

На правах рукописи

КРАСНОВА Татьяна Семеновна

**ПЕТРОЛОГИЯ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ МАССИВОВ
гор СЕВЕРНОЙ, ЗЕЛЕННОЙ И БАРХАТНОЙ
(КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)**

Специальность 25.00.04 - петрология, вулканология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск 2005

Работа выполнена в НИЛ структурной петрологии и минерагении и на кафедре петрографии Томского государственного университета.

Научные руководители: кандидат геолого-минералогических наук,
доцент И.Ф. Гертнер
доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.И. Гончаренко

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.Ф. Коробейников
(Томский политехнический университет)

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник С.И. Ступаков
(ОИГГМ СО РАН, г. Новосибирск)

Ведущая организация: Уральский государственный горный университет
(г. Екатеринбург)

Защита состоится 28 июня 2005 г. в 11.30 час. на заседании диссертационного совета К 212.267.04 в Томском государственном университете в ауд. № 245.

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан 27 мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических
наук, доцент

О.В. Бетхер

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Современные представления о генезисе продуктов ультрамафит-мафитового магматизма предполагают в качестве ведущего петрогенетического механизма прямое плавление вещества верхней мантии, особенности которого во многом определяют геодинамическую эволюцию и минерагеническую специализацию регионов. Примерами вероятного состава мантийного субстрата в складчатых областях являются офиолитовые ассоциации, где наряду с блоками океанической коры присутствуют фрагменты их реститового основания, представленные ультрамафитами дунит-гарцбургит-лерцолитовой серии. Как правило, изучение этих пород ограничивается петрографическими, минералогическими и геохимическими исследованиями. Применение методов структурного анализа в совокупности с традиционным подходом позволяет реконструировать не только внутреннее строение и историю тектонической эволюции ультрамафит-мафитовых комплексов, но и уточнить критерии локализации благороднометалльного оруденения.

Цель исследования состояла в выявлении закономерностей структурной и вещественной эволюции ультрамафитов гор Северной-Зеленой и Бархатной как составных частей венд-раннекембрийской офиолитовой ассоциации Кузнецкого Алатау.

Основными задачами работы являлись: 1) изучение внутреннего строения ультрамафитовых массивов и реконструкция динамо-кинематических условий их формирования; 2) петрографическая и петроструктурная типизация горных пород с последующей оценкой роли и механизмов пластических деформаций в их эволюции; 3) петро-геохимическая аттестация основных петрографических разновидностей ультрамафитов и анализ особенностей эволюции породообразующих минералов с расчетом температур их равновесия; 4) оценка геодинамического режима формирования пород офиолитовой ассоциации и их потенциальной рудоносности в отношении благородных металлов.

Фактический материал. В основу диссертационной работы положены результаты полевых и лабораторных исследований ультрамафит-мафитовых массивов гор Северной, Зеленой и Бархатной в Кузнецком Алатау, проводимых автором в 1994-2005 гг. в рамках научных исследований НИЛ структурной петрологии и минерагении и кафедры петрографии Томского госуниверситета, а также при выполнении проектов ФЦП "Интеграция" (Е0254, Д4197) и НП "Университеты России" (УР 09.01.008, УР 09.01.042). Всего было изучено более 500 образцов, в которых геометрическим анализом определялось пространственное положение элементов прототектоники. Петроструктурные исследования породообразующих минералов выполнены в 25 образцах. В 31 образце проведены измерения магнитной восприимчивости, абсолютных значений и ориентировки вектора остаточной намагниченности. Минералогические исследования включали минераграфическое изучение 21 аншлифа и 390 микронзондовых анализов минеральных фаз. В 200 пробах определены содержания петрогенных окислов, в 120 - концентрации рассеянных элементов методами РФА (73 ан.), ИНАА (37 ан.) и ICP-MS (10 ан.). Концентрации благородных металлов определены в породах атомно-абсорбционным методом (8 ан.), инверсионной вольт-амперметрией (113 опр.), Au - спектрально-сцинтилляционным (73 ан.), в оливине и пироксене - ICP-MS-лазерной абляцией (9 ан.).

Методы исследований. В качестве основного подхода исследования применялась оригинальная методика комплексного структурно-петрологического картирования, основанная на синтезе геометрического, петрографического, микроструктурного, геохимического и минералогического анализов горных пород. Изучение вещественного состава ультрамафитов проводилось с применением современных методов исследования геологических объектов, включая микрорентгеноспектральный, рентгенофлуоресцентный, ICP-MS и др. анализы. Аналитические данные обрабатывались методами математической статистики (кластерный анализ, факторный и др.).

Научная новизна. Автором впервые построены динамо-кинематические модели формирования внутренней структуры ультрамафитовых массивов гор Северной, Зеленой и Бархатной, отражающие полистадийный характер их динамометаморфизма. Проведена петроструктурная типизация основных петрографических разновидностей горных пород и установлены температурный режим и механизмы их пластической деформации. Обоснован единый стиль деформаций, пространственно разобщенных ультрамафитовых тел в составе офиолитового парагенеза. Получены новые данные о закономерностях вариаций петрофизических свойств ультрамафитов на примере Бархатного массива, отражающие особенности их динамометаморфического преобразования. Изучен минеральный состав ультрамафитов. Получены новые данные о петрохимических и геохимических особенностях пород, на основе которых в составе офиолитового парагенеза выделены две петрогенетические серии ультрамафитов: реститовые и кумулятивные. Впервые получены достоверные данные о распределении рассеянных элементов (LILE, REE, HFSE) в ультраосновных и основных породах, а также обосновано их геохимическое сходство с офиолитами надсубдукционных зон.

Практическая значимость. Разработана схема картирования дезинтегрированных блоков океанической коры в пределах складчатых поясов. На примере ультрамафит-мафитовых массивов гор Северной-Зеленой и Бархатной в Кузнецком Алатау реконструирован вертикальный сводный разрез офиолитового парагенеза.

Проведена оценка геодинамического режима формирования пород офиолитовой ассоциации с оценкой их перспективной рудоносности на благородные металлы. Повышенные концентрации Pt и Pd (до 5100 и 1800 мг/т соответственно) установлены в ультрамафитах с относительно рассеянной вкрапленностью хромшпинелидов из рудной зоны Бархатного массива, а Au (1150-5360 мг/т) – в густовкрапленных хромититах, что позволяет рекомендовать данный объект для более детальных поисково-оценочных исследований.

Апробация работы и основные публикации. Результаты проведенных исследований опубликованы в 27 статьях и тезисах докладов. Основные материалы работы были представлены на 7 Международных конференциях (Томск, 1997, 1999; Москва, 1997, 1999; Иркутск, 1997; Дания, Копенгаген, 2004), на всероссийских и региональных конференциях по петрологии, геохимии и рудоносности магматических пород, а также по экспериментальной тектонике и структурной

геологии (Москва, 1997, 2005; Сыктывкар, 1998, 2000; Санкт-Петербург, 1999, 2003; Новосибирск, 1996; Томск, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004; Красноярск, 2000, 2001).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения общим объемом 270 страниц, включая 68 иллюстраций, 22 таблицы с аналитическими данными и список литературы из 190 наименований.

Благодарности. Автор искренне признателен своим научным руководителям профессору А.И. Гончаренко, безвременно ушедшему, и заведующему НИЛ СПМ, доценту кафедры петрографии И.Ф. Гертнеру за постоянную поддержку и помощь на основных этапах выполнения работы.

При проведении полевых и камеральных работ неоценимую помощь оказали С.М. Борисов, В.С. Дубский, Д.Н. Войтенко, Н.Д. Захаров, А.В. Кольхалов, О.Е. Коломейцев, С.А. Корчагин, А.И. Мостовской, П.А. Тишин, Н.В. Федорова. Аналитические исследования по теме диссертационной работы выполнены при непосредственном содействии А.М. Сазонова, С.М. Макеева (КГУЦМиЗ, г. Красноярск), Г.Н. Аношина, О.С. Хмельниковой, В.А. Акимцева, А.Д. Киреева (ОИГГМ СО РАН), В.Н. Филиппова (ИГ КОМИ НЦ УрО РАН), Д.З. Журавлева (ИМГРЭ), Л.П. Рихванова, В.К. Бернатониса и Ю.В. Колмакова (ТПУ). Автор выражает им свою благодарность.

В процессе работы автор получал поддержку и советы своих старших коллег, докторов г.-м. наук, профессоров А.И. Чернышова, А.И. Родыгина, В.П. Парначева, В.В. Врублевского, кандидатов г.-м. наук В.Н. Сергеева, Ю.В. Уткина, Н.И. Кузоватова, В.А. Врублевского, П.А. Тишина, О.В. Бетхер, О.М. Гринева, В.Г. Родыгиной. Автор выражает глубокую признательность член.-корр. РАН Д.А. Додину, докторам г.-м. наук А.М. Сазонову, Г.Н. Аношину, А.Э. Изоху, В.А. Симонову, Ю.Р. Васильеву, М.И. Груднину, И.А. Малахову, Г.Н. Савельевой, G. Gutierrez-Alonso, А.Ю. Беккеру, кандидатам г.-м. наук – А.С. Механошину, С.И. Ступакову, С.И. Леонтьеву, Л.В. Агафонову, Е.А. Звягиной, В.Г. Владимирову за плодотворное обсуждение результатов исследований.

Организации научной работы во многом способствовала поддержка ректора ТГУ Г.В. Майера, руководства научного департамента ТГУ – Г.Е. Дунаевского, Т.П. Астафуровой, В.Н. Стегния, А.Е. Чеглокова, И.В. Ивонина, декана геолого-географического факультета Г.М. Татьянина.

За помощь в оформлении диссертации автор благодарен И.Ю. Уткину, Т.Ф. Наумовой, О.А. Пятайкиной и Д.Н. Войтенко.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ОФИОЛИТОВ В СТРУКТУРАХ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Состав, строение и возраст офиолитов Кузнецкого Алатау рассматривались в разные годы в работах А.Н. Чуракова (1932), В.К. Монича (1941), Г.В. Пинуса и др. (1958; 1966), М.П. Кортусова (1967), А.И. Гончаренко и др. (1969; 1982; 1989), О.Г. Коноваловой и Н.А. Прусевич (1977), В.В. Велинского и др. (1983; 1985), В.А. Симонова и др. (1993; 1999), С.И. Ступакова и др. (2000), А.В. Плотникова и др. (1996; 1998; 2000) и др.

Пространственное распределение ультрамафитовых массивов и ассоциирующихся с ними базитов в структурах региона определяется отчетливо выраженным развитием вдоль главного глубинного разлома с локализацией в виде двух автономных поясов – западного и восточного. Согласно современным представлениям (Симонов и др., 1999; Плотников и др., 2000) для первого из них предполагается верхнерифей-вендский возраст и формирование в обстановке типа срединно-океанических хребтов. Для второго, включающего наиболее крупные ультрамафитовые массивы, такие как Среднетерсинский, Бархатный, гор Северной-Зеленой и др., допускается венд-раннекембрийский возраст офиолитообразования в условиях начальных стадий задугового спрединга.

В пределах выделенных поясов ультрамафит-мафитовая ассоциация тектонически дезинтегрирована на ряд пространственно обособленных фрагментов. Блоки венд-раннекембрийских офиолитов, как правило, обнаруживают полукольцевую морфологию. Степень их тектонической переработки закономерно увеличивается в направлении с юго-востока на северо-запад.

По характеру взаимоотношения ультрабазитовых массивов с вмещающими терригенно-осадочными и вулканогенными толщами региона предполагается, что обдукция энсиматической коры Палеоазиатского океана началась при формировании аккреционной призмы на фронте ранне-среднекембрийской островодужной системы и продолжалась до основной консолидации Кузнецко-Алатауского террейна в ордовике-девоне (Берзин, Кунгурцев, 1996; Краснова, Гертнер, 2000). Наблюдаемый ныне структурный план региона отражает полистадийный характер деформаций как складчато-надвигового, так и сдвигового стиля, сопровождавшихся неоднократными движениями вдоль главного линеамента хребта (Алабин, 1983; Владимиров и др., 1999).

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Ультрамафитовые массивы гор Бархатной и Северной-Зеленой представляют собой тектонизированные фрагменты единого офиолитового парагенеза, обдукция которого в верхние горизонты земной коры сопровождалась тремя последовательными стадиями динамометамор-физма.

Породы исследуемого офиолитового парагенеза формируют погружающуюся на север подковообразную синформу (рис. 1), в которой наиболее крупные фрагменты дунит-гарцбургитового комплекса – массивы гор Северной-Зеленой (СЗМ) и Бархатной (БМ), слагают краевые ветви, а замковая часть представлена

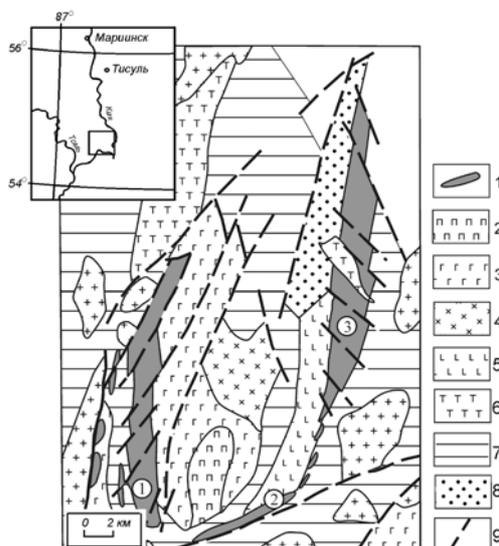


Рис. 1. Схема геологического строения офиолитового парагенеза гор Северной, Зеленой, Бархатной и Заячьей (составлена автором по материалам О.Г. Коноваловой и Н.А. Прусевич (1977))

1 – ультрамафитовые массивы (1 – гор Северной-Зеленой, 2 – Заячьей, 3 – Бархатной); 2 – пироксениты и габбро-пироксениты; 3 – гнейсовидные и полосчатые габброиды; 4 – лейко-габброиды и габбро-диориты; 5 – габбро-диабазы и диорит-диабазы субвулканического комплекса; 6 – интрузии субщелочных габброидов; 7 – субокеанические и окраинно-континентальные осадочные толщи; 8 – ордовикские и девонские субконтинентальные осадки дейтерогенных впадин; 9 – тектонические нарушения.

мощной зоной серпентинитового меланжа с небольшими реликтовыми блоками гипербазитов. По геофизическим данным предполагается достаточно крутое падение ультрамафитовых тел навстречу друг другу (Николаев и др., 1987). Пространственная и геологическая позиция СЗМ указывает на более низкий гипсометрический уровень залегания слагающих его пород в сводном разрезе реститового дунит-гарцбургитового комплекса по сравнению с БМ, где картируются локальные зоны хромитового оруденения.

Внутренняя часть офиолитового парагенеза выполнена породами основного состава с широким спектром петрографических типов – от габбро-перидотитов и пироксенитов до лейкогабброидов и диоритов, а также локальными фрагментами рифей-вендских терригенно-карбонатных отложений и узким клино-видным блоком девонских вулканогенных осадков Растайского грабена.

Ультрамафитовые массивы образуют плитообразные тела, вытянутые в субмеридиональном направлении на 20-25 км при ширине 1-3 км. Их внутреннее строение нарушено секущими разломами сбросо-сдвигового типа. При этом для БМ характерны нарушения северо-западного, а для СЗМ – северо-восточного простирания. Набор петрографических видов в составе массивов является типичным для альпинотипных гипербазитов и включает гарцбургиты, дуниты и их серпентинизированные разновидности.

Детальным анализом пространственной ориентировки плоскостных и линейных структурных элементов в ультрамафитах установлена сложная деформационная структура, отражающая развитие нескольких геометрических типов S- и L-элементов. Особенности пространственной ориентировки элементов текстурной анизотропии пород на БМ и СЗМ демонстрируют определённые черты сходства их внутреннего строения, что в совокупности с данными стрейн-анализа и палеомагнитных реконструкций допускает выделение трёх основных стадий динамометаморфического преобразования офиолитового парагенеза в целом.

Первая стадия характеризуется преобладающим развитием соосных пластических деформаций с возникновением складчатости цилиндрического типа, фрагменты которой сохранились в ядерных частях ультрамафитовых тел и картируются по вариациям залегания полосчатости и первичной минеральной уплощенности S_1 . Генерализованная осевая поверхность этой структуры имеет северо-западное простирание (аз. пр. 310-320°) с крутым падением на юго-запад (\angle пад. 65-80°), а шарнир ориентируется субгоризонтально. Практически полное совпадение ориентировки системы S_1 в пространственно разобщенных ультрамафитовых массивах, которая к тому же является субогласной к Кузнецко-Алатаускому разлому и простиранию офиолитового пояса, но секущей по отношению к структурам вмещающей терригенно-карбонатной рамы, говорит о том, что данный стиль деформаций характеризует наиболее ранние процессы

обдукции океанической коры. Геометрия элементов складчатой системы S_1 может рассматриваться в качестве индикатора осей палеонапряжений на ранней стадии деформации ультрамафитов. Вероятным направлением оси максимального палеостресса σ_1 предполагается полого погружающийся на северо-восток вектор, перпендикулярный генерализованной осевой плоскости складок. Ориентировка промежуточной оси σ_2 определяется шарниром и минеральной линейностью L_1 , отвечая субгоризонтальному вектору северо-западного или юго-восточного румбов. Ось преобладающего растяжения σ_3 реконструируется соответственно как субвертикальный вектор, круто погружающийся на юго-запад.

Вторая стадия динамометаморфизма связана с заложением субмери-диональных тектонических нарушений и последующей вертикальной дезинтеграцией офиолитовой пластины, в результате чего различные части ее сводного разреза оказались на близком гипсометрическом уровне. Наиболее интенсивно эти процессы проявились на флангах офиолитового парагенеза и выразились в вертикальной обдукции фрагментов ультрамафитового основания, сформировавших массивы БМ и СЗМ, а также подковообразную морфологию всей структуры. Аплифт ультрамафитовых тел сопровождался интенсивным пластическим течением материала в их эндоконтактных зонах, которое способствовало развитию вторичной субвертикальной системы уплощенности S_2 субмеридионального простирания. Реконструкция динамического поля второй стадии допускает субширотное субгоризонтальное направление оси сжатия σ_1 , субмеридиональное субгоризонтальное – промежуточного вектора σ_2 и субвертикальную ориентировку оси растяжения σ_3 .

Третья стадия деформаций ультрамафитов БМ и СЗМ обусловлена сдвиговыми смещениями вдоль их границ с габброидами и развитием секущих тектонических нарушений. При этом на БМ поперечные разломы унаследуют элементы S_1 северо-западного простирания, что предполагает левостороннюю кинематику сдвига. В СЗМ формирование подобных дизъюнктивов связано с активизацией плоскостной системы северо-восточного простирания S_3 , которая указывает на правосторонний характер тектонических смещений. Наблюдаемые различия, тем не менее отражают общую тенденцию движения базитового ядра внутри офиолитового парагенеза в южном направлении. В такой ситуации, поперечные разломы на обоих массивах оказываются проницаемыми для гидротермальных растворов и магматических расплавов, подтверждением тому служит ориентировка Бархатно-Кийского сиенит-габбрового массива, а также зон лиственитизации и даек повышенной щелочности в СЗМ. Смещение базитового ядра, по-видимому, явилось главной причиной возникновения мощной зоны меланжа на южном фронте офиолитового парагенеза. Реконструкция осей палеонапряжений этой стадии предполагает преобладающее субгори-зонтальное положение вектора сжатия σ_1 с вариациями направления погружения от северо-восточного (для СЗМ) до юго-восточного (для БМ). Для оси промежуточного стресса σ_2 наиболее вероятно субвертикальная ориентировка, а для вектора растяжения σ_3 – горизонтальная, перпендикулярная секущим нарушениям.

2. Наблюдаемое многообразие микроструктур в породах ультрамафитовых массивов гор Северной-Зеленой и Бархатной обусловлено их пластической деформацией механизмами трансляционного скольжения, субзернового распада и синтетектонической рекристаллизации, которые протекали преимущественно в условиях последовательного понижения температур и контролировались динамическим режимом полистадийного метаморфизма офиолитовой ассоциации.

Признаки пластической деформации ультрамафитов отчетливо проявлены на микроуровне, особенно в породообразующем оливине (кинк-банды, субзерновая структура и др.). При детальном петрографическом исследовании в породах БМ и СЗМ установлено двенадцать типов микроструктур оливина. В зависимости от режима деформаций реализуются три иерархических ряда: 1) протогранулярный → мезогранулярный → порфирокластовый → мозаичный; 2) протогранулярный → лейстовый → порфиroleйстовый → мозаично-лейстовый; 3) протогранулярный → протогранулярно-кливажированный → паркетовидный → псевдоспинифекс, мозаично-паркетовидный. В каждом из них структурное преобразование пород сопровождается заметным уменьшением среднего размера зерен и последовательным увеличением роли мелких рекристаллизованных индивидов (рис. 2). Автономность выделенных рядов подтверждается их пространственным распределением, которое отражает особенности динамометаморфической зональности ультрамафитовых массивов (рис. 3). Первый ряд микроструктурных типов распространен наиболее широко и определяет концентрически-зональное строение СЗМ и БМ, обусловленное синтетектонической рекристаллизацией пород в ходе полистадийного динамо-метаморфизма. Второй ряд микроструктур наблюдается только в породах центральной части БМ, в зоне вкрапленных и массивных хромитов, и отражает специфические условия деформации неоднородного по своим пластическим свойствам субстрата. Третий устанавливается в породах, локализованных вблизи секущих тектонических нарушений (северо-восточного простирания для СЗМ и северо-западного – для БМ).

Петроструктурный анализ ультрамафитов БМ и СЗМ, проведенный на основе изучения ориентировок кристаллооптических осей оливина и ортопироксена, подтверждает выявленную динамометаморфическую зональность изученных массивов и существенно дополняет результаты петрографических наблюдений, особенно в плане диагностики механизмов пластической деформации. Эволюция петроструктурных узоров в протогранулярных, мезогранулярных, порфиро-кластовых и мозаичных оливинах является следствием развития регрессивной пластической деформации и синтетектонической рекристаллизации с последова

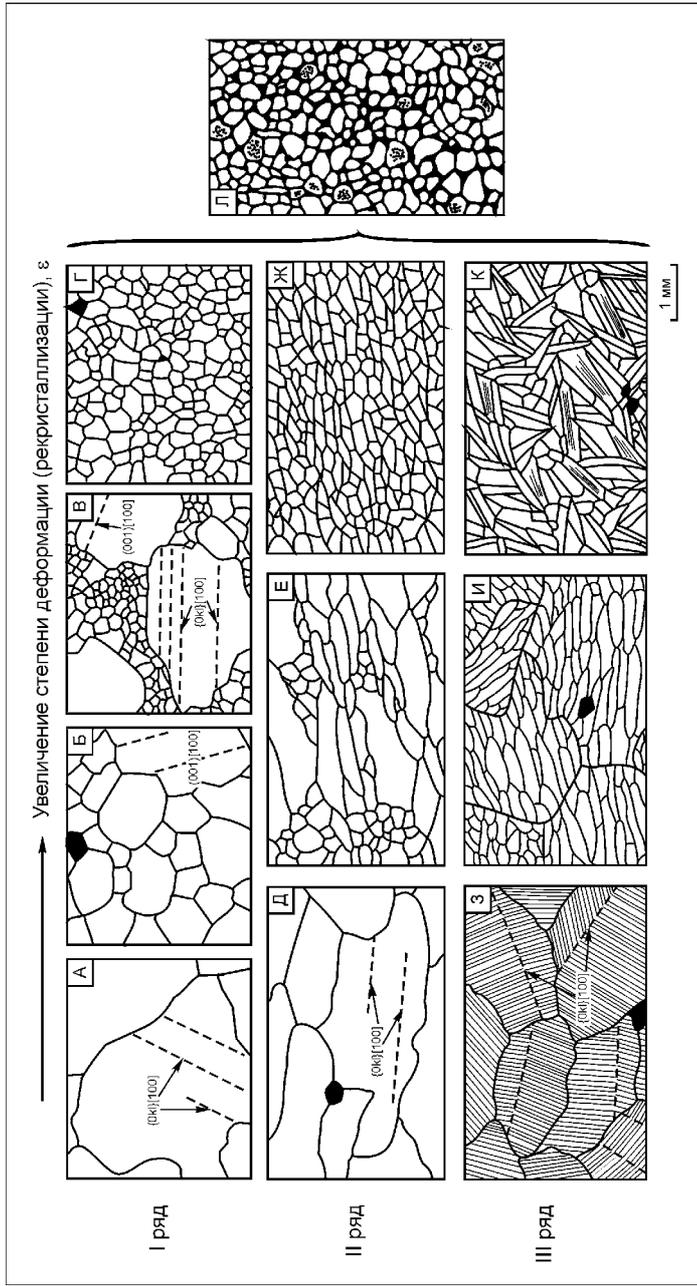


Рис. 2. Деформационные типы микроструктур оливины
 А – протогранулярный (обр. Бх-32/3); Б – мезогранулярный (обр. Бх-5/5); В – порфирокластический (обр. ЗС-9/4); Г – мозаичный (обр. ЗС-27/6); Д – лейстовый (обр. Бх-34/13); Е – порфиролейстовый (обр. Бх-34/15); Ж – мозаично-лейстовый (обр. Бх-34/24); З – протогранулярно-квиважированный (обр. ЗС-25/5); И – паркетовидный (обр. Бх-13/2); К – псевдостиннифкс (обр. ЗС21/3); Л – ретегерированный (обр. ЗС-8/7).

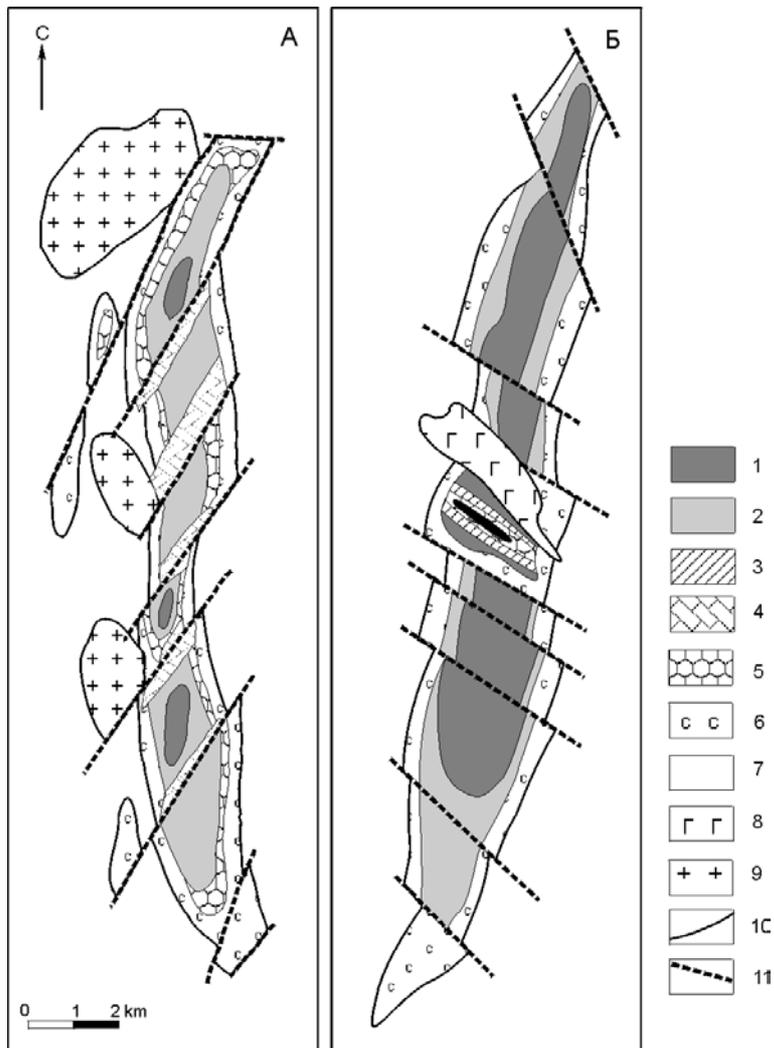


Рис. 3. Схемы динамометаморфической зональности массивов гор Северной-Зеленой (А) и Бархатной (Б)

1-5 – типы деформационных микроструктур оливина (1 – протогранулярный, 2 – мезогранулярный и порфирокластовый, 3 – лейстовый, 4 – протогранулярно-кливажированный, паркетовидный и псевдоспинифекс, 5 – мозаичный, мозаично-лейстовый и мозаично-паркетовидный); 6 – серпентиниты; 7 – породы обрамления; 8 – щелочные габброиды; 9 – гранитоиды; 10 – контакты ультрамафитовых тел; 11 – секущие тектонические нарушения.

тельной сменой систем трансляционного скольжения в ряду "(010)[100] → {011}[100] → (001)[100] → {110}[001] → (100)[001], (100)[010]", обнаруживая строгое соответствие с данными экспериментального моделирования (Nicolas, Poirier, 1976).

Анализ петроструктуры лейстового и мозаично-лейстового типов демонстрирует очевидную неоднородность динамического поля в пределах зоны хромитового оруденения. На участках разубоживания руд фиксируются признаки интенсивного пластического течения оливинов посредством трансляционного скольжения по высокотемпературной системе {0kl}[100], тогда как на участках сегрегации хромита оливин подвергается синтетектонической рекристаллизации при развитии хрупких деформаций в рудном минерале. Полученные данные указывают на важную роль пластических деформаций в формировании хромитового оруденения БМ. Их общий регрессивный характер подчеркивается последовательной сменой систем трансляционного скольжения в ряду {0kl}[100] → (001)[100] → (100)[001]. В качестве механизма формирования массивных и густо-вкрапленных руд можно предполагать процесс синтетектонической сегрегации.

Кристаллографическая ориентировка паркетовидного и псевдоспинифексового оливинов отличается крайней сложностью и отражает развитие новообразованной минеральной уплотненности S_3 и линейности L_3 , особенно для СЗМ. Важную роль в образовании игольчатых индивидов оливина, по-видимому, играли внутрикристаллические трещины отдельности, развитие которых способствовало активизации благоприятно ориентированных систем трансляции. В качестве ведущего механизма деформации предполагается скольжение по средне- и низкотемпературным системам (001)[100], (100)[001] и (001)[010] с дальнейшей трансформацией в синтетектоническую рекристаллизацию.

3. Петрохимические, геохимические и минералогические особенности ультрамафитов гор Северной, Зеленой и Бархатной обусловлены их при-надлежностью к породам реститового и фрагментарно кумулятивного комплексов офиолитовой ассоциации надсубдукционного (SSZ) типа. Наблюдаемые вариации состава пород и минералов отражают влияние процессов частичного плавления и наложенной синтетектонической рекристаллизации поздних стадий динамометаморфизма.

Дискриминация главных типов горных пород исследуемого офиолитового парагенеза проводилась на основе кластерного анализа параметров их химического состава и сопровождалась расчетом нормативного минерального состава, железистости нормативного оливина (f_{ol}) и критерия Хесса ($Kh = MgO/FeO$ в мол. %). По результатам этого анализа выделены 4 группы: дунит-гарцбургитовая, саксонитовая, ферроультрамафитовая и верлит-пироксенитовая.

Дунит-гарцбургитовая является наибольшей по объему (77 ан.) и объединяет низкокремнистые низкожелезистые высокомагнезиальные ультрамафиты в нормативном составе которых суммарное содержание диоксида и ортопироксена не превышает 22 об. %, а оливина не опускается ниже 77 об. %. Породы данного типа широко представлены как в БМ, так и в СЗМ. Их петрохимические параметры ($f_{ol} = 7-9$ %, $Kh = 9-15$) соответствуют продуктам реститового мантийного субстрата. Более дробное деление данного таксона позволяет выделить собственно дуниты (Ia_3), пироксеновые дуниты (Ia_1) и относительно бедные ортопироксеном гарцбургиты¹ (Ia_2). В составе саксонитовой группы (25-65 % OPX, 30-70 % Ol) по соотношению нормативного оливина и ортопироксена выделяются соответственно обогащенные гарцбургиты² (Ib_2), обедненные саксониты¹ (Ib_3) и обогащенные саксониты² (Ib_1), которые более широко распространены в пределах СЗМ. По петрохимическим параметрам эти разновидности также отвечают реститовым ультрамафитам ($f_{ol} = 9-11$ %, $Kh = 7-10$). Распределение их фигуративных точек на диаграмме Л.В. Дмитриева, включая средние составы выделенных кластеров (рис. 4), отражает процесс деплетации мантий-

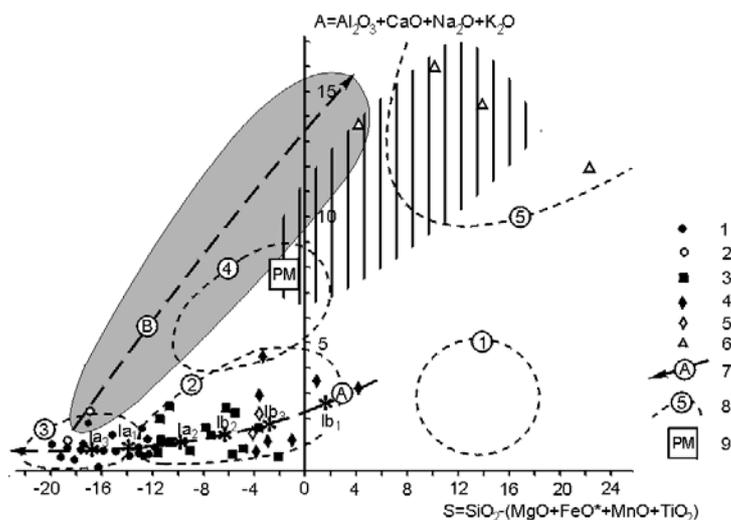


Рис. 4. Петрохимическая типизация ультрамафитов офиолитового парагенеза гор Северной, Зеленой и Бархатной на диаграмме Л.В. Дмитриева

1 – дуниты (Ia_1+Ia_3); 2 – ферродуниты (Ic); 3 – гарцбургиты (Ia_2+Ib_2); 4 – саксониты (Ib_1+Ib_3); 5 – ферроультрамафиты; 6 – плагиоверлиты и плагиоверстериты (Id); 7 – тренды вариаций (A – реститовый, B – фракционной кристаллизации); 8 – поля ультрамафитов (1 – ортопироксенитов, 2 – гарцбургитов, 3 – дунитов, 4 – лерцолитов, 5 – вебстеритов и клинопироксенитов); 9 – поле составов примитивной мантии, предполагаемое разными авторами. Серым фоном показано поле кумулятивных ультрамафитов Иокон-Довыренского массива, вертикальной штриховкой поле ультраосновных лав.

ного субстрата с последовательным накоплением в нем наиболее тугоплавкой минеральной фазы – оливина. Особенности состава ферроультрамафитовой и верлит-пироксенитовой групп ($f_{ol} = > 13 \%$, $K_h < 7$) указывают на их вероятную принадлежность к образованиям кумулятивного комплекса. Пространственная локализация первой из них отвечает зоне восточного эндоконтакта СЗМ, тогда как породы второй картируются в полях габброидов.

С учетом характера и стадийности динамометаморфических преобразований исследуемого офиолитового парагенеза предполагается следующая последовательность петрохимических типов пород в сводном вертикальном разрезе: для мантийного основания "саксониты → гарцбургиты – ортопироксеновые дуниты → дуниты и хромититы", для океанической коры "ферроультрамафиты → верлиты и пироксениты → оливинные габброиды → габбродиориты".

Изучение поведения рассеянных элементов подтвердило ведущую роль в вариациях вещественного состава пород двух петрогенетических факторов: рестирования исходного мантийного субстрата и внутрикамерной магматической дифференциации. Среди сидерофильных компонентов наиболее информативными оказались Ni и Cr, как трассеры породообразующих оливина и хромшпинелида. Средние концентрации Ni в вертикальном разрезе мантийных ультрамафитов закономерно увеличиваются от 2670 до 3380 г/т, демонстрируя последовательное возрастание количественной роли оливина в процессе рестирования. Поведение Cr более сложное и предполагает сначала снижение его средних содержаний от саксонитов к ортопироксеновым дунитам, а затем заметное увеличение в хромитонесущих дунитах и, особенно, в хромититах. Такой тип распределения указывает на вероятное локальное плавление шпинелевой фазы и ее дальнейшую сегрегацию в крайних реститах. В коровых ультрамафитах концентрации Ni и Cr в целом ниже и закономерно падают вверх по разрезу.

Результаты ИСР-масспектрометрии позволили впервые получить достоверные спектры распределения редкоземельных элементов в ультрамафитах (рис. 5, А), характер которых подтверждает наличие реститовых и кумулятивных образований. В то же время обнаруживается нетипичная для мантийных гипербазитов специфика обогащения легкими и заметное обеднение тяжелыми РЗЭ по сравнению с перидотитами срединно-океанических хребтов. Аналогичная картина наблюдается на мультиэлементной диаграмме (рис. 5, Б). Кривые распределения характеризуются общим положительным наклоном, обнаруживая обогащенность крупноионными литофильными элементами с отчетливыми отрицательными аномалиями Nb, Ta, Hf, Zr и Ti. Обеднение инертными на фоне повышенных концентраций подвижных (коровых) компонентов в реститовых ультрамафитах подтверждают высокую степень плавления исходного мантийного субстрата и его метасоматическую переработку, что характерно для офиолитов надсубдукционного типа (SSZ-type). Геохимические параметры габброидов также соответствуют продуктам островодужного магматизма.

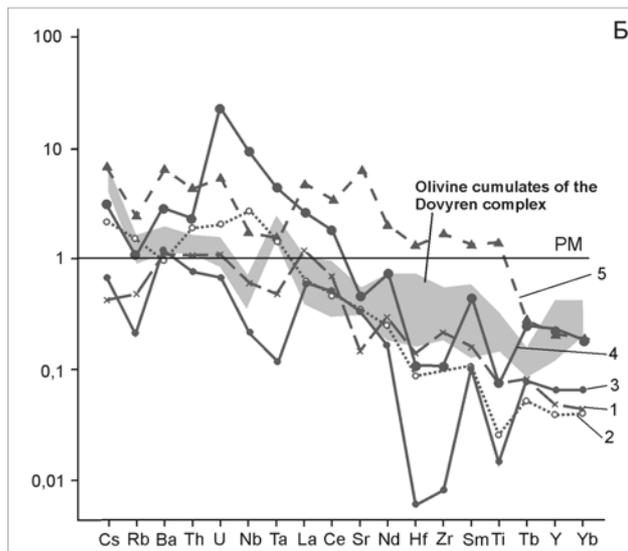
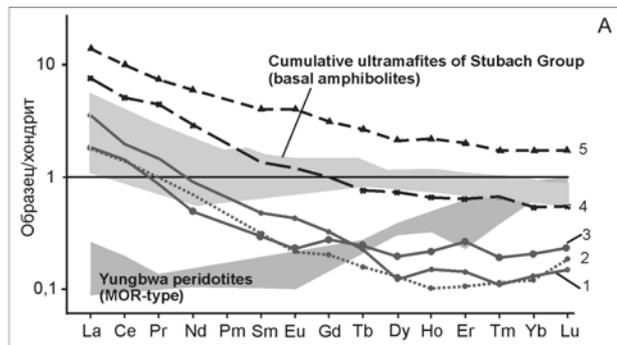


Рис. 5. РЗЭ- и мультиэлементные спектры ультрамафитов БМ и СЗМ

1-3 – реститовые дуниты и гарцбургиты; 4-5 – кумулятивные ферроультрамафиты (4) и плагиоверлиты (5). Серым показаны поля мантийных перидотитов офиолитов MORB-типа (комплекс Янгбва, СЗ Тибет по Miller et al., 2003), кумулятивных ультрамафитов офиолитов SSZ-типа (комплекс Стубач, Австрийские Альпы по Melcher et al., 2002) и дунитов расслоенных интрузий (Иоко-Довыренский массив, Северное Прибайкалье по Гертнер, 2005). Содержания элементов нормированы по составам хондрита C1 и примитивной мантии PM (Sun, McDonough, 1989).

Химический состав большинства оливинов и ортопироксенов соответствует интервалу железистости 7,5-10 %, что типично для реститов. Отклонения составляют породы зоны хромитового оруденения, где оливины содержат 5-7,5 % Fa, регенерированные оливин-серпентиновые ультраметаморфиты (2-5 % Fa) и кумулятивные ферроперидотиты с аномальной железистостью оливина и ортопироксена (11-13 % Fa-Fs).

Обратная корреляция Fa-минерала в оливине от концентрации Ni в валовом составе пород предполагает некоторое увеличение магнезиальности этого минерала в процессе реститования. Вариации его железистости в различных микроструктурных типах также обнаруживают закономерное уменьшение Fa-минерала по мере усиления степени деформации и рекристаллизации. Макси-мальный разброс состава свойственен мозаичному, паркетовидному и псевдоспинифексовому типам, в которых фиксируется отчетливая зональность зерен с вариациями до 5-8 % Fa-минерала. Низкие содержания CaO (< 0,1 %) в целом подтверждают глубинную природу ультрамафитов. Однако, для паркетовидных и псевдоспинифексовых оливинов фиксируются повышенные содержания CaO (до 0,5 %), что указывает на их вероятную рекристаллизацию на более малых глубинах.

Для хромшпинелидов устанавливается широкий спектр минеральных типов, определяемый вариациями в составе трехвалентных катионов (Cr_2O_3 , Al_2O_3 и Fe_2O_3), по соотношению которых выделяются три основных минеральных типа: хромит (54-63 % Cr_2O_3 , 1-26 % Al_2O_3 , 1-14 % Fe_2O_3); феррихромит (36-56 % Cr_2O_3 , 1-17 % Al_2O_3 , 14-35 % Fe_2O_3); хроммагнетит (21-33 % Cr_2O_3 , 0-2 % Al_2O_3 , 36-51 % Fe_2O_3). Их химическая типизация подтверждается изучением микротвердости, по данным которого обнаружено неоднородное внутреннее строение отдельных зерен.

Данные по составу сосуществующих минералов позволяют оценить температурный режим формирования ультрамафитов: по оливин-ортопироксеновому термометру А.Н. Сутурина (1978) фиксируется узкий интервал значений T° от 1100 до 1150°, по оливин-хромитовому Е.Д. Джексона (1973) – достаточно широкий – 630-1380°.

В вариациях состава сосуществующих оливина и хромшпинелида устанавливаются два автономных тренда. Первый характеризуется отчетливой корреляцией магнезиальности минералов при относительно близких значениях коэффициента распределения ($K_D=10-20$) и соответствует высоким температурам (1100-1380 °C). Он подтверждается распределением фигуративных точек пород рудной зоны БМ и ферроультрамафитов СЗМ. Второй объединяет основную часть пластически деформированных и рекристаллизованных пород обоих массивов и отражает резкое нарушение состава сосуществующих минералов. Его ориентировка вкост коннод предполагает закономерное падение температур обменных реакций в ходе синтетектонического преобразования (до 630-750 °C).

4. Геодинамические, структурно-тектонические, минералогические и геохимические параметры пород офиолитового парагенеза гор Северной, Зеленой и Бархатной предполагают в качестве наиболее перспективной на благородные металлы зону хромитовой минерализации на границе метаморфического мантийного субстрата и кумулятивной коровой серии. Эти образования выступают в роли контрастного геохимического барьера и способствуют зональному осаждению золота и платиноидов.

Потенциальная золото- и платиноносность Кузнецкого Алатау известна с середины 19-го века. При этом преобладающий Os-Ir-Ru состав россыпных платиноидов в регионе (Платиноносность ..., 2001; Гертнер и др., 1998) допускает в качестве вероятных коренных источников зоны хромитовой минерализации в составе офиолитовых фрагментов. Согласно предложенной Х.М. Причард с соавторами петролого-геодинамической модели офиолитогенеза, наиболее перспективными в отношении практически всего спектра благородных металлов являются комплексы островодужных систем (Prichard et al., 1996). Геохимические параметры ультрамафитов и габброидов изученного офиолитового парагенеза полностью отвечают этим критериям. Последовательное возрастание содержаний Au в его сводном вертикальном разрезе (рис. 6) осложнено резким скачком на границе Мохо, что предполагает важную роль хромититов как контрастного геохимического барьера. Результаты определений концентраций Au в этих

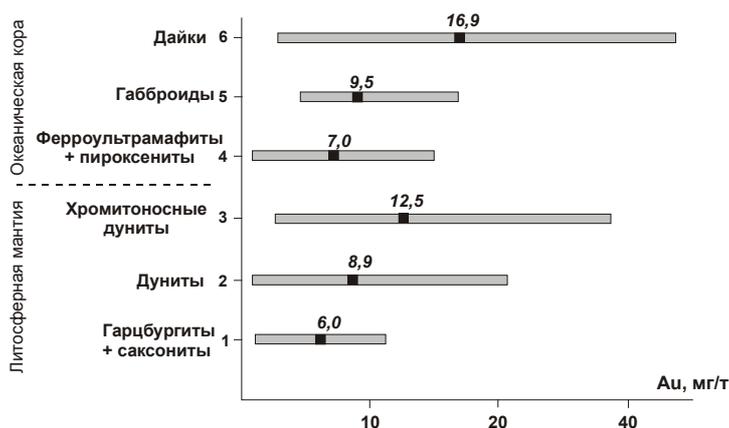


Рис. 6. Распределение золота в главных петрографических разновидностях пород сводного разреза офиолитового парагенеза гор Северной, Зеленой и Бархатной

Черным квадратиком с цифрой обозначено среднее содержание Au для данного типа.

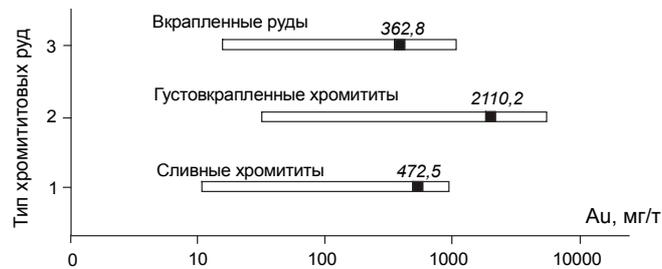


Рис. 7. Вариации содержания золота в хромитовых рудах горы Бархатной (по данным спектрально-сцинтилляционного анализа)

породах подтверждают такой вывод (рис. 7). Подобная тенденция отражает общую специфику перераспределения металла в процессе деплетации исходного мантийного субстрата, в результате которого на фоне относительной сегрегации Au в крайних реститах наблюдается заметное усиление его подвижности.

Пластические деформации пород сопровождались общим незначительным накоплением Au и увеличением его подвижности в наиболее проницаемых зонах секущих тектонических нарушений. Подтверждением этого являются повышенные средние значения и дисперсия концентраций Au в паркетовидных и псевдо-спинифексовых типах ультрамафитов СЗМ и БМ.

Минералогическим критерием потенциальной рудоносности хромититов БМ является развитие сульфидной минерализации. По данным микрозондового анализа в составе этих пород обнаружено присутствие хизлевудита, пентландита, миллерита, пирротина, халькопирита, пирита, а также самородного высоко-пробного золота ($Au > 980 \text{ ‰}$). Характер распределения благородных металлов в породообразующих оливине и ортопироксене ультрамафитов (данные ICP-MS лазерной абляции) допускает обособление мелких минеральных фаз Os в хромитоносных дунитах, Pt и Pd – в гарцбургитах БМ.

Прямые определения содержаний благородных металлов в хромититах по данным спектрально-сцинтилляционного и атомно-абсорбционного анализов выявляют локальные точки их промышленных концентраций, отражая определенные закономерности осаждения этих элементов. Преобладающее накопление Au (0,9-5,4 г/т) фиксируется на границах линз массивных и густовкрапленных хромититов. Максимальные концентрации Pt ($> 5 \text{ г/т}$) установлены во вкрапленных (маковых) хромититах, а высокие содержания Pd (до 2 г/т) свойственны дунитам с рассеянной хромитовой минерализацией.

По комплексу петрологических, минералогических, структурных и геохимических критериев зона хромитового оруденения БМ рассматривается нами как наиболее перспективная в отношении всего спектра благородных металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплексного структурно-петрологического изучения ультрамафит-мафитовой ассоциации гор Северной, Зеленой и Бархатной позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. Несмотря на существенную пространственную разобщенность изученные ультрамафитовые массивы обнаруживают определенные черты сходства своего внутреннего строения и характера динамометаморфического преобразования пород, что предполагает единую модель их тектонической эволюции в складчатых структурах Кузнецкого Алатау.

2. Особенности вещественного состава ультрамафитов позволяют относить их преимущественно к реститовым и лишь фрагментарно кумулятивным образованиям офиолитовой ассоциации надсубдукционного типа. Наблюдаемые вариации петро-геохимических и минералогических параметров обусловлены как процессами реститования и внутрикамерной магматической дифференциации, так и наложенными пластическими деформациями.

3. Вероятным геохимическим барьером для осаждения благородных металлов при плавлении мантийного субстрата может рассматриваться зона хромитового оруденения. В БМ ее ориентировка оказывается также благоприятной для последующего метасоматического перераспределения и сегрегации Au на заключительной стадии динамометаморфизма.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гончаренко А.И., Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.** Геодинамические условия формирования внутренней деформационной структуры офиолитов Бархатного массива (Кузнецкий Алатау) // Геодинамика Южной Сибири. Тез. докл. рабочего совещания. Томск, 1994. С.27-28.
2. Гертнер И.Ф., Гончаренко А.И., **Краснова Т.С.** Динамометаморфическая зональность Бархатного массива (Кузнецкий Алатау) // Динамометаморфизм и петроструктурная эволюция пород мафит-ультрамафитовой ассоциации: Мат. научн. семинара. Томск, 1996. С.63-67.
3. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф. Петроструктура оливина в хромитоносных ультрамафитах Бархатного массива (Кузнецкий Алатау) // Динамометаморфизм и петроструктурная эволюция пород мафит-ультрамафитовой ассоциации: Мат. научн. семинара. Томск, 1996. С.68-71.
4. **Краснова Т.С.** Вариации состава оливина и хромшпинелида как индикаторы процесса пластической деформации ультрамафитов Бархатного массива (Кузнецкий Алатау) // Проблемы геологии Сибири: Тез. докл. научн. конф. Томск, 1996. Т.2. С.20-21.
5. **Краснова Т.С.**, Уткин Ю.В., Рихванов Л.П. Геохимия габброидов офиолитовой ассоциации г.Бархатной (Кузнецкий Алатау) // Магматизм и геодинамика Сибири: Тез. докл. научн. конф. Томск, 1996. С.27-29
6. **Краснова Т.С.** Паркетовидные микроструктуры оливина в альпинотипных гипербазитах северного склона Кузнецкого Алатау // Магматизм и геодинамика Сибири: Тез. докл. научн. конф. Томск, 1996. С.59-60.
7. Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.**, Чернышов А.И. Динамометаморфическая зональность ультрамафитовых массивов северного склона Кузнецкого Алатау // Структурные парагенезы и их ансамбли: Мат. совещания. Москва, 1997. С.30-52.
8. **Krasnova T.S.** Plastic deformations of olivine in ultramafites of ophiolitic complexes // Computer Aided Design of Advanced Materials and Technologies: Abstracts of V Intern. Conf. Tomsk, 1997. P.130-131.
9. **Краснова Т.С.** Хромитовое оруденение г.Бархатной (Кузнецкий Алатау) // Современные проблемы геологии, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых: Тез. докл. Междунар. конф. Москва, 1997. С.54-55.
10. Сергеев В.Н., **Краснова Т.С.** Минералогические критерии и индикаторы на топоанатомической основе кристаллических индивидов в решении проблем месторождений полезных ископаемых // Современные проблемы геологии, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых: Тез. докл. Междунар. конф. Москва, 1997. С.92-93.
11. Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.**, Сергеев В.Н., Чернышов А.И., Гринев О.М., Корчагин С.А. К проблеме платиноносности хромитов из офиолитовых комплексов северного склона Кузнецкого Алатау // Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов: Мат. Всероссийск. конф. Сыктывкар: Геопринт, 1998. С.103-104.
12. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф. Петрография и минералогия ультрамафитовых массивов гг. Северной-Зеленой и Бархатной (Кузнецкий Алатау) // Проблемы петрологии и минерагении мафит-ультрамафитовых комплексов Сибири: Сб. научн. труд. Томск, 1998. Вып.1. С.130-156.
13. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф. Структура пластического излома в оливине как индикатор межслоевого скольжения в ультрамафитах гг. Северной-Зеленой (Кузнецкий Алатау) // Структурный анализ в геологических исследованиях: Мат. Междунар. научн. семинара. Томск, 1999. С.29-32.
14. Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.** Особенности вещественного состава офиолитов Кузнецкого Алатау // Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы). Сыктывкар: Геопринт, 2000. Т. 1. С. 46-49.
15. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф. Офиолитовая ассоциация гг. Северной-Зелёной-Бархатной (Кузнецкий Алатау) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Мат. научн. конф. Томск: ЦНТИ, 2000. С. 28-34.
16. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф., Уткин Ю.В. Перспективы платиноносности офиолитов Кузнецкого Алатау // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 2. Матер. научн. конф. Томск: ЦНТИ, 2001. С. 229-235.
17. Платиноносные щелочно-ультраосновные интрузии Полярной Сибири / А.М. Сазонов, Е.А. Звягина, С.И. Леонтьев, И.Ф. Гертнер, **Т.С. Краснова** и др. Томск: ЦНТИ, 2001. 510 с.
18. Гертнер И.Ф., Врублевский В.В., Парначев В.П., **Краснова Т.С.**, Тишин П.А., Беляев В.И., Валуев А.В., Корчагин С.А., Мостовский А.И., Войтенко Д.Н. О формационной принадлежности и выделении петротипов магматических комплексов Кузнецкого Алатау и Салаира // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 2. Матер. научн. конф. Томск: ЦНТИ, 2001. С. 120-128.
19. **Краснова Т.С.**, Гертнер И.Ф., Колмаков Ю.В. Анизотропия внутренней структуры ультрамафитового массива г. Бархатной, Кузнецкий Алатау (по данным структурно-петрологических и палеомагнитных исследований) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 3. Матер. научн. конф. В 2-х томах. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. Т. 1. С. 96-103.
20. Gertner I.F., **Krasnova T.S.** Geochemistry of ultramafic and mafic rocks from the ophiolitic association of Kuznetsky Alatau ridge, SW Siberia // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2004. V. 68. № 11S. P. A705.
21. Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.** Геохимические особенности пород офиолитового парагенеза гг. Северной, Зеленой, Бархатной (Кузнецкий Алатау) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 4. Томск: ЦНТИ, 2004. С. 35-41.

22. **Краснова Т.С.** Структура ультрамафит-мафитовых парагенезов как отражение тектонических процессов в складчатых областях (на примере офиолитовой ассоциации Кузнецкого Алатау) // Матер. XXXVIII Тектонического совещ. "Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых". Т. I. М.: ГЕОС. 2005. С. 341-345.

23. Парначев В.П., Гертнер И.Ф., **Краснова Т.С.**, Врублевский В.В., Войтенко Д.Н., Тишин П.А. Структурная эволюция ультрамафит-мафитовых ассоциаций как отражение тектонических процессов в складчатых областях // Докл. АН ВШ РФ. 2005. № 1(4). С. 103-112.