

Черкасова Тамара Юрьевна

**ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ
РУДОНОСНОСТЬ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ МАССИВОВ
НИЖНЕДЕРБИНСКОГО КОМПЛЕКСА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)**

25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск
2010

Работа выполнена на кафедре геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Государственного образовательного учреждения Высшего профессионального образования “Национального исследовательского Томского политехнического университета”

Научный руководитель: - доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.К. Мазуров

Официальные оппоненты:
- доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.М. Сазонов
- кандидат геолого-минералогических наук,
доцент О.М. Гринев

Ведущая организация: Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

Защита состоится 10 декабря 2010 года в 17 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.212.269.07 при Государственном образовательном учреждении Высшего профессионального образования “Национальном исследовательском Томском политехническом университете” по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО “НИ ТПУ” (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55)

Автореферат разослан «09 » ноября 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций

Арбузов С.И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований мафит-ультрамафитовых комплексов, являющихся одним из основных источников добычи платиновых металлов, а также концентрирующих в себе широкий спектр полезных ископаемых, главным образом, хрома, никеля и меди, определяется необходимостью познания особенностей их структурной и вещественной организации. Тела ультрамафитов отличаются разнообразием форм, петрографическим и химическим составом, и лишь некоторые массивы являются рудоносными (Naldrett, 2003; Шарков, 2006). Геологическое положение интрузивов не позволяет разделить их на рудоносные и безрудные, поэтому оценку потенциальной рудоносности массивов следует давать на основе петролого-геохимических особенностей пород, слагающих эти объекты, а также изучения их внутреннего строения и состава. В последнее время стали появляться новые данные по платинометалльному оруденению, связанному с различными типами ультрамафит-мафитовых формаций разновозрастных подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии, охватывающих обширную территорию Южной Сибири, Казахстана, Монголии и Северного Китая (Поляков, Изох, Кривенко, 2006), что представляет как большой научный, так и практический интерес, учитывая тот факт, что среди обширной группы уникальных по свойствам благородных металлов особая роль в валютном потенциале государств и современном научно-техническом прогрессе принадлежит металлам платиновой группы (МПГ). В результате обобщения и анализа прогнозно-металлогенических исследований Енисей-Бирюсинского междуречья, охватывающих Канский, Бирюсинский и Дербинский выступы с окружающими их прогибами, выявлено 40 участков (узлов) с рудопроявлениями никеля, меди и платиноидов, которые приурочены к ультрамафит-мафитовым массивам (Еханин, Смагин, 1991; Габброидные..., 1990; Владимиров и др. 1979; Кислов и др., 2000; Ножкин и др., 1999). На территории Дербинской площади (Восточного Саяна) при проведении ранее геолого-съёмочных и прогнозно-металлогенических работ были выявлены многочисленные тела ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых интрузий, в которых неоднократно отмечалась рудная минерализация меди, никеля и благородных металлов (Еханин, 1991). Однако к настоящему времени выявленные мафит-ультрамафитовые массивы остаются слабо изученными.

Формационная принадлежность и металлогения мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса Дербинской площади (Восточного Саяна), выделяемых С.С. Сердюком, В.А. Кириленко, Г.Р. Ломаевой, В.Е. Бабушкиным, А.В. Тарасовым и др. (Геология..., 2010) в ранг весьма перспективных на обнаружение промышленных концентраций Cu, Ni и Cr, до сих пор не выяснены. Т.Я. Корневым, А.П. Романовым и др. массивы комплекса рассматриваются как офиолиты позднеархейского интрузивного магматизма, проявившегося в Кузеевском зеленокаменном поясе (Корнев и др., 2004). А.Э. Изохом, Р.А. Шелепаевым и др. (2005) породы комплекса считаются производными габбро-монцодиоритового магматизма Алтае-Саянской складчатой области (АССО). С.С. Сердюком, А.И. Зверевым и др. не исключается факт присутствия одновременно позднерифейских и ордовикских габброидов в составе нижнедербинского комплекса (Геология..., 2010). Дискуссии по принципиально важным вопросам структурной позиции, генезиса и металлогении массивов продолжаются до настоящего времени.

Объектами исследований являются плутонические породы нижнедербинского комплекса Дербинской площади Восточного Саяна и их рудная минерализация.

Цель. Разработать геолого-генетическую модель образования и критерии потенциальной рудоносности мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса.

Задачи. 1. Изучить минералогические, петрографические и геохимические особенности состава пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов. 2. Выявить главные типы рудной минерализации и этапы накопления рудных компонентов в рудогенерирующей системе нижнедербинского комплекса. 3. Реконструировать условия формирования массивов с оценкой состава родоначального расплава. 4. Разработать критерии потенциальной рудоносности массивов.

Фактический материал. В основу работы положен материал, собранный автором в результате полевых поисковых работ 2008-2009 гг., проводимых ОАО «Красноярскгеология» в Манском районе Восточного Саяна, с использованием материалов кафедры петрографии Томского государственного университета. Всего было изучено 227 штуфных образцов горных пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов.

Минералого-петрографическое описание пород выполнено на основе изучения 227 образцов и их протолок, 236 прозрачных шлифов и 63 аншлифов. Оценка петрохимических особенностей пород базировалась на результатах 217 силикатных анализов, из них 40 оригинальные, включающие петрогенные компоненты, а также Cr, Ni, Co, Zn, V, Cu, Sr, Zr, Rb, выполнены в Институте геохимии и минералогии СО РАН (г. Иркутск). Химический состав породообразующих и рудных минералов (более 170 замеров) определялся с помощью микрозондового анализа, содержание редких и редкоземельных элементов в главных породных группах (40 проб) изучено методом ICP-MS (Rb, Sr, U, Zr, Ta, Nb, Hf, REE). Оба вида анализа выполнены на базе аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Около 150 определений рудных минералов сделаны в Международном инновационном научно-образовательном центре «Урановая геология» Томского политехнического университета (г. Томск) с помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi S3400N. Остальные анализы любезно предоставлены кафедрой петрографии Томского государственного университета. При обобщении всех материалов привлечены фондовые, опубликованные работы и неопубликованные данные по региону. Для обработки информации использовались пакеты программ: Microsoft Office, Statistica 6.0, Surfer 8.0, Corel Draw X4, AutoCAD 2007, Adobe Photoshop CS3, Pluton 4.2 с библиотекой «PeGaS» или «SubAlc», Comagmat 3.51, 3.57.

Основные защищаемые положения

1) Установлено единство магмообразующей системы Бурлакского и Нижнедербинского мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса. Породы комплекса представлены тремя главными группами: ультрамафитами (дуниты, верлиты), субультрамафитами (клинопироксениты, вебстериты) и габброидами (оливиновые габбро, габбронориты), которые являются производными высокомагнезиальной магмы пикробазальтового состава, сопоставляемой с магмой, родоначальной для перидотит-пироксенит-габбровой формации уральско-аляскинского типа. Согласно разработанной геолого-генетической модели образования массивов по минералого-петрографическому, петрохимическому и геохимическому составу породы нижнедербинского комплекса аналогичны породам, образованным в надсубдукционных обстановках.

2) Рудная минерализация Бурлакского и Нижнедербинского массивов соотносится с главными этапами рудообразования в процессе становления и преобразования массивов: первично-магматическим на стадии фракционирования клинопироксенов и эпигенетическим, синхронным с серпентинизацией перидотитовых частей расслоенных серий. В соответствии с этапами рудообразования выделяются главные парагенетические ассоциации рудных минералов: 1) ранняя халькопирит-пентландит-пирротиновая, в которой сульфидная вкрапленность представлена, главным образом, пирротиновым твердым раствором; 2) поздняя (эпигенетическая) миллерит-пентландит-магнетитовая.

3) Критериями потенциальной рудоносности массивов на ферроплатиновую минерализацию являются: а) формационная принадлежность породной ассоциации; б) признаки метасоматического преобразования пород с образованием эпигенетической рудной минерализации; в) близкий химический состав хромшпинелидов из ультрамафитов Нижнедербинского массива с хромшпинелидами из ультрамафитов Нижнетагильского рудного поля (Урал) и пикритов рудоносной Урег-нурской вулканоплутонической ассоциации (Монгольский Алтай).

Научная новизна работы. Установлено, что Бурлакский и Нижнедербинский массивы нижнедербинского комплекса (Восточного Саяна) являются образованиями единой магмообразующей системы и возникли на каледонском этапе растяжения земной коры в

раннем ордовике, с последующей их эпитектонической деформацией в условиях аккреционно-коллизийного тектоно-магматического цикла АССО. Разнообразие пород, слагающих массивы, обусловлено процессами внутрикамерной магматической дифференциации вещества. В результате сравнительной характеристики составов пород из исследуемых массивов с концентрически-зональными мафит-ультрамафитовыми массивами Урала и Центральной Камчатки выявлены их близкие составы. Благодаря современным прецизионным способам исследования рудного вещества, впервые в массивах нижнедербинского комплекса обнаружены такие минералы, как аварунит (Ni-Fe), миллерит (NiS), самородная латунь (Cu-Zn) и самородное железо (Fe), а также изучен состав аксессуарных хромшпинелидов, который меняется от высокожелезистых (феррохромит, ферропикотит, ферриферрохромпикотит, субферрихромит) до низкожелезистых (галаксит и манганохромит) разностей. Установлен близкий химический состав высокохромистых хромшпинелидов из ультрамафитов Нижнедербинского массива с аксессуарными хромшпинелидами из ультрамафитов Нижнетагильского (Платиноносный пояс Урала) (Пушкарев др., 2007), Мончегорского (Мончетундра) (Шарков и др., 2005), Гальмознанского (Корякия) (Сидоров и др., 2001), Луккулайсваара (Северная Карелия) (Клюнин и др., 1994) массивов и пикритов Урэг-нурской пикрит-базальтовой ассоциации (Монгольский Алтай) (Оюунчимэг, 2007) и др., с которыми связаны коренные проявления ферроплатины и россыпи МПГ.

Практическое значение. Разработаны критерии потенциальной рудоносности массивов нижнедербинского комплекса на малосульфидный платиновый тип оруденения. Главными потребителями полученной научной информации являются ОАО «Красноярскгеология», ОАО «Норильский никель», ГПКС «КНИИГиМС», одними из приоритетных направлений деятельности которых, являются поиски и разведка месторождений благородных металлов, расположенных на территории Красноярского Края.

Публикация и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 10 работ. Результаты исследований были представлены в виде устных и стендовых докладов на российских и международных конференциях в Миассе (2008), Новосибирске (2008), Томске (2008, 2009, 2010), Улан-Уде (2009), Санкт-Петербурге (2009); опубликованы 2 статьи в журналах, включенным в перечень ВАК.

По результатам исследований составлены научно-исследовательские отчеты по двум проектам автора (ГК П750 от 12.08.2009г., грант РФФИ № 10-05-90707-моб_ст).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав и заключения. Объем работы составляет 146 страниц, включая 15 таблиц и 39 рисунков. Список литературы составляет 169 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, д.г.-м.н., профессору А.К. Мазурову за профессионализм, помощь в работе, критические замечания и ценные советы.

Также автор искренне признателен д.г.-м.н., профессору А.И. Чернышову за консультации по вопросам петрологии и содействие в написании отдельных глав. В процессе исследований автор пользовался консультациями докторов наук, профессоров А.Ф. Коробейникова, И.В. Кучеренко, Л.П. Рихванова, А.А. Поцелуева, которым глубоко благодарен. В обработке материалов, обсуждении полученных результатов неоценимую помощь и содействие оказали сотрудники Томского политехнического университета: Ю.Е. Зыков, А.Я. Пшеничкин, Т.И. Полуэктова, Л.К. Новоселов, Л.Г. Ананьева, Н.Ф. Столбова, Л.А. Краснощекова, Т.Е. Мартынова, И.В. Мартыненко, Т.В. Тимкин, Е.А. Вагина, Е.М. Михайлова, С.С. Ильенок, а также сотрудники Томского государственного университета: Л.А. Зырянова и А.Н. Юричев. Существенную поддержку и помощь в сборе каменного материала для диссертации оказали сотрудники ООО «Красноярскгеология»: В.В. Некос и С.Г. Рычкова. Автор также благодарен научному отделу Томского политехнического университета за финансовую поддержку в отдельных вопросах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОНА ЛОКАЛИЗАЦИИ МАССИВОВ НИЖНЕДЕРБИНСКОГО КОМПЛЕКСА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

Первые сведения о районе Бурлакского и Нижнедербинского массивов, входящих в состав нижнедербинского мафит-ультрамафитового комплекса Дербинской площади (Восточный Саян), относятся к тридцатым годам прошлого века, когда здесь впервые было обнаружено россыпное золото. После этого началось систематическое изучение геологии и полезных ископаемых, которое связано с именем А.Г. Вологодина. Им составлена первая геологическая карта масштаба 1:420 000 по исследованиям 1924-28 гг. и приведены сведения по полезным ископаемым. В 1957—1959 гг. массивы нижнедербинского комплекса изучались В.Н. Долговой и И.И. Титовым. В 1962 -1968 гг. Ф.М. Черновым и Л.В. Яконюком на основе геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 изданы геологические карты, где сведены материалы разномасштабных исследований, заложены основы стратиграфии, магматизма и систематизированы сведения по полезным ископаемым (Геологическая карта..., 1962, 1968). Специальное структурно-петрологическое исследование комплекса было произведено И.М. Волоховым и В.М. Ивановым (1964), которые рассматривали Бурлакский, Нижнедербинский, Азертаский и Аштатский массивы как фрагменты (блоки) единого блокированного расслоенного габбро-перидотитового плутона. В период 1960-73 гг. А.Н. Смагиным на площади проведены геологические съёмки масштаба 1:50 000, в результате которых было уточнено и детализировано геологическое строение, проведен значительный объем поисковых и разведочных работ. В 1991-99 гг. Б.М. Должковым начато геологическое доизучение масштаба 1:200 000, материалы которого положены в основу комплектов Государственной геологической карты (Государственная ..., 2002). Тематические исследования Бурлакского массива и оценка его платиноносности проводились А.Г. Еханиным (1991), в результате чего были отмечены повышенные содержания платиноидов (до 1,3 г/т) в нижней перидотит-пироксенитовой зоне. А.П. Кривенко (1992) породы комплекса были обследованы и опробованы на медно-никелевое и платиновое оруденение, в итоге впервые была отмечена перспективность пород комплекса на обнаружение платино-палладиевого оруденения, связанного с сульфидной минерализацией в пироксенитах и габброидах. Дальнейшие поисковые работы на медь и никель проводились Н.А. Третьяковым (1997). На современном этапе исследований С.С. Сердюком и др. с груборасслоенными телами нижнедербинского комплекса связывается прожилково-вкрапленная медно-никелевая с платиноидами минерализация в Бурлакском, Угловом, Тубильском и др. массивах Дербинского перспективного района (Геология..., 2010). По предварительным данным прогнозируется выявление промышленных концентраций сульфидных платино-медно-никелевых и малосульфидных платиновых руд в этих массивах.

Для уточнения и выявления реальных перспектив рудоносности массивов нижнедербинского комплекса проведен ряд исследований, направленных на изучение рудной минерализации массивов, а также уточнения формационной принадлежности комплекса.

Глава 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район локализации мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса находится в зоне сочленения Дербинского антиклинория, Сисим-Казырского синклинория, Беллыкского поднятия, Северо-Минусинской, Сыдо-Ербинской впадин и Манского прогиба, сформированных в разных тектонических режимах и создающих их сложное блоково-мозаичное строение (рис. 1). Массивы комплекса приурочены к зоне Восточно-Саянского и Восточно-Кузбасского разломов и интродуцируют дербинскую и урманскую свиты раннего протерозоя и позднего рифея. Сочленение структур происходит по разрывным нарушениям разной морфологии. В их строении принимают участие пять структурных этажей: *карельский, салаирский, каледонский, герцинский и альпийский*, разделен-

ные региональными стратиграфическими или угловыми несогласиями и отличающиеся друг от друга характером складчатости и набором формаций (Государственная..., 2002).

Карельский структурный этаж сложен нижнепротерозойскими интенсивно дислоцированными отложениями алыгжерской и дербинской свит плагиогнейс-сланцево-мраморной формации, мощностью более 3750 м, отвечающим терригенно-карбонатным отложениям, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации.

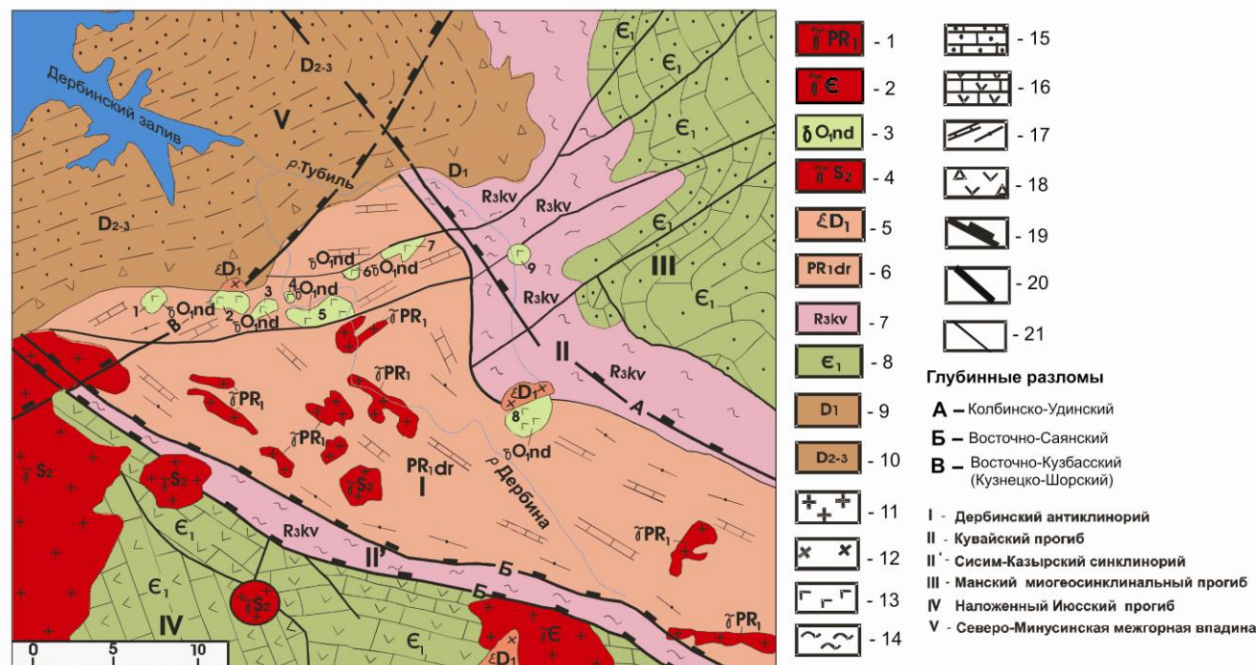


Рис. 1. Схематическая тектоническая карта района исследования. Составлена В.Н. Довгаль (1999) с дополнениями автора. Условные обозначения: 1 – гранитоиды раннего протерозоя; 2 – гранитоиды кембрия; 3 – нижнедербинский дунит-клинопироксенит-габбровый комплекс: 1 – Аштатский, 2 – Азертаский, 3 – Нижнедербинский, 4 – Верхнедербинский, 5 – Бурлакский, 6 – Медвежий, 7 – Конжуский, 8 – Тубильский массивы; 4 – гранитоиды позднего силура; 5 – сиениты раннего девона; 6 – дербинская свита; 7 – кувайская серия; 8 – нижнекембрийские отложения; 9 – нижнедевонские отложения; 10 – средне-верхнедевонские отложения; 11 – граниты; 12 – сиениты; 13 – габброиды; 14 – спилит-диабазовая формация; 15 – терригенно-карбонатная формация; 16 – андезит-базальт-карбонатная формация; 17 – карбонатно-сланцево-гнейсовая формация; 18 – существенно вулканогенные образования; 19 – зоны глубинных разломов; 20 – разрывные нарушения; 21 – геологические границы.

Салаирский структурный этаж представлен нижним, средним и верхним ярусами, отличающимися по времени образования, степени дислоцированности и характеру тектонического режима. Нижний ярус сложен верхнерифейскими карбонатно-терригенно-вулканогенными отложениями урманской, лысанской, манской и бахтинской свит мощностью более 4250 м, выполняющих Кувайский (II А) и Июсский (II Б) прогибы. Отложения нижнего яруса сформированы в эвгеосинклинальных условиях и метаморфизованы в зеленосланцевой фации. Средний ярус представлен венд-нижнекембрийскими отложениями, которые принимают участие в формировании Манского прогиба (III) и Сисим-Казырского синклинория (II') и имеют крайне редуцированный характер. Манский прогиб (III) выполнен пестроцветными терригенно-карбонатными ритмичнослоистыми отложениями, образовавшимися в миогеосинклинальной зоне, в условиях пассивных окраин континента. Эти отложения с пачкой базальных конгломератов залегают на породах нижнего яруса. Верхний ярус сложен дислоцированными среднекембрийскими отложениями лодочной и котельской свит мощностью более 3100 м и гранитоидами беллыкского комплекса. Отложения смяты в широкие складки северо-западного простирания, соот-

ветствуют вулканогенно-молассовой формации и, вместе с гранитовой формацией белыкского комплекса, фиксируют орогенный этап в развитии района.

Вулканогенные образования, формирующие *каледонский и герцинский структурные этажи*, слагают Сыдо-Ербинскую и Северо-Минусинскую впадины (V А). Отложения соответствуют рифтогенным формациям. С угловым и структурным несогласиями они залегают на верхнем ярусе салаирид (Государственная..., 2002).

Герцинский структурный этаж сложен карбонатно-терригенно-пирокластической формацией нижнего и среднего девона и нижнего карбона. Отложения общей мощностью 1330 м, формировались в условиях межгорных впадин и со стратиграфическим и угловым несогласием залегают на верхнем ярусе каледонского этажа.

Альпийский структурный этаж представлен формацией континентальной молассы. Сложен палеоген-неогеновыми озерно-болотными отложениями совместно с верхнеплиоцен-эоплейстоценовыми красноцветными суглинками каспийской свиты, общей мощностью более 15 м, образовавшимися в условиях локальных межгорных впадин и аллювиальными отложениями древней и современной гидросети (Государственная..., 2002).

Глава 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись в три этапа: полевой, камеральный, аналитический.

На *полевом этапе* применялись методы геологического картирования:

1) определение элементов залегания пород, слагающих массивы; 2) макроскопическое изучение текстурно-структурных особенностей пород и характера внутренней расчлененности интрузивов; 3) отбор образцов по разрезам расчлененных серий; 4) изучение контактов массивов с породами рамы.

На *камеральном этапе* исследований комплексно изучались особенности внутреннего строения, минералого-петрографический состав и минеральные взаимоотношения, текстурно-структурные свойства и вещественный состав пород Бурлакского и Нижне-ербинского массивов. Камеральная обработка полевых материалов осуществлялась в Томском политехническом университете на кафедре Геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов. Изучение образцов производилось визуально и под микроскопом МБС-2, шлифов на микроскопе Полам Р-211М и Axioskop 40, аншлифов на микроскопе Полам Р-312 и с помощью электронного микроскопа Hitachi.

1) Для уточнения текстурно-структурных особенностей и проведения детальной петрографической характеристики пород были подготовлены и детально изучены 236 прозрачных шлифов; 2) Для определения химического состава породообразующих минералов отбирались их монофракции с целью дальнейшей диагностики на приборе Camebax-Micro (30 определений) в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск); 3) С целью установления эволюции вещественных преобразований пород и минералов в процессе становления и изменения массивов, а также реконструкции термодинамических и тектонических условий их формирования проводились структурный и петроструктурный анализы; 4) Для определения содержания петрогенных и второстепенных компонентов в изучаемых породах проводился рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), общий химический анализ (мокрая химия) (40 определений), ICP-MS на Cr, Ni, Co, Zn, V, Cu, Sr, Zr, Rb (43 определения); 5) Для выявления геохимических особенностей пород проводился ICP-MS анализ на редкие и РЗЭ элементы (40 проб) в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск); 6) Исследование рудной минерализации массивов основано на изучении 63 аншлифов из образцов, отличающихся повышенными содержаниями Ni и Cr. Микрозондом проанализированы сульфиды, хромшпинелиды, самородные металлы (140 определений); 7) Дальнейшая обработка осуществлялась с помощью программ STATISTIKA 6.0 и Microsoft Exel. Оценка петрохимических особенностей пород проводилась с использованием факторного анализа. С применением программ Pluton 4.2 с библиотекой "PeGaS" (Лавренчук, 2001) и Comagmat 3.51, 3.57 (Арискин и др., 2000) оценивался состав родоначального исходного расплава.

Аналитический этап включает в себя разработку геолого-генетической модели образования и критериев на возможную платиновую минерализацию массивов нижнедербинского мафит-ультрамафитового комплекса по результатам проведенных петролого-геохимических и минерагенических исследований.

Глава 4. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МАССИВОВ

Нижнедербинский интрузивный комплекс объединяет мафит-ультрамафитовые массивы, которые прослеживаются в виде широтного пояса протяженностью около 40 км. В настоящее время в состав нижнедербинского комплекса включено несколько дифференцированных ультрамафит-мафитовых массивов: пространственно сближенными из них являются Аштатский, Азертаский, Нижнедербинский, Бурлакский и Конжульский, при этом Тубильский массив пространственно разобщен с ареалом нижнедербинских интрузий (Смагин, 1997). Объектами исследований являются Бурлакский и Нижнедербинский массивы, расположенные в центральной части нижнедербинского пояса. Бурлакский массив является наиболее крупным в ареале нижнедербинских интрузий, в нем максимально полно проявились породные группы: от дунитов до габброноритов. Геологическое строение Бурлаковского и Нижнедербинского массивов изучалось в процессе проведения маршрутных исследований. Для уточнения геологии отдельных участков использовались данные горных выработок (шурфов и канав) (Третьяков, 1997).

Бурлакский массив расположен в среднем течении р. Дербина, его площадь по геофизическим данным составляет 16 км². В плане он имеет линзоподобную форму (5,5х2,5 км) с раздувами в центральной части и ориентировкой длинной оси в субширотном направлении, с падением контактов под массив под углом от 65 до 5°. Вертикальная мощность по разрезу около 2260 м. Массив представляет собой расслоенное мафит-ультрамафитовое тело и имеет концентрически-зональное строение, в формировании которого принимают участие серпентиниты, верлиты, пироксениты и габброиды. При этом, верлиты и пироксениты слагают центральную часть массива, габброиды картируются преимущественно в его краевых частях. Схематическое внутреннее строение массива представлено на двух разрезах (рис. 2, разрезы В-Г, Д-Е), составленных нами, с учетом данных предыдущих исследователей (Волохов, Иванов, 1964; Еханин и др., 1991). Как видно из разреза В-Г, пересекающего отдельную часть Бурлаковского массива, его нижнюю часть слагают верлиты, которые имеют преимущественно клинопироксеновый состав. В них устанавливаются согласные с расслоенностью линзовидные тела пироксенитов, а также аподунитовых и апогарцбургитовых серпентинитов. Выше по разрезу верлиты сменяются пироксенитами, представленными клинопироксенитами и вебстеритами, среди которых, отмечаются согласные пластовые тела габброидов. Следует отметить, что верхние части разрезов Бурлаковского и Нижнедербинского массивов отличаются по минералогическому составу пород: в первом они имеют пироксеновый, а во втором амфибол-пироксенитовый составы. Завершают разрез Бурлаковского массива габброиды, с отчетливо выраженной трахитоидной текстурой.

Нижнедербинский массив расположен в левом борту р. Дербина и имеет площадь около 4 км². Вертикальная мощность массива по геофизическим данным не превышает 600 м. В плане он имеет овальную, вытянутую в широтном направлении, форму (2,7х2 км) с падением плоскости интрузивных контактов под массив под углом 60°. Вмещающими породами являются углеродисто-кремнистые сланцы урманской свиты верхнего рифея. Массив сложен ультрамафитами, габброиды в его составе нами установлены не были. Ультрамафиты представлены, главным образом, верлитами, амфиболовыми пироксенитами и, реже, горнблендитами. Нами был составлен схематический разрез, отражающий внутреннее геологическое строение Нижнедербинского массива (рис. 2., разрез А-Б). Согласно построенному разрезу Нижнедербинский массив имеет расслоенное внутреннее строение. В его основании залегают верлиты, которые также как в Бурлаковском массиве, имеют преимущественно клинопироксеновый состав, при подчиненной

роли оливина. Верхняя, основная часть разреза массива сложена роговообманковыми пироксенитами, которые по характеру присутствующих пироксенов подразделяются на клинопироксениты и вебстериты. В юго-западной части массива отмечены горнблендиты, которые, вероятно, завершают разрез Нижнедербинского массива.

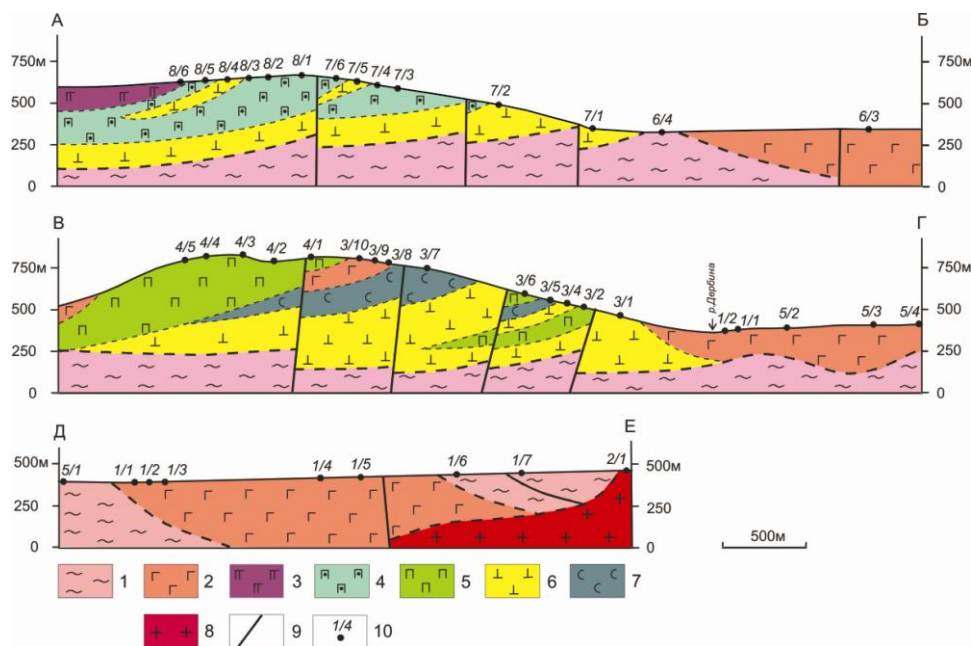


Рис. 2. Схематические геологические разрезы Нижнедербинского (А-Б) и Бурлакского (В-Г, Д-Е) массивов и их обрамления (Составлены с использованием данных А.М. Волохова, А.Г. Еханина, Н.А. Третьякова). Условные обозначения: 1 – кристаллические сланцы, мраморы; 2 – габброиды; 3 – горнблендиты; 4 – роговообманковые пироксениты; 5 – пироксениты; 6 – верлиты; 7 – аподунитовые и апогарцбургитовые серпентиниты; 8 – гранитоиды; 9 – разломы; 10 – точки наблюдения и их номер.

рооксениты; 6 – верлиты; 7 – аподунитовые и апогарцбургитовые серпентиниты; 8 – гранитоиды; 9 – разломы; 10 – точки наблюдения и их номер.

Глава 5. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Ультрамафиты Бурлакского и Нижнедербинского массивов сложены, главным образом, клинопироксеном, при малых содержаниях оливина и ортопироксена, незначительные количественные вариации между которыми определяют их различия. Породы часто обнаруживают кумулятивную структуру, в которых кумулюсная фаза сложена таблитчатыми и субизометричными зернами клинопироксена и реже ортопироксена, интерстиции между которыми выполняют ксеноморфные зерна оливина и роговой обманки. Дуниты и гарцбургиты в условиях формирования интрузий оказались неустойчивыми и полностью серпентинизированы, очевидно, в процессе аутометасоматических процессов. Верлиты и пироксениты обычно сохраняют свежий облик. Отличие ультрамафитов Нижнедербинского массива от аналогичных пород Бурлакского массива обуславливается присутствием в последних заметных количеств роговой обманки, что выражается в появлении на завершающей стадии формирования массива собственно роговообманковых пород – горнблендитов.

Габброиды встречаются только в Бурлакском массиве и представлены, главным образом, лейкократовыми трахитоидными габброноритами, наряду с которыми встречаются оливиновые габбро и метагаббро (Черкасова, 2009).

Оливин представлен субизометричными, либо неправильными ксеноморфными зернами размером 1-1,5 мм, иногда до 3 мм неравномерно распределенными в породе. Железистость оливина ($Fa = Fe / (Fe + Mg) * 100\%$) варьирует в пределах от 14,31 до 20,5%, при этом с увеличением железистости растет содержание Ni. **Клинопироксен** образует идиоморфные зерна в верлитах и вебстеритах. По химическому составу в этих породах он соответствует авгиту, в то время как в верлитах Нижнедербинского массива – диопсиду. По своим оптическим свойствам и химическому составу клинопироксен из габброидов Бурлакского массива относится к титанавгиту и отличается от клинопироксена в ультрамафитах большими содержаниями Ti, Mn, Fe, Na и меньшими Cr, Mg. В целом, клинопироксены из изученных пород характеризуются пониженными содержаниями Al_2O_3 (0,8-4,6 мас. %). Энстатитовая составляющая ($En = Mg / (Mg + Fe + Ca) * 100\%$) в клино-

пироксенах варьирует в пределах от 56 в ультрамафитах до 41% в габброидах. Феросилитовая ($Fs = Fe / (Mg + Fe + Ca) \cdot 100\%$) изменяется в обратной последовательности в аналогичных породах в пределах от 18 до 5%. Волластонитовая составляющая ($Wo = Ca / (Mg + Fe + Ca) \cdot 100\%$) варьирует в пределах от 29 до 46% (Черкасова, Романов, Чернышов, 2008). Ортопироксен имеет широкие вариации размеров зерен от 0,5 до 4,0 мм. По химическому составу ортопироксен в ультрамафитах из обоих массивов отвечает бронзиту с железистостью 17-21%, а в габброноритах соответствует гиперстену ($Fs = 32-33\%$). Ортопироксен в габброноритах отличается от такового в ультрамафитах увеличением содержаний Ti, Mn, Fe, Na и уменьшением Al, Cr, Mg (Черкасова, Романов, Чернышов, 2008). Роговая обманка обнаруживает явный ксеноморфизм по отношению к индивидам оливина и клинопироксена и выполняет промежутки между ними. По химическому составу она, соответствует эденитовой роговой обманке, для которой характерны повышенная магнезиальность и щелочность. Плаггиоклаз образует как крупные ленточные индивиды в габброноритах, так и мелкие зерна. Размер крупных порфиризовидных вкрапленников по длине составляет 4-8 мм, иногда достигая 15 мм. Они обычно интенсивно пластически деформированы, что выражается в их неоднородном погасании, искривлении двойниковых полос в виде флексур и мелких складочек. По оптическим и химическим свойствам этот плаггиоклаз соответствует лабрадору № 55-57. Вдоль плоскостей трахитоидности располагаются агрегаты мелких зерен плаггиоклаза размером 0,3-1,5 мм, которые, возможно, образовались в процессе пластической деформации механизмом синтетектонической рекристаллизации на месте более крупных индивидов плаггиоклаза. Мелкие зерна плаггиоклаза соответствуют составу андезина № 45-47.

Глава 6. ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Петрохимия. По химическому составу породы нижнедербинского комплекса разделяются на три группы: ультрамафитовую (дуниты, верлиты), субультрамафитовую (клинопироксениты, вебстериты) и мафитовую (габбронориты, габбро).

Для ультрамафитов характерна в целом низкая железистость ($F^* = FeO / (FeO + MgO) \cdot 100\%$) (26-28%), тогда как для мафитовой группы пород устанавливается более высокие ее значения (48%). С возрастанием железистости пород закономерно возрастает содержание TiO_2 , хотя разброс его содержаний довольно значительный. В целом, для габброидов характерны невысокие его содержания, не превышающие 1%. На бинарной диаграмме $MgO-CaO$ (рис. 3, а) фигуративные точки составов пород образуют три тренда. Первый ультрамафитовый (оливин-клинопироксеновый) тренд (I) обусловлен последовательным и значительным снижением MgO от 42% (в дунитах) до 25% (в верлитах). При этом, соответственно, для него характерно возрастание содержания CaO от 0 до 16%. Второй субультрамафитовый (клинопироксеновый) тренд (II) не существенно отличается от первого более резким возрастанием CaO от 5% (в вебстеритах) до 20% (в клинопироксенитах), соответственно, при уменьшении MgO от 29 до 17%. Третий мафитовый (пироксен-плаггиоклазовый) тренд (III), нечетко проявленный, обусловлен значительным разбросом фигуративных точек составов габброидов. Этот тренд характеризуется по сравнению с ультрамафитами и субультрамафитами низкими значениями MgO (17-6 %). На бинарной диаграмме Al_2O_3-FeO также устанавливаются три тренда, отражающих эволюцию выделенных породных групп (рис. 3, б). Первый ультрамафитовый тренд (I) характеризуется низкими значениями Al_2O_3 (0,2-3%), при существенном уменьшении содержаний FeO от 17% (в дунитах) до 7% (в верлитах). Второй субультрамафитовый тренд (II) отражает отчетливую прямую зависимость и фиксирует уменьшение содержаний Al_2O_3 от 8% (в вебстеритах) до 2% (в клинопироксенитах) при соответственном уменьшении значений FeO от 22 до 5%. Третий мафитовый тренд (III), показывает обратную зависимость содержаний FeO и Al_2O_3 , т.е. в процессе эволюции габброидов с увеличением содержаний Al_2O_3 (от 11 до 24%) происходит уменьшение значений FeO (от 13 до 5%).

На диаграмме MgO-SiO_2 (рис. 4а) фигуративные точки составов пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов, в целом располагаются в соответствии с общим трендом, фиксирующим уменьшение магнезиальности при увеличении содержания кремнезема. Наиболее высокие содержания SiO_2 (рис. 4а) фиксируются для фигуративных точек горнблендитов Нижнедербинского массива.

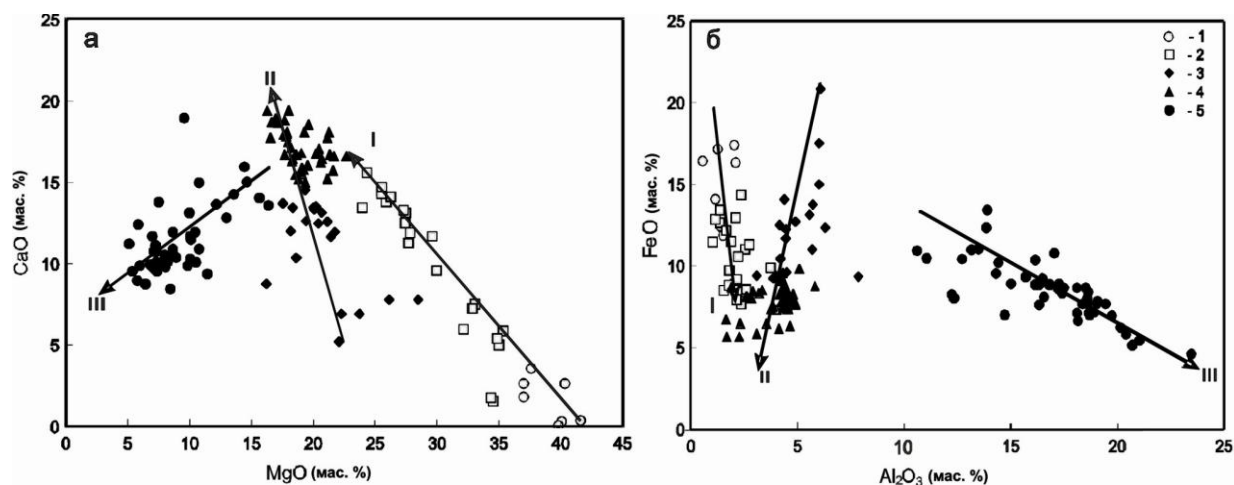


Рис 3. Вариации вещественного состава пород на бинарных диаграммах MgO-CaO и $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$. Тренды изменения состава пород: I–ультрамафитовая группа, II–субультрамафитовая группа, III–мафитовая группа. Породы: 1–дуниты, 2–верлиты, 3–вебстериты, 4–клинопироксениты, 5–габбронориты.

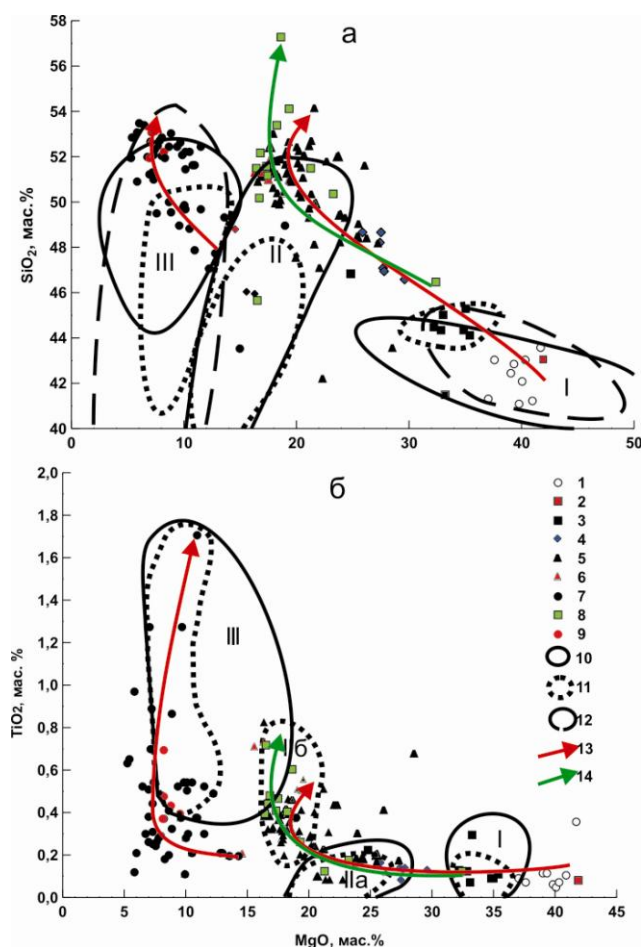


Рис. 4. Диаграмма $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ (а) и $\text{TiO}_2\text{-MgO}$ (б) (мас. %) для пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов. 1– дуниты; 2 – гарцбургиты; 3 – верлиты; 4 – вебстериты; 5 – клинопироксениты; 6 – оливиновое габбро; 7 – габбронориты Бурлакского массива; 8 – породы Нижнедербинского комплекса; 9 – краевая фация Бурлакского массива. Для сравнения показаны поля составов соответствующих пород Нижнетагильского (10), Гальмознанского (11), Кондерского (12) массивов. Ультрамафиты (I), субультрамафиты (II): оливиновые пироксениты (IIa), магнетитовые пироксениты (IIб), габброиды (III). Тренды эволюции состава пород: Бурлакского (13), Нижнедербинского (14) массивов. Данные 10, 11, 12 по (Ланда, 1998; Петрология..., 2001).

Появление магматических горнблендитов, по мнению И.А. Готтмана и др. (2009), связано внедрением остаточного пересыщенного флюидом пикробазальтового расплава и его последующей кристаллизацией закрытой системе. Предположительно, тренд дифференциации пород Нижнедербинского массива отражает отщепленную фазу исходного магматического расплава, которая впоследствии претерпела собственную эволюцию в условиях закрытой системы. Те же

особенности, что на диаграмме MgO-SiO_2 , можно видеть на диаграмме MgO-TiO_2 (рис. 4б), где фигуративные точки составов пород Бурлакского массива образуют два тренда дифференциации (рис. 4), что позволяет рассматривать породы Бурлакского массива, как производные как минимум двух фаз внедрения исходного магматического расплава, различного по степени фракционирования. Особенности составов пород Нижнедербинского и Бурлакского массивов повторяют таковые в Нижнетагильском (Ланда, 1998), Кондерском (Малич, 1995) и Гальмоэнанском (Сидоров, 2001) массивах, отличаясь от них более высоким содержанием SiO_2 и меньшим MgO (рис. 4).

Геохимия. Полученные спектры распределения редкоземельных элементов (РЗЭ), нормированные по хондриту (Boynnton, 1984) для пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов имеют однотипные спектры РЗЭ. Характерно обеднение легкими РЗЭ, при практически “плоском” распределении тяжелых, для большинства пород характерен слабый Eu минимум (рис. 5). На мультиэлементных спектрах, нормированных по примитивной мантии (McDonough et al., 1992) породы нижнедербинского комплекса имеют ярко выраженные типоморфные признаки, которые характерны для магм выплавляющихся из деплетированной надсубдукционной мантии (рис. 6). Они характеризуются обогащением крупно-ионными литофильными элементами (Rb, Ba, U, K) и Sr, а также обеднением высокозарядными элементами (Nb, Zr, Hf) (Интерпретация, 2001). Эти же метки характерны для пород Урэг-нурской пикрит-базальтовой ассоциации (Монгольский Алтай) (Оюунчимэг, 2009) и мафит-ультрамафитовых комплексов Центральной Камчатки (Петрология и металлогения..., 2001). Близкий характер распределения РЗЭ и редких элементов на спайдер-диаграммах (рис. 5, 6) пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов указывает на единый источник их образования.

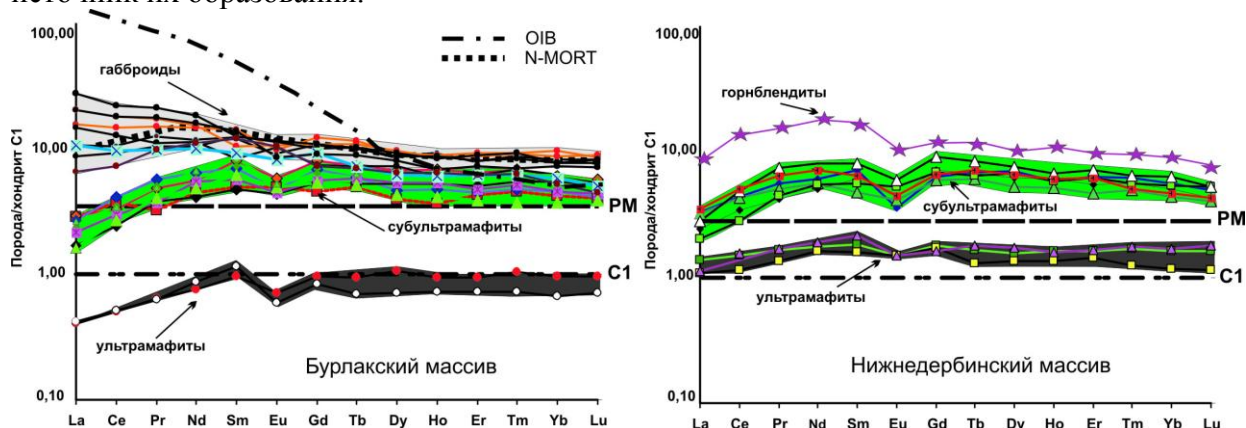


Рис 5. Нормированные по хондриту C1 (Boynnton, 1984) спектры распределения РЗЭ в породах Бурлакского и Нижнедербинского массивов. Содержание в хондрите показано прерывисто пунктирной линией. Состав PM, N-MORT, OIB по (Sun, McDonough, 1989).

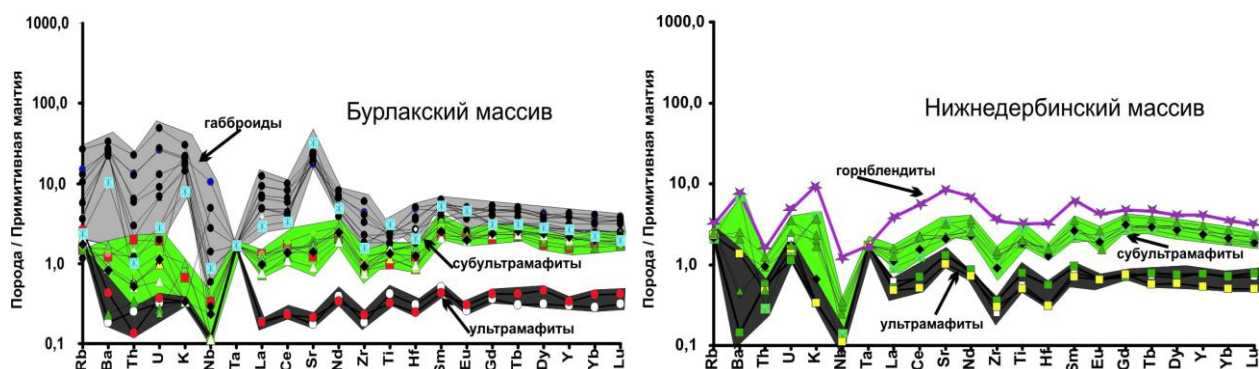


Рис. 6. Мультиэлементная диаграмма для пород Бурлакского и Нижнедербинского массивов (нормировано по примитивной мантии (McDonough et al., 1992))

Глава 7. РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МАССИВОВ

В Бурлакском и Нижнедербинском массивах типы рудной минерализации соотносятся с главными этапами рудообразования в процессе становления и преобразования массивов: первично-магматическим на стадии фракционирования клинопироксенов и эпигенетическим, синхронным с серпентинизацией перидотитовых частей расслоенных серий. В соответствии с этапами рудообразования установлены главные парагенетические ассоциации рудных минералов:

1) ранняя халькопирит-пентландит-пирротиновая, в которой сульфидная вкрапленность представлена, главным образом, пирротинным твердым раствором;

2) поздняя (эпигенетическая) миллерит-пентландит-магнетитовая.

В первом типе рудной минерализации преобладающими минералами являются пирротин и пентландит, реже встречаются халькопирит, пирит, арсенопирит и самородное железо.

Пирротин ($Fe_{1-x}S$) является самым распространенным моносulfидом и в подавляющем большинстве преобладает над всеми другими рудными минералами этой ассоциации. Размеры его зерен составляют от 0,01...0,3 мм. Чаще всего пирротин слагает большую часть рудных зерен, представленных в виде первичных «капель» сульфидной жидкости (рис. 7). Сульфидные «капли» приурочены к зернам клинопироксенов (рис. 7а), трещинам в них (рис. 7б) и интерстициям между ними. По составу в перидотитах Бурлакского массива он отвечает троилиту и гексагональному пирротину, в то время как, в породах Нижнедербинского массива – моноклинному пирротину, для которого характерны повышенные содержания Ni (до 0,76 мас. %). *Пентландит* ($(FeNi)_9S_8$) ранней генерации встречается преимущественно в виде зернистых агрегатов, концентрирующихся по периферии пирротинных выделений (рис. 7а), и значительно реже в форме пламенивидных включений распада внутри пирротина. Размеры его зерен не превышают 0,2 мм. Пентландит в клинопироксенитах Бурлакского массива представлен высокожелезистой, малоникелистой (Ni 29,0...30,3, мас. %) разновидностью, отвечающей составу ранней высокотемпературной генерации этого минерала. В верлитах Нижнедербинского массива он характеризуется менее железистым и более никелистым составом. *Халькопирит* ($CuFeS_2$) обычно обрастает зерна пирротина в его краевых частях (рис. 7а, б), либо образует мелкие самостоятельные выделения за пределами пирротинных «капель». Такое количественное меньшинство халькопирита свидетельствует о подчиненной роли медного компонента по отношению к пирротин-пентландитовому. Химический состав халькопирита отвечает его стехиометрической формуле ранней генерации.

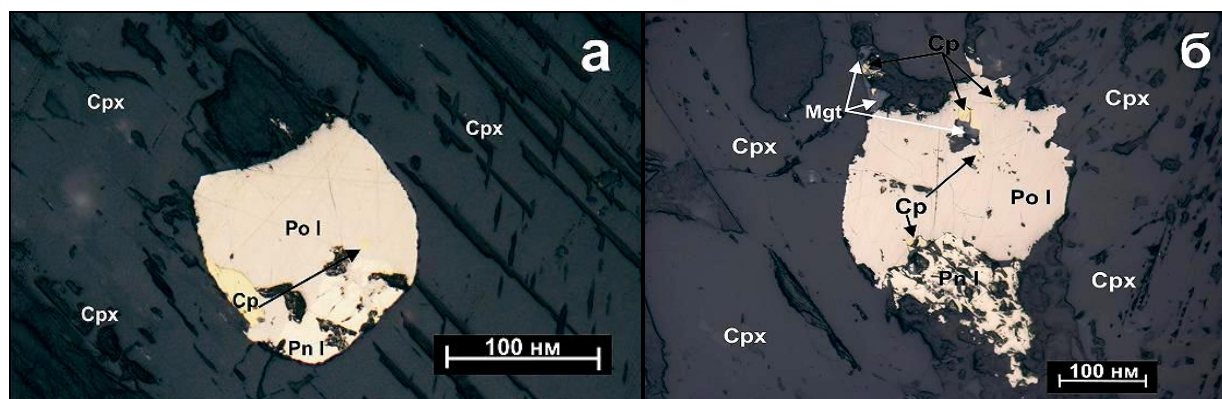


Рис 7. Халькопирит-пентландит-пирротиновая магматическая ассоциация в клинопироксените (Срх) Бурлакского массива (обр. 3/6). Центральная часть рудных «овоидных» зерен сложена пирротинном (Ро I), в краевых частях халькопиритом (Ср) и пентландитом (Рн I).

Особенности химического состава рудных минералов (троилит, гексагональный пирротин, пентландит, тетрагональный халькопирит) ранней ассоциации из перидотитов Бурлакского массива, отражают высокотемпературный низкосернистый характер ее

формирования, что позволяет установить на современном уровне эрозионного среза нижние или средние горизонты интрузии (Черкасова и др., 2010). Перспективы этого типа минерализации в породах Бурлаковского массива на высокие содержания Ni, Cu и ЭПГ в сульфидной фазе минимальны, учитывая слабую степень фракционирования сульфидного расплава. Однако, для пирротинов (Ni 0,3...0,8 мас. %) и пентландитов (Ni 33,2...34,7 мас. %) ранней магматической ассоциации из перидотитов Нижнедербинского массива характерны повышенные концентрации Ni и Co (3,0...4,2 мас. %), что свидетельствует о более продуктивном типе этой минерализации в Нижнедербинском массиве.

Во втором типе рудной минерализации (рис. 8) главными рудными минералами также являются минералы железа и никеля: магнетит, поздний пентландит, миллерит, никелин, цинкистая медь, самородные фазы никеля и железа. Большинство рудных минералов (миллерит, аварунит, никелин, цинкистая медь, самородное железо) эпигенетической ассоциации установлено нами в исследуемых массивах впервые (Черкасова, 2010).

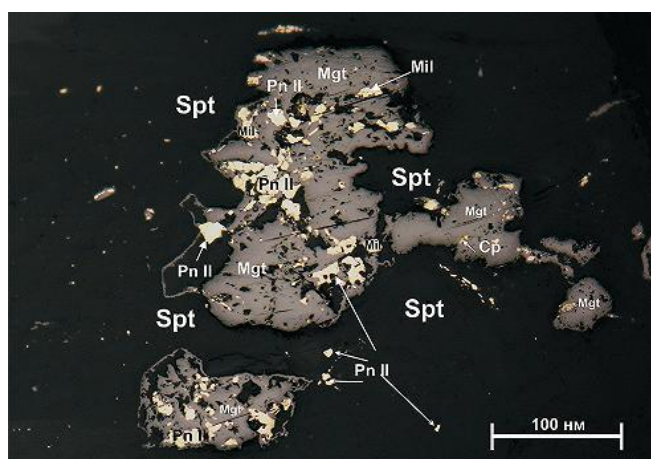


Рис. 8. Миллерит-пентландит-магнетитовая метасоматическая рудная минерализация в аповерлитовом серпентините (обр. 8/4) Нижнедербинского массива. Главным рудным минералом является магнетит (Mgt), в нем включения сульфидов – позднего пентландита (Pn II) и миллерита (Mil).

Поздний пентландит $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$ образует как включения в магнетите, так и самостоятельные мелкие кристаллы за его пределами (рис. 8).

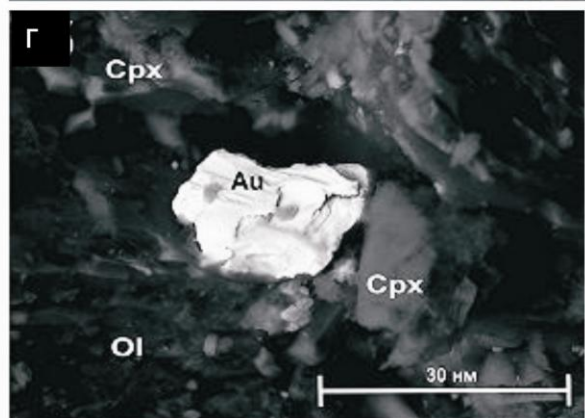
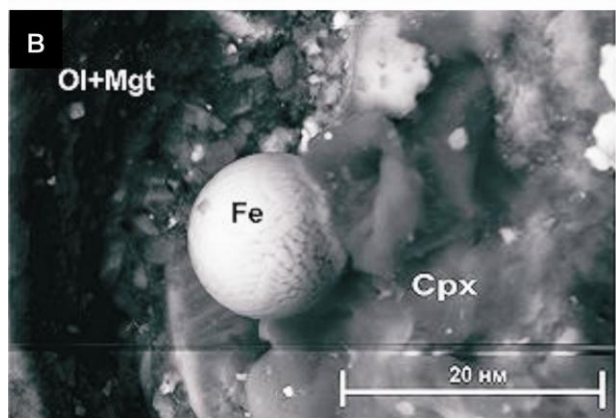
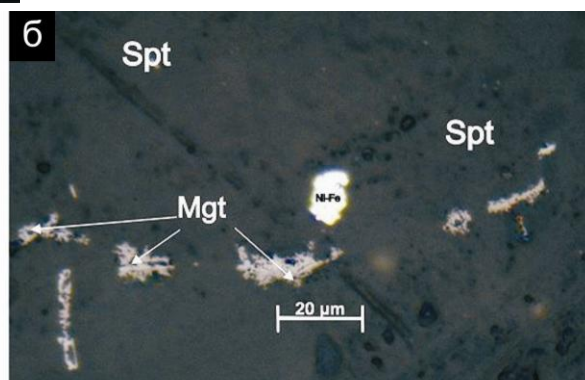
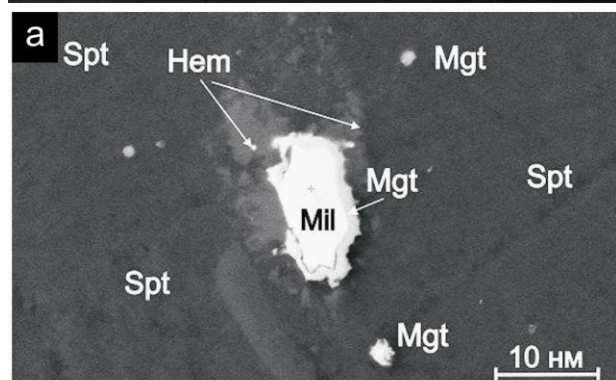


Рис. 9. Миллерит (NiS) (а) и аварунит (Ni-Fe) (б) в апогарцбургитовом серпентините (Spt) (обр. 3/7) с каймой магнетита (Mgt) и вторичным гематитом (Hem) в Бурлаковом массиве. Самородное железо (Fe) (в) и золото (Au) (г) в верлите (обр. 8/4) Нижнедербинского массива.

Часто поздний пентландит выступает в качестве основного компонента рудной минерализации, его доля в соотношении с остальными сульфидами может достигать 70 %. Размерность выделений варьирует от 0,01...0,07 мм. Пентландит формирует совместные зерна с миллеритом (рис. 8). *Никелин* (NiAs) и «цинкистая» медь (Cu-Zn) также наряду с миллеритом приурочены к зернам магнетита и встречается в виде редчайшей вкрапленности размерностью около 0,05 мм. По количественному признаку эти минералы находятся в меньшинстве по отношению к миллериту и позднему пентландиту. *Миллерит* (NiS) представлен единичными идиоморфными зернами (рис. 9а), а также мелкой вкрапленностью совместно с пентландитом и никелином в магнетитах из серпентинитов обоих исследуемых массивов, местами эта вкрапленность переходит в мономинеральную. *Аваруит* (Fe-Ni) в большинстве случаев также приурочен к магнетитовой «сыпи» (рис. 9б) и предположительно, образуется эпигенетическим способом в восстановительных условиях, как конечный продукт распада рудных минералов системы Fe-Ni-Cu-S при серпентинизации оливин-содержащих пород. «Сферулы» *самородного железа* (Fe) (рис. 9 в) и выделения *самородного золота* (Au) (рис. 9 г) не имеют какой-то определенной закономерности распределения.

Глава 8. ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ МАССИВОВ НИЖНЕДЕРБИНСКОГО КОМПЛЕКСА

Геодинамическая обстановка. Территориально нижнедербинский комплекс приурочен к магматическим ассоциациям Алтае-Саянской складчатой области (АССО), которая входит в структуру более высоко порядка – Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП). По аналогии с другими дифференцированными ультрамафит-мафитовыми массивами АССО некоторыми исследователями (Корнев и др., 2004) массивы нижнедербинского комплекса рассматриваются как офиолиты позднеархейского интрузивного магматизма, проявившегося в Кузеевском зеленокаменном поясе. Автор придерживается иной точки зрения генезиса массивов, предполагая наложение плюмового внутриплитного магматизма (каледонский тектогенез) на существовавшую ранее субдукционную обстановку. Субдукционная компонента доказывается высокой гидратированностью мантийного субстрата, что подтверждается полученными геохимическими данными.

Вопрос о возрасте массивов решается недостаточно определенно. Интрузивы прорывают отложения дербинской и урманской свит раннего протерозоя и позднего рифея и отсутствуют в среднепалеозойских образованиях Минусинской котловины, являющихся по отношению к ним более молодым структурным ярусом, формировавшемся в существенно отличной геотектонической обстановке. Возраст Бурлакского массива, полученный K-Ar и Sm-Nd методом по биотит-содержащему габбронориту из краевой фации (Изох, 1999, 2001) соответствует ордовика (490±11,8 млн. лет) и совпадает с этапом растяжения земной коры под действием плюма. При этом на постконсолидационном этапе формирования массивов они подверглись эпитектонической деформации в условиях аккреционно-коллизийного развития АССО (Владимиров и др., 1999; Изох, 1999). Многочисленные геохронологические данные по метаморфическим и магматическим ассоциациям западной части ЦАСП позволили выделить раннеордовикский аккреционно-коллизийный этап в развитии этой мегаструктуры, укладывающийся в узкий возрастной интервал 510-440 млн. лет. Особенностью этого этапа является широкое проявление в узком временном интервале (490-475 млн. лет) разнообразных ультрамафит-мафитовых ассоциаций, которые предшествуют массовому гранитообразованию (Изох, 1999).

Реконструкция условий становления. Проведенное *структурное* изучение пород из Бурлакского и Нижнедербинского массивов свидетельствует об активной динамической обстановке формирования массивов на завершающей стадии их формирования с образованием последовательно образовавшихся структурных элементов, синформных с породами обрамления. При этом отмечается, что наибольшему пластическому течению подвержены габброиды Бурлакского массива, что находит отражение в их ярко выраженной

директивной текстуре и хорошо согласуется с минералого-петрографическими особенностями пластически-деформированных габброноритов. Интенсивные пластические деформации, которые они претерпели, выражаются в изгибе длиннопризматических кристаллов плагиоклаза, их рекристаллизации по краям и нередко дезинтеграции на отдельные субблоки. Трахитоидность пород, вероятно, отражает плоскость и направление их пластического течения.

Петроструктурное изучение оливина в верлитах Бурлакского и Нижнедербинского массивов показало, что кристаллизация магматического расплава, очевидно, осуществлялась в стационарных условиях с образованием полуизотропных петроструктурных узоров кристаллооптических осей оливина, обусловленных гравитационным осаждением его кристаллов при незначительной роли ламинарного течения в субгоризонтальной плоскости. Последующие наложенные пластические деформации, которым подвергались верлиты, предположительно, протекали в условиях активной тектонической обстановки в процессе консолидации массивов. Пластические деформации оливина на этом этапе, очевидно, осуществлялись в условиях понижения температур ($1000 \rightarrow 500^\circ \text{C}$) и высокой скорости деформации ($\dot{\epsilon} \approx 10^{-3} \text{ c}^{-1}$) неоднородным внутрикристаллическим скольжением со сменой систем от высокотемпературных $\{0kl\}[100]$ к низкотемпературным $(100)[001]$ (Nicolas, Poirier, 1976). Оливин обнаруживает петроструктурные узоры, которые являются результатом главным образом, магматических процессов при участии метаморфических на заключительных стадиях становления массивов, когда количество кристаллов становится велико, и они могут реагировать на динамические нагрузки под влиянием внешнего поля напряжения (Чернышов, 2004).

Оценка родоначального расплава проводилась с использованием программы «Соматмат» (Арискин, 2000). Чтобы оценить состав исходного расплава, проверить последовательность смены минеральных парагенезисов и физико-химические условия становления пород в Бурлакском массиве, проводились модельные расчеты. В качестве состава исходного расплава был принят средний состав массива в целом. Следует отметить, что, несмотря на высокую магнезиальность ($\text{MgO} - 18,6 \text{ мас. \%}$), он обладает высокими содержаниями оксидов кремния (49,7%) и кальция (12,2%). Расчеты при разных давлениях и буфере кислорода показали, что наибольшее сходство с реальной последовательностью кристаллизации и составом минералов получаются при буфере $f\text{O}_2 = \text{QFM}$. Буфер кислорода оценивался исходя из минералого-петрографических данных, так как наблюдаются каймы ортопироксена и магнетита вокруг раннего оливина. Расчеты при разных давлениях и буфере кислорода показали, что наибольшее сходство с реальной последовательностью кристаллизации и составом минералов получается при общем давлении 4 кбар. Большее давление нельзя принять, поскольку в экзоконтактовой зоне массивов И.М. Волохов (1964) описал кордиеритовые роговики. При модельных расчетах хорошо обособляется ультрамафитовая группа пород, образование которой обусловлено фракционированием оливина, а затем клинопироксена. Сравнение составов вычисленных и реальных ультрамафитов показывает, что дуниты в Бурлакском массиве более магнезиальные и содержат меньше глинозема. Это, вероятно, обусловлено тем, что на ранних этапах формирования расслоенной серии принимал участие более магнезиальный менее фракционированный расплав. Одновременное или последовательное внедрение расплавов с разной степенью фракционирования показано для многих пикритовых и пикродолеритовых ареалов (Владимиров и др., 1979; Марковский, Ротман, 1981; Михайлов и др., 1976). Эти данные согласуются с геологическими и минералого-петрографическими наблюдениями позволяющими предполагать наличие глубинной промежуточной камеры, в которой происходило формирование крупнолейстовых трахитоидных габброноритов. Расчеты показали возможность образования дискретных ультрамафитовой, субультрамафитовой и мафитовой групп пород, составы которых хорошо совпадают с реальными составами пород массива. Таким образом, в качестве родоначального расплава для пород

Бурлакского массива можно принять пикро-базальтовый исходный расплав, фракционирование которого происходило на небольших глубинах (10-12 км).

Глава 9. КРИТЕРИИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ МАССИВОВ НА ФЕРРОПЛАТИНОВУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ

1) Приведенные в работе исследования Бурлакского и Нижнедербинского массивов нижнедербинского комплекса позволили выделить ряд признаков: геологических, минералого-петрографических, минералогических, петрохимических, геохимических и геодинамических, заставивших усомниться в реститовой природе (Корнев и др., 2004) исследуемых массивов, но позволивших сопоставить их с концентрически-зональными массивами уральско-аляскинского типа, с которыми связаны проявления ферроплатины.

Обязательным геологическим признаком, подтверждающим реститовую природу офиолитовых комплексов (реликтовых фрагментов древней океанической коры) являются их тектонические контакты с вмещающими породами, линзовидно-полосчатое и полосчатое строение с преобладающей дунит-гарцбургитовой породной ассоциацией. Напротив, в правом борту ручья Фадеева (левый приток р. Дербины) А.Э. Изохом (2001) отмечены интрузивные контакты Бурлакского массива с вмещающими породами, где обнажаются такситовые неравномернозернистые габброиды с крупными порфировыми выделениями плагиоклаза, среди которых наблюдаются мелкие ксенолиты роговиков. Контакт Нижнедербинского массива со сланцами урманской свиты вскрывался канавой в районе ручья Безымянного. В непосредственном контакте сланцы оказались ороговикованы. Особенности внутренней структуры Бурлакского массива отражают его концентрически-зональное строение. От внутренних частей к периферии дуниты сменяются оторочкой пироксенитов и далее габброноритами. Преобладающими породами в массивах нижнедербинского комплекса являются верлиты, вебстериты и клинопироксениты.

Минералого-петрографические особенности пород исследуемых массивов позволяют предположить, что разнообразие вещественного состава этих массивов обусловлено процессами внутрикамерной магматической дифференциации вещества. Породы часто обнаруживают кумулятивную структуру.

Минералогические особенности пород указывают на то, что они сформировались в результате кристаллизационной дифференциации. Оливины из верлитов Бурлакского и Нижнедербинского массивов по своему составу соответствуют высокомагнезиальным хризолитам ($Fa=14,3-15,3\%$). В них с увеличением железистости возрастает содержание NiO (Черкасова, 2008). Близкая тенденция отмечается для оливинов из ультрамафитов Кингашского массива, расположенного восточнее в Канском зеленокаменном поясе (Чернышов, 2003). Значимые отличия наблюдаются для оливинов из исследуемых интрузий и метаморфических ультрамафитов Оспинского массива (офиолитовый комплекс ЮВ Восточного Саяна), в последних существенно ниже железистость при постоянно высоких содержаниях NiO (Гончаренко, Чернышов, 1990). Отличительной особенностью оливинов из пород нижнедербинского комплекса является отсутствие значительных признаков деформаций, характерных для оливинов из альпинотипных гипербазитов. Ортопироксен имеет широкие вариации по химическому составу: в ультрамафитах он отвечает бронзиту с железистостью 17-21%, а в габброноритах соответствует гиперстену ($Fs=32-33\%$), что в целом согласуется с процессами магматической дифференциации вещества. Роговая обманка по химическому составу соответствует эденитовой роговой обманке, для которой характерны повышенная магнезиальность и щелочность. Присутствие магматических горнблендитов повышенной щелочности, производных остаточного, пересыщенного флюидом пикро-базальтового расплава отмечалось для массивов Платиноносного пояса Урала и Юго-Восточной Аляски (Готтман, 2008).

Петрохимические особенности пород отражают общую направленность эволюции магматического расплава от ультрамафитов к габброноритам. Железистость пород изменяется от 27% в ультрамафитах до 48% в габброноритах. По этим признакам ультраос-

новые породы резко отличаются от соответствующих пород дунит-гарцбургитовой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций, входящих в состав офиолитовых поясов. В частности, дуниты Карашатского, Онцоулинского, Джаргалантуйского и Дарибского массивов, входящих в состав офиолитов АССО и Западной Монголии, характеризуются железистостью не превышающей 20% (Изох, 1999). Фигуративные точки составов пород из исследуемых массивов на диаграмме MgO-SiO_2 (см. рис. 4а), в целом располагаются в соответствии с общим трендом, фиксирующим уменьшение магнезиальности при увеличении содержания кремнезема. Особенности составов пород Нижнедербинского и Бурлакского массивов повторяют таковые в породах Нижнетагильского (Ланда, 1998), Кондерского (Малич, 1995) и Гальмознанского (Сидоров, 2001) массивов, отличаясь от них более высоким содержанием SiO_2 и меньшим содержанием MgO (см. рис. 4).

Геохимические особенности пород нижнедербинского комплекса имеют ярко выраженные типоморфные признаки, которые характерны для магм выплавляющихся из деплетированной надсубдукционной мантии (см. рис. 5,6). Эти же метки характерны для пород рудоносной Урэг-нурской пикрит-базальтовой ассоциации (Оюунчимэг, 2009), Платиноносного пояса, Тагильской вулканогенной зоны Урала (Ферштатер, 2007) и мафит-ультрамафитовых комплексов Центральной Камчатки (Петрология..., 2001).

Геодинамическая обстановка формирования массивов нижнедербинского комплекса соответствует импульсу растяжения Земли, что согласуется с кривой эвстатических колебаний уровня Мирового Океана (кривой Вэйла). При этом на завершающем или постконсолидационном этапе формирования массивов они претерпели коллизионно-блоковые перемещения, попадая в аккреционно-коллизионный этап развития Алтае-Саянской складчатой области (510-440 млн. лет.) (Изох, 1999).

Таким образом, по ряду перечисленных признаков, породы Бурлакского и Нижнедербинского массивов можно сопоставить с концентрически-зональными дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами уральско-алаянского типа.

2) В результате изучения минералогии массивов был установлен эпигенетический (метасоматический) тип оруденения, приуроченный к перидотитовым частям разрезов. Автором здесь впервые отмечены многочисленные фазы самородных металлов (Fe, Au, Ni), а также их сплавов, что указывает на восстановительный характер формирования этого типа рудной минерализации. Согласно А.Г. Мочалову (2001) в образовании самородных фаз различных металлов и, в частности, «шлиховой платины» в концентрически-зональных дунит-клинопироксенит-габбровых комплексах, по-видимому, важную роль играют низкотемпературные метасоматические процессы. Существует мнение, что восстановительные флюиды, ответственные за транспортировку и локализацию самородных металлов и возможных ЭПГ, уже присутствовали в расплавах до начала их кристаллизации (Генкин, 1997; Гроховская, 1994). Это согласуется с экспериментами И.Д. Рябчикова (1975), показавшего, что Cl, S, H_2O при высоких температурах растворяются в расплавах, а при понижении температуры переходят во флюид, формирующий гидротермальную среду, обеспечивающую протекание различных рудообразующих метасоматических процессов (Кадик, 1991). Важно отметить, что в самородках платины среди пироксенитов, окружающих дунитовое ядро Нижнетагильского массива Платиноносного пояса Урала, по данным А.Е. Ферсмана, подтвержденным М.И. Новгородовой и др. (1997), встречены карбиды Ta и Nb, с содержанием Zr до 20 мас. % и Hf до 11 мас. %. Поскольку температуры плавления этих минералов превышают 2000°C , они не могли возникнуть при магматической кристаллизации, так как даже самые высокотемпературные коматиитовые расплавы имеют значительно более низкую температуру, но вполне могли образовываться в процессе метасоматических преобразований пород при формировании клинопироксенитовых оторочек дунитовых тел в восстановительных условиях. Ситуации, благоприятные для возникновения таких концентрически-зональных комплексов, могли возникнуть при фильтрации глубинных магматических флюидов вдоль подводящих каналов вулканов через только что затвердевшие магматические очаги под ними (Шарков, 2006).

3) В большинстве случаев хромшпинелиды являются спутниками минералов ЭПГ (Рудашевский, 1987; Рудашевский и др., 1985) и считаются важными индикаторами формационной принадлежности (Васильев, 1981; Плаксенко, 1989; Типоморфизм минералов, 1989). Акцессорные хромшпинелиды в Бурлакском и Нижнедербинском массивах приурочены, главным образом, к перидотитовым ритмам интрузий, в габброноритах Бурлакского массива главными рудными окисными минералами являются ильменит и ульвошпинель. Состав акцессорных хромшпинелидов в ультрамафитах нижнедербинского комплекса изменяется в широких пределах от высокожелезистых (феррохромит, ферропикотит, ферриферрохромпикотит, субферрихромит) до низкожелезистых (галаксит и манганохромит) разностей. Отличительной особенностью хромшпинелидов из исследуемых массивов от аналогичных минералов других мафит-ультрамафитовых интрузивов является их повышенное содержание ZnO (до 2,3 мас. %) что, по-видимому, обусловлено эпигенетическими (метаморфическими, метасоматическими, гидротермальными) преобразованиями. При сравнительной характеристике составов хромшпинелидов из Нижнедербинского массива с хромшпинелидами из дунитов рудного поля Нижнетагильского массива (Урал) (Пушкарев, 2009) и пикритов рудоносной Урэг-нурской пикрит-базальтовой ассоциации (Монгольский Алтай) (Оюунчимэг, 2007), установлены их близкие составы. В целом, хромшпинелиды из перидотитов Нижнедербинского массива характеризуются выдержанным составом, отличающимся высоким содержанием Cr_2O_3 (45-54 мас. %) и средним MgO (5-6 мас. %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены Бурлакский и Нижнедербинский расслоенные мафит-ультрамафитовые массивы нижнедербинского комплекса (Восточного Саяна), образовавшиеся в ходе каледонского раннеордовикского тектоно-магматического цикла АССО. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Породы Бурлакского и Нижнедербинского массивов по совокупности геологических, минералогических, петрографических и петрогеохимических данных являются производными единой магмообразующей системы, родоначальным расплавом для которой являлась высокомагнезиальная магла базальтового состава, очевидно, образовавшаяся при высокой степени частичного плавления метасоматизированной водой надсубдукционной мантии (Туркина, 2008; Оюунчимэг, 2007). Особенности химического состава пород в исследуемых массивах повторяют таковые в Нижнетагильском (Ланда, 1998), Кондерском (Малич, 1995) и Гальмознанском (Сидоров, 2001) концентрически-зональных мафит-ультрамафитовых массивах уральско-алейского типа.
2. Установлены два типа рудной Cu-Ni-минерализации массивов: ранний (первично-магматический) и поздний (эпигенетический). Особенности химического состава рудных минералов (троилит, гексагональный пирротин, малоникелистый пентландит (Ni 33,2-34,7 мас. %), тетрагональный халькопирит) ранней ассоциации из перидотитов Бурлакского массива, отражают высокотемпературный низкосернистый характер ее формирования, что позволяет установить на современном уровне эрозионного среза нижние или средние горизонты интрузии. При этом, эпигенетический тип рудной минерализации, представленный преимущественно самородными фазами Fe, Ni и их сплавами, является более перспективным и экономически выгодным как с целью извлечения Ni из этих руд, так и возможном обнаружении платиноидов. Перспективы значимой рудоносности на оба типа рудной минерализации более высоки для пород Нижнедербинского массива.
3. Близкий химический состав высокожелезистых и высокохромистых акцессорных хромшпинелидов из ультрамафитов Нижнедербинского массива с хромшпинелидами из рудоносных ультрамафитов Нижнетагильского (Платиноносный пояс Урала) (Пушкарев др., 2007), Мончегорского (Мончетундра) (Шарков и др., 2005), Гальмознанского (Корякия) (Сидоров и др., 2001), Луккулайсваара (Северная Карелия) (Клюнин и др, 1994; Гроховская, 2003) массивов и пикритов Урэг-нурской пикрит-базальтовой ассоциации (Монгольский Алтай) (Оюунчимэг, 2007) сближает массивы нижнедербинского комплекса с

малосульфидными платиноносными интрузиями урало-аляскинского типа, повышая перспективы Нижнедербинского массива на обнаружение ферроплатиновой минерализации.

Список опубликованных работ автора по теме диссертации

Издания, входящие в перечень ВАК

1. **Черкасова, Т.Ю.** Петрохимические особенности расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) / Чернышов А.И. // Вестник Томского государственного университета. – Науки о земле. – № 324. – 2009. – С. 390-394.
2. **Черкасова, Т.Ю.** Потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) / Мазуров А.К., Чернышов А.И. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т.317. – №1. – С. 20-27.

Материалы конференций и совещаний

1. **Черкасова, Т.Ю.** Петрохимические особенности ультрамафитов Бурлакского и Йоко-Довыренского расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов (Восточный Саян) / Чернышов А.И. // Металлогения древних и современных океанов. Рудоносные комплексы и рудные фации, научное издание. – Миасс: И Мин Уро РАН, 2008. – С. 304-307.
2. **Черкасова, Т.Ю.** Состав оливина в верлитах нижнедербинского комплекса (Восточный Саян) // Материалы XLVI международной научно-студенческой конференции. Студент и научно-технический прогресс. Секция Геология – Новосибирск, 2008. – С.109-110.
3. **Черкасова, Т.Ю.** Петрология расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий нижнедербинского комплекса (северо-запад Восточного Саяна) // Труды XII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А.Усова. Проблемы геологии и освоения недр, Секция минералогия, геохимия и петрография – Томск: ТПУ, 2008. – С.144-145.
4. **Черкасова, Т.Ю.** Особенности состава пироксенов в ультрамафитах и габброидах расслоенного нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) / Романов А.П., Чернышов А.И. // Рудоносность ультрамафит-мафитовых и карбонатитовых комплексов складчатых областей: Материалы международной молодежной школы семинара. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. – С 83-86.
5. **Черкасова, Т.Ю.** Габброиды Бурлакского расслоенного мафит-ультрамафитового массива нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) // Труды XII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А.Усова. Проблемы геологии и освоения недр, Секция минералогия, геохимия и петрография – Томск: ТПУ, 2009. – С. 109-111.
6. **Черкасова, Т.Ю.** Петрология Бурлакского расслоенного мафит-ультрамафитового массива нижнедербинского комплекса СЗ Восточного Саяна // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной памяти академика А.П. Карпинского, Секция: петрология. – Санкт-Петербург: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2009. – С 309-311.
7. **Черкасова, Т.Ю.** Геологическое строение и особенности вещественного состава расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса (СЗ Восточного Саяна) / Чернышов А.И. // Материалы Всероссийской конференции. Петрология магматических и метаморфических комплексов, выпуск 7. –Томск, 2009. – С. 319-324.
8. **Черкасова, Т.Ю.** Ультрамафиты расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов нижнедербинского комплекса (северо-запад Восточного Саяна) и их рудная минерализация // Труды XIV Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А.Усова. Проблемы геологии и освоения недр, Секция минералогия, геохимия и петрография – Томск: ТПУ, 2010. – С. 132-135.