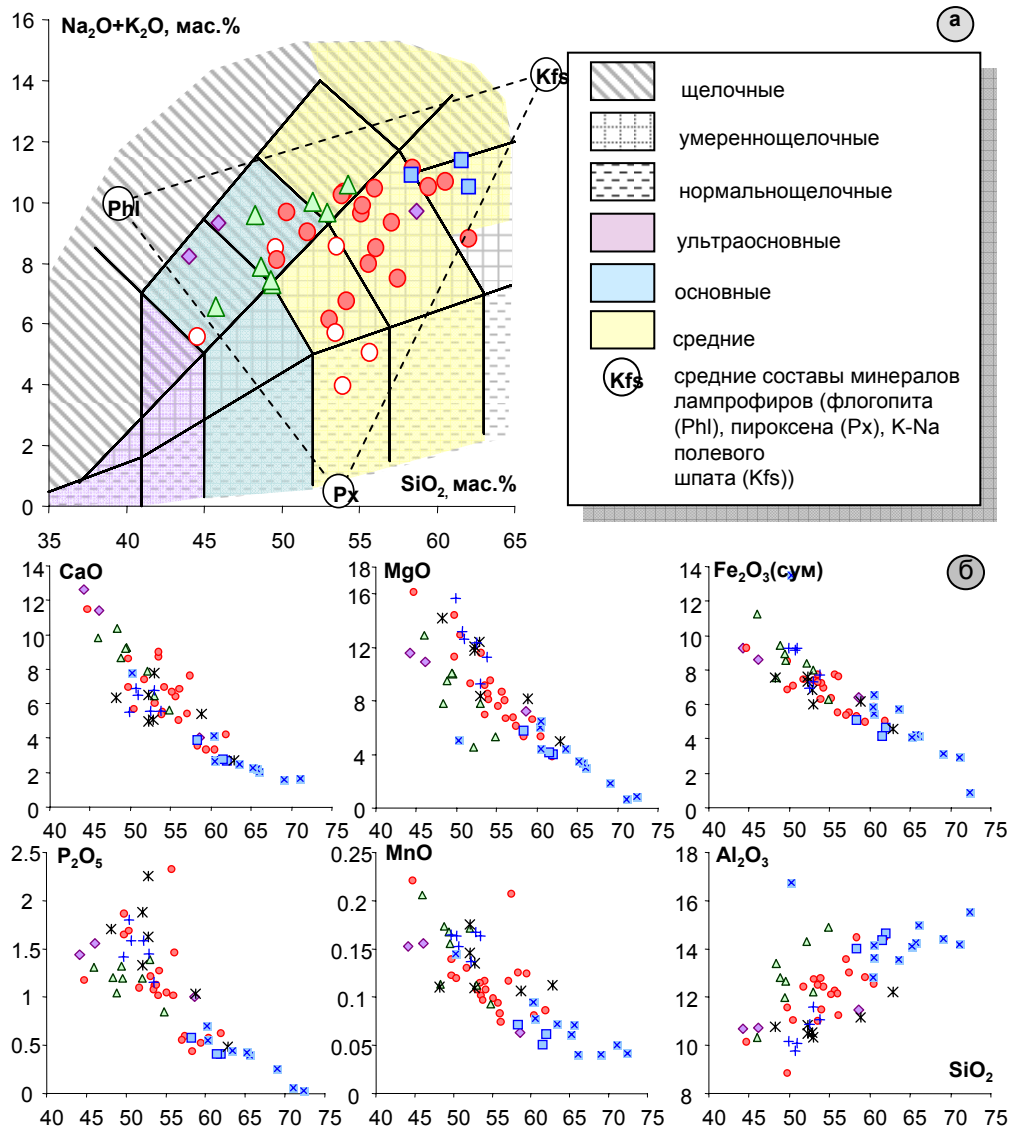


Рис. 2-2. Составы исследуемых пород на TAS-диаграмме (а) и вариационных диаграммах порообразующий оксид vs SiO_2 (б).
 Условные границы на TAS-диаграмме нанесены согласно Петрографическому кодексу [2009]. На всех диаграммах содержания оксидов приведены в массовых процентах, пересчитанных на 100% без учета потерь при прокаливании. На диаграмме (б) $\text{FeO}_{\text{tot}} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0.9$.
 1-4 лампрофиры (1 – Южно-Чуйского ареала, с уровнем LOI<9; 2 – Южно-Чуйского ареала с уровнем LOI>9; 3 – Акташского ареала; 4 – Юстыдского ареала); 5 – Саржематинского ареала [Крупчатников В.И., 2011]; 6 – Жумалинского ареала [Крупчатников В.И., 2011]; 7-8 – породы Тархатинского массива (7 – наши данные; 8 – данные [Изох и др., 1987; Крупчатников, 2010]).

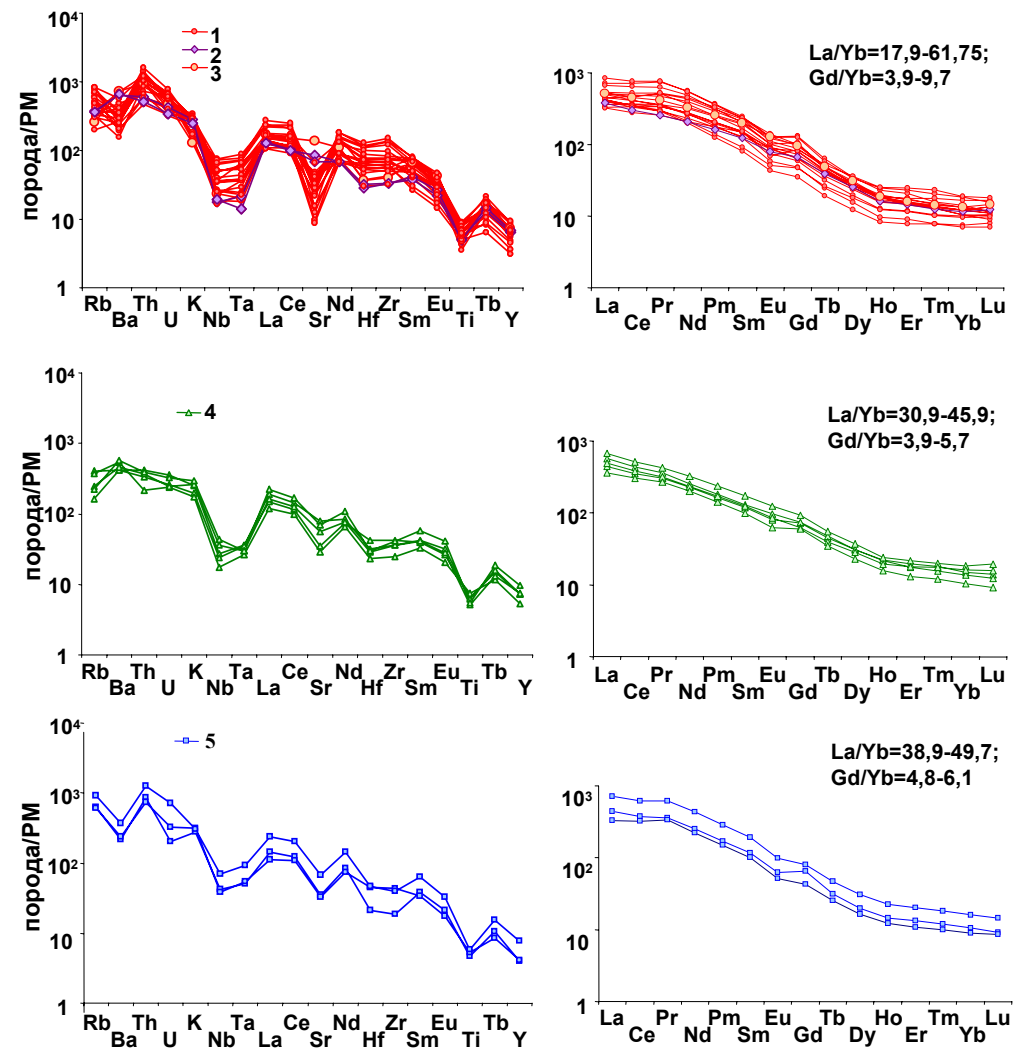


Рис. 2-3. Мультиэлементные и редкоземельные спектры для лампрофиров чуйского комплекса и сиенитов Тархатинского массива.
 Содержание нормированы на PM [McDonough et al., 1991]. 1 – лампрофиры Южно-Чуйского ареала; 2 – лампрофир, обр. Chib1, Акташский ареал; 3 – лампрофир обр. Dga1, Южно-Чуйский ареал; 4 – лампрофиры Юстыдского ареала; 5 – сиениты Тархатинского массива.

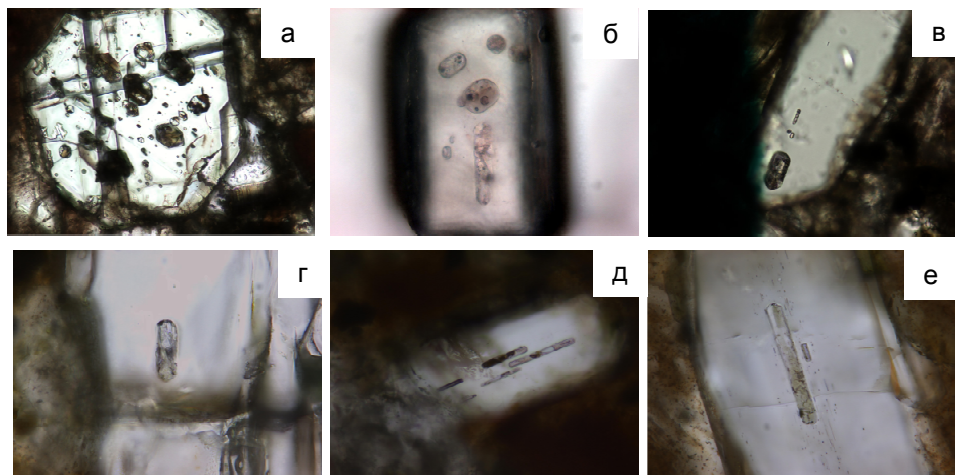


Рис. 3-1. Разнообразие расплавных включений в пироксене (а) и апатите (б-е) лампрофиров чуйского комплекса. Включения содержат материал разной степени раскристаллизованности и газовую фазу.

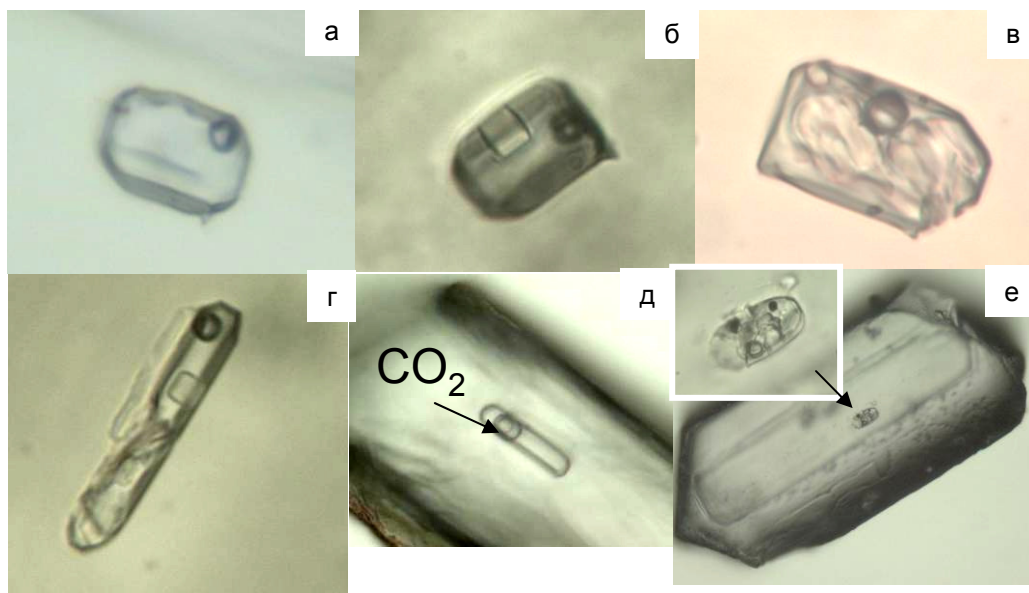


Рис. 3-3. Разнообразие флюидных включений в апатитах лампрофиров чуйского комплекса. Содержат несколько фаз, в том числе жидкость и газ. В некоторых включениях (б, г) хорошо видны кристаллы галита.

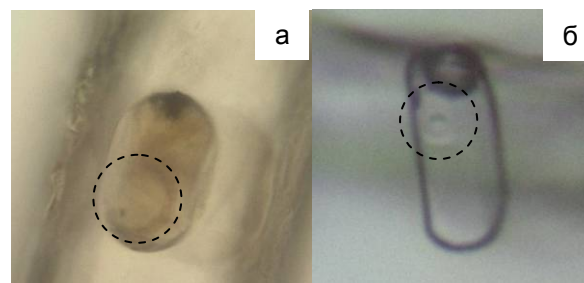


Рис. 3-2. Расплавные включения в минералах лампрофиров в (а) – апатите и (б) - цирконе.

На фотографиях обведены участки карбонатного состава, внутри силикатной матрицы.

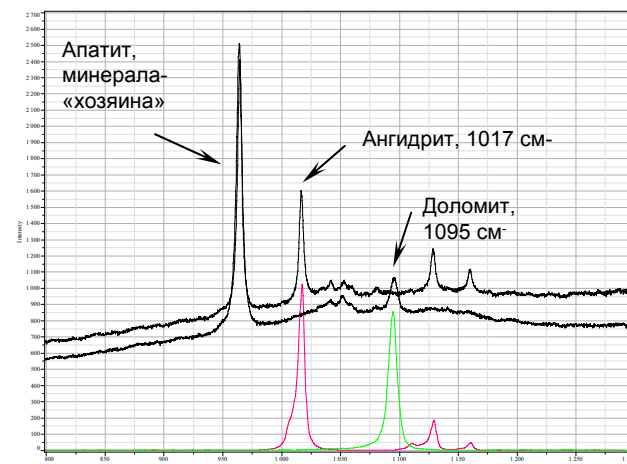


Рис. 3-4. Спектр включения с ангидритом и доломитом в апатите лампрофиров

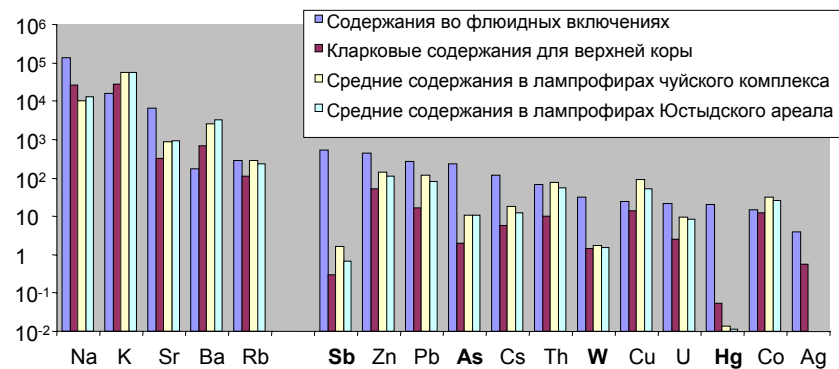


Рис. 3-5. Сравнение содержаний некоторых элементов во флюидных включениях из апатитов лампрофиров Юстыдского ареала чуйского комплекса с кларковыми содержаниями в верхней коре (по [Wederohl, 1995]), с содержаниями в лампрофиров чуйского комплекса вообще и в Юстыдском ареале в частности.