

На правах рукописи



Еханин Дмитрий Александрович

**ГЕОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ КАЛНИНСКОГО
УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА (ЗАПАДНЫЙ САЯН)**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Красноярск – 2010

Работа выполнена в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Научный доктор геолого-минералогических наук, профессор
руководитель: **Макаров Владимир Александрович**

Официальные доктор геолого-минералогических наук, профессор
оппоненты: **Чернышов Алексей Иванович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Глазунов Олег Михайлович

Ведущая ОАО «Минусинская геологоразведочная экспедиция»
организация: (г. Минусинск)

Защита диссертации состоится «21» декабря 2010 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.09 при ФГАОУ ВПО «Сибирский Федеральный Университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пер. Вузовский 3, ауд.237

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского Федерального университета.

Автореферат разослан «19» ноября 2010 г.

*Ученый секретарь диссертационного совета,
Кандидат геолого-минералогических наук, доцент*



М.В. Вульф

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Массивы ультрабазитов вызывают интерес геологов как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности. Ультраосновные породы являются источником рудных и нерудных полезных ископаемых – золота, элементов платиновой группы (ЭПГ), никеля, меди, хрома, асбеста, драгоценных и поделочных камней, футеровочного камня и др. В связи с острым дефицитом легирующих добавок для черной металлургии в последние годы резко возрос интерес к изучению ультрабазитовых массивов как единственному источнику хрома.

Проявления хромовых руд в пределах Красноярского края известны на Енисейском кряже и Западном Саяне. Наиболее перспективным признан Амыльский хромитоносный район с прогнозными ресурсами по категории P_3 в количестве 54,0 млн. тонн (Филиппов, 1994). В пределах данного района располагается один из перспективных на хромиты Калнинский массив. В последние годы интерес к изучению и последующему освоению массива возрастает в связи с перспективной развития инфраструктуры Западного Саяна. В 2015 году ожидается окончание строительства железной дороги Курагино-Кызыл, в связи, с чем по последним экономическим оценкам (Курганьков, 2010) минимальное промышленное содержание Cr_2O_3 может быть снижено до 13,6%, что значительно увеличивает инвестиционную привлекательность района.

О перспективности Калнинского массива на обнаружение хромовых руд стало известно после проведения крупномасштабных геологосъемочных работ (Коллеганов, 1964), выявивших ряд разномасштабных проявлений. С того времени и по сегодняшний день по вопросу образования и формационной типизации массива сложилось и существует два представления – «расслоенных интрузий» или «офиолитовых ультрабазитов». Отнесение к тому или иному типу существенно влияет на выбор поисковых методов и оценку рудоносности массива. До выполнения настоящего исследования доминировало мнение о расслоенной природе интрузии (Катанов, 2003). Тела хромититов представлялись, в виде горизонтов с повышенным содержанием платиноидов платино-палладиевой ассоциации в «прикорневых» частях и рутен-иридосминовой – в кровельных.

Данные, накопленные в процессе поисковых работ последних лет, имеют существенные противоречия с концепцией расслоенного массива. Обобщение и детальный анализ материалов поисковых работ позволяют уточнить формационную принадлежность, поведение платиноидов и хромового оруденения, а также повысить достоверность геологического прогноза.

Помимо практической ценности, определенный интерес представляет вопрос о геодинамической обстановке формирования Калнинского гипербазитового массива, выяснение которой поможет сделать еще один шаг в понимании истории развития области сочленения Куртушибинского и Северо-Саянского офиолитовых поясов.

Цели и задачи исследований. Целью настоящей работы является установление формационной принадлежности и геодинамической позиции Калнинского массива, а так же оценка его перспектив на хромовое и благороднометальное оруденение.

Для достижения цели в работе решались следующие задачи:

- Доизучение геологического строения Калнинского массива;
- Изучение состава пород, руд, породообразующих и акцессорных минералов и выявление особенностей их распределения в объеме массива;
- Анализ закономерностей распределения ЭПГ в породах и рудах;
- Изучение и оценка масштабности процессов серпентинизации;
- Выделение поисковых критериев и признаков для прогнозирования хромового и платинометального оруденения.

Фактический материал. Работа выполнена на основе материала, собранного и проанализированного автором за период 2008-2010 г.г. в процессе выполнения государственного контракта по объекту «Ревизионно-поисковые работы на хромиты на юге Красноярского края и Республике Тыва» в составе коллектива ГПКК КНИИГиМС.

Работа базируется на описании 400 прозрачных и 110 полированных шлифов, результатах 140 силикатных анализов, в том числе 97 авторских, выполненных в лаборатории ГПКК КНИИГиМС. Изучено 11 проб дунитов и хромитов методом ICP-MS на редкоземельные и малые элементы и 539 проб на элементы группы платины (аналитик А.П.Соловьева), а также выполнено 1625 спектральных анализов (аналитик С.Н. Шведова). Изучение химического состава по-

родообразующих и аксессуарных минералов (1381 анализ) проведено в Институте минералогии СО РАН (г. Новосибирск, аналитик В.Н. Королук) на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100. В лаборатории при кафедре ГМиМР СФУ выполнено 140 анализов биогеохимических проб методом РФА на 8 элементов.

Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что впервые для изучаемого объекта:

- Обоснована принадлежность пород Калнинского массива к реститовому дунит-гарцбургитовому комплексу офиолитов;
- Уточнено геологическое строение Калнинского массива, составлена карта степени его серпентинизации;
- Изучен химический состав родообразующих, аксессуарных и рудных минералов в породах массива;
- Изучены геохимические особенности всех разновидностей пород (РЗЭ, ЭПГ, малые элементы) и выявлены закономерности их распределения.

Практическая ценность. В работе дана прогнозная оценка массива на хромовое и платинометальное оруденение. В частности, определены перспективы флангов уже известных рудоносных зон, а так же указано на возможность выявления новых тел хромититов. Проведенное изучение благородных металлов в различных типах пород позволило обосновать необходимость постановки более детальных работ на поиски самостоятельного Pt-Pd оруденения на ряде участков развития пород дунит-гарцбургитового комплекса. Переданные в ГПКК КНИИГиМС материалы и результаты исследований, полученные в процессе выполнения работы, использованы для корректировки направления поисков в пределах Калнинского массива и войдут составной частью в отчет ГПКК КНИИГиМС по завершению ревизионно-поисковых работ.

Защищаемые положения.

1. Калнинский ультрабазитовый массив сложен реститовыми породами дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса офиолитов, сформированными в островодужных супрасубдукционных условиях.
2. Хромовое оруденение сформировано на поздних этапах становления Калнинского массива и относится к типу высокохромистых. Рудообразующий процесс связан с перераспределением хрома в дунитах и гарц-

бургитах в процессе их метаморфогенного преобразования и наиболее ярко выражен в интенсивно деплетированных частях массива.

3. Платинометальное оруденение массива представлено двумя ассоциациями: Os-Ir-Ru и Pt-Pd. Содержания элементов первой, наиболее ранней ассоциации, равномерно распределены в дунитах и гарцбургитах и незначительно возрастают в хромититах. Pt-Pd ассоциация является наложенной и устанавливается как в хромовых рудах, так и породах, лишенных признаков хромитового оруденения. Массив имеет перспективы обнаружения выдержанных зон Pt-Pd минерализации с промышленным содержанием платиноидов.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения. Она изложена на 112 страницах текста и сопровождается 53 иллюстрациями и 10 таблицами. Список литературы включает 123 наименования.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на II Всероссийской конференции по прикладной геохимии «Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений» (Воронеж, 2009), XIII Международном научном симпозиуме им. академика М.А.Усова для студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2009), на XLVII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 2009), III-IV Сибирском горно-геологическом деловом форуме «МИНГЕО СИБИРЬ» (Красноярск, 2009-2010), V межвузовской научной конференции «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2010), научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири» (Красноярск, 2010). По теме диссертации опубликовано 12 работ, из которых одна в журнале рекомендованном ВАК.

Работа выполнена на кафедре «Геология месторождений и методика разведки» института горного дела, геологии и геотехнологии ФГАОУ ВПО Сибирского федерального университета под руководством доктора геол.-мин. наук В.А. Макарова, которому автор выражает особую признательность. Автор благодарит доктора геол.-минерал. наук Т.Я. Корнева, д.г.-м.н. А.М. Сазонова, д.г.-м.н. А.Э. Исоха, д.г.-м.н. Б.В. Шибистова, к.г.-м.н. И.Н. Целюка, к.г.-м.н. А.П. Романова, к.г.-м.н. П.П. Курганькова, А.В.Власова за ценные советы при обсуждении результа-

тов исследований, кандидатов геол.-мин. наук А.И. Забияку, П.Н. Самородского, В.Н. Князева, В.Г. Михеева, а также сотрудников отдела региональной геологии и металлогении ГПКК КНИИГиМС – С.В. Ладыгина, В.К. Ояберя, к.г.-м.н. М.А. Чурилина, В.Н. Смирнову и Н.Ф. Сержантова за помощь на всех стадиях подготовки диссертации. Отдельно автор выражает благодарность А.Г. Еханину за неоценимую поддержку и помощь на всех этапах составления диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Калнинский ультрабазитовый массив сложен реститовыми породами дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса офиолитов, сформированными в островодужных супрасубдукционных условиях.

Калнинский массив располагается в Западном Саяне в междуречье нижнего течения р.р. Кална и Бесь, левых притоков р. Амыл. В геологическом отношении он находится в пределах северо-восточного окончания Куртушибинского офиолитового пояса (ОП), где последний имеет торцовое сочленение с Северо-Саянским ОП на севере (Попов, 1999) и Западно-Саянской структурно-формационной зоной (СФЗ) на западе. С востока распространение Куртушибинского пояса ограничено терригенными отложениями Хемчикско-Систигхемской СФЗ, которые имеют конкордантные соотношения с офиолитовыми образованиями.

Массив заметно деформирован субширотными ($85-95^{\circ}$) и северо-восточными ($50-60^{\circ}$) тектоническими нарушениями, которые разделяют его на Северный и Восточный блоки, с суммарной площадью – 73 км^2 . Северный блок за счет широкого развития разрывных нарушений приобрел изометричную форму. По геолого-геофизическим данным его форма определяется как пластина, круто падающая в юго-западном направлении. Восточный блок также представляет собой пластину, но погружающуюся в юго-юго-восточном направлении. По геофизическим данным вертикальная мощность Северного блока составляет около $7,0 \text{ км}$, Восточного значительно меньше - не превышает $1,0 \text{ км}$.

Контакты ультрабазитов массива с вмещающими породами тектониче-

ские. Малоамплитудные разрывные нарушения придают границе неровный, «зубчатый» вид. В эндоконтакте юго-западной части Северного блока закартирована зона тектонического меланжа шириной 130-250 м, прослеженная на протяжении 7 км. В других фрагментах контакта зона меланжа либо имеет незначительную мощность, до 30 м, либо перекрыта делювиальными отложениями.

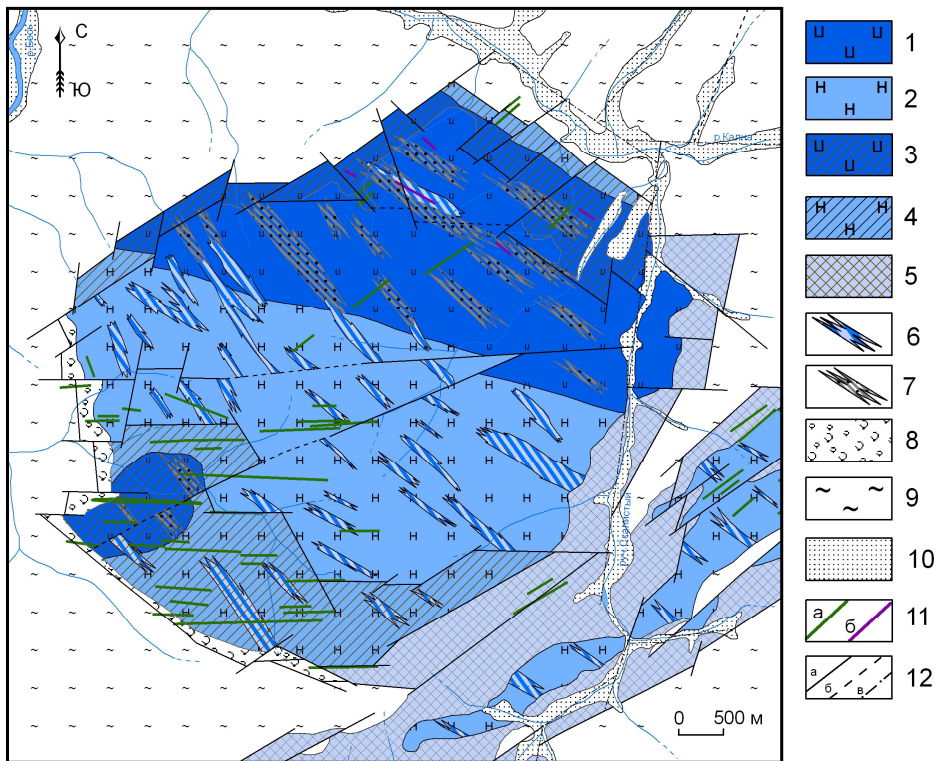


Рис. 1. Схема геологического строения Калнинского ультрабазитового массива
 1– дуниты, 2–гарцбургиты, 3–серпентиниты аподунитовые, 4–серпентиниты апогарцбургитовые, 5–серпентиниты нерасчлененные, 6–фрагменты полосчатой дунит-гарцбургитовой ассоциации, 7–зоны прожилковой вкрапленности хромшпинелидов, 8–серпентинитовый меланж, 9–осадочно-вулканогенные образования (V-C_{1am}), 10–четвертичные отложения, 11–дайки долеритов (а) и пироксенитов (б), 12–разрывные нарушения: а) достоверные, б) предполагаемые, в) перекрытые.

Калнинский массив сложен преимущественно дунитами и гарцбургитами, которые интродуцированы более поздними дайками диопсидитов, энстатитов и

долеритов (рис.1). На контакте с последними отмечается большая степень серпентинизации ультрабазитов, в дайках долеритов увеличивается доля оливина по мере приближения к зоне контакта, а непосредственно в контактовой части плагиоклаз замещается клиноцоизитом.

Петрохимические особенности пород отражены в таблице 1. Известно, что среди перидотитовых массивов выделяется три разновидности: офиолитовые, орогенные и абиссальные перидотиты (Holland, 2003). Отличаются они, как по структурному положению, так и по петрохимическому и петрографическому составу. Для абиссальных и орогенных перидотитов характерна постоянная примесь клинопироксена, а среди их породных разновидностей часто преобладают лерцолиты. Офиолитовые массивы отличаются наибольшей истощенностью силикатными компонентами. Для Калнинского массива содержание нормативного оливина в породах близко к 100%, а Al_2O_3 имеет узкий диапазон колебаний от 0,1 до 2,5 вес.% (см. табл. 1), что указывает на их офиолитовую природу.

Таблица 1

Средние содержания петрогенных элементов в породах Калнинского массива

n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	ппп	сумма	Название
74	35,5	0,02	0,6	4,1	6,4	41,4	0,2	0,4	9,2	97,7	Дуниты
44	38,4	0,02	0,3	6,0	4,3	42,4	0,2	0,1	6,5	98,1	Гарцбургиты
14	36,3	0,01	0,1	7,4	2,5	41,3	0,0	0,1	12,3	99,7	Энстатитовые дуниты
2	50,1	0,03	0,2	7,1	3,1	32,5	0,8	0,2	6,5	100,0	Ортопироксениты
2	52,5	0,10	0,3	1,2	2,8	22,0	18,9	0,5	1,1	99,7	Диопсидиты

Примечание: n – количество силикатных анализов, ппп – потери при прокаливании

В металлогеническом плане для офиолитовых массивов характерна специализация на хромовое оруденение. Калнинский массив, как видно из диаграммы А.И. Богачева, также специализирован на хромовые руды (рис.2).

Наряду с петрологическими данными, отражающими офиолитовую природу Калнинских ультрабазитов, косвенно об этом свидетельствует состав редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в дунитах и хромититах массива. Спектры

данных элементов, нормированные к хондриту C1 и примитивной мантии (PM) (рис.3.), указывают на значительную истощенность ультрабазитов, характерную для офиолитовых массивов (Еханин, 2010). Форма спектров U-образная, за счет повышенного содержания легких лантаноидов, что в сочетании с пиками Ba и Sr, указывает на особый флюидный режим в процессе серпентинизации и эксгумации

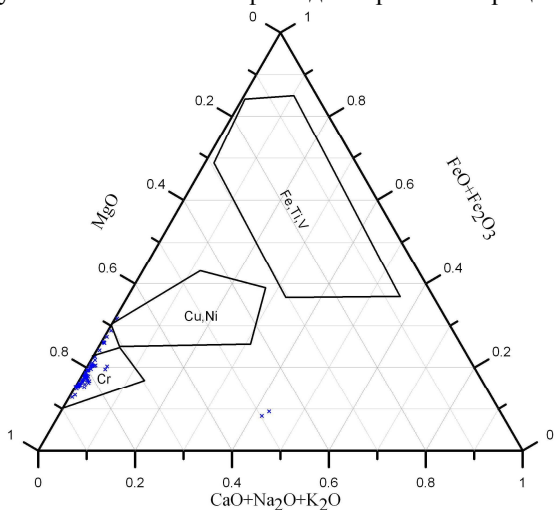


Рис.2. Положение пород Калнинского массива на диаграмме А.И. Богачева

массива.

Для уточнения формационной принадлежности в мировой практике принято использование состава рудных, порообразующих и акцессорных минералов. Так для офиолитовых массивов характерны подиформные руды, хромшпинелиды которых характеризуются изоморфным замещением Cr³⁺ и Al³⁺, в расслоенных массивах развиты стратиформные руды, а

замещение хрома в хромшпинелидах происходит на трехвалентное железо, для концентрически-зональных интрузий такой изоморфизм не характерен. Составы хромшпинелидов изученного массива попадают в поля от хромпикотита до хромита, что свойственно офиолитовым перидотитам (Еханин, 2010).

В сравнении с составами хромшпинелидов значительно реже используются составы оливинов и пироксенов. Так, в изучаемом массиве железистость оливинов колеблется в диапазоне от 5,94 до 11,97, в среднем составляя 8,43%. Ортопироксены массива отвечают по составу энстатиту En_{88,34-91,82}Fs_{7,38-10,97}Wo_{0,57-2,04},

а клинопироксен соответствует диопсиду $En_{32,95}Fs_{2,21}Wo_{64,84}$. Составы, приведенные выше, соответствуют допустимым интервалам для офиолитовых массивов (Богатиков, 1988).

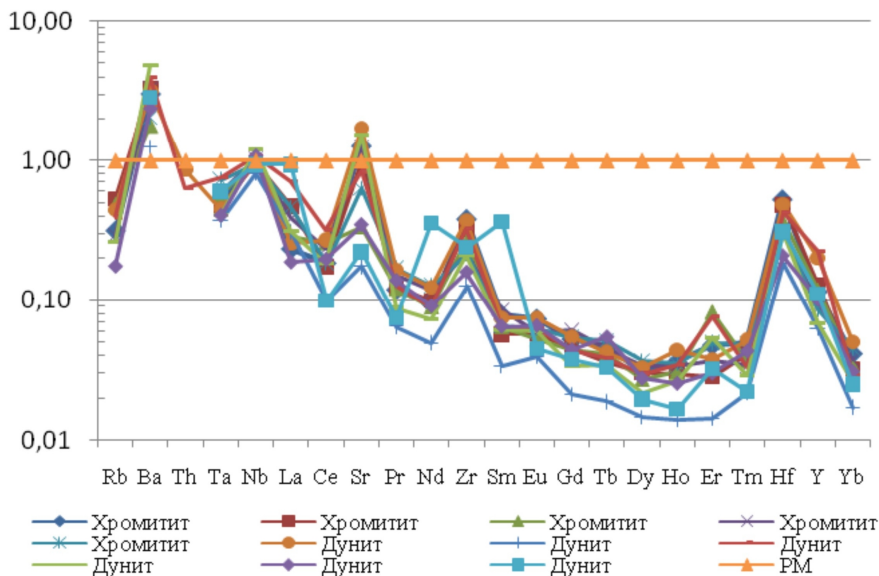


Рис. 3. Спайдер-диаграмма редких и редкоземельных элементов для дунитов и хромититов массива, нормированных к примитивной мантии (по Sun, McDonough, 1989)

На основании совокупности вышеизложенных данных были сделаны выводы об офиолитовой природе массива. Массивы такого типа принято считать тугоплавким остатком - реститом, возникшим в результате выплавления базальтоидных компонентов из субстрата верхней мантии. Экспериментальные исследования последних десятилетий позволяют оценивать степень частичного плавления неистощенного мантийного источника и условия формирования массивов на основании составов сосуществующих оливин-шпинелевых парагенезисов (рис. 4).

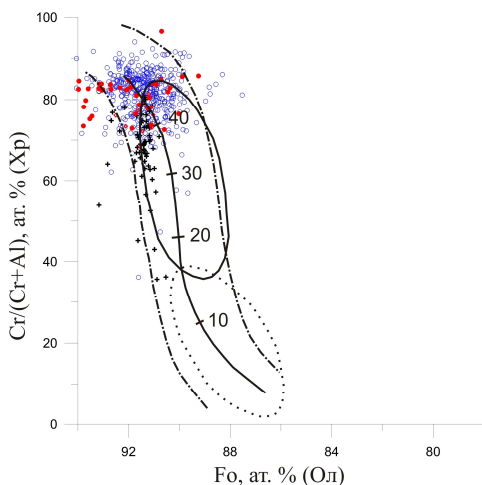


Рис.4. Диаграмма отношений хромистости и магнезиальности в сосуществующих хромшпинелиде (Хр) и оливине (Ол). Пунктиром показана область составов равновесных оливин-хромшпинелевых мантийных парагенезисов (OSMA) по (Агаі, 1994). Оконтуры поля составов абиссальных (точками) и супрасубдукционных (сплошная) мантийных перидотитов. Цифры на модельной кривой соответствуют степени плавления MORB (отн.%) из неистощенного мантийного источника.

2. Хромовое оруденение сформировано на поздних этапах становления Калнинского массива и относится к типу высокохромистых. Рудообразующий процесс связан с перераспределением хрома в дунитах и гарцбургитах в процессе их метаморфогенного преобразования и наиболее ярко выражен в интенсивно деплетированных частях массива.

В пределах Калнинского массива выделено более 100 проявлений и точек хромовой минерализации, в распределении которой прослеживается зональность, обусловленная уменьшением масштаба оруденения с востока на запад. Наиболее крупные проявления хромититов приурочены к центральной части северо-восточного поля дунитов. В северо-западной части этого поля дунитов, ближе к границе с гарцбургитами тела хромититов обладают меньшими параметрами, как по мощности, так и по содержанию. В западной части массива среди гарцбургитов известно лишь одно проявление хромититов, которое приурочено к полосчатой дунит-гарцбургитовой ассоциации.

Среди проявлений в центральной части поля дунитов отмечаются 5 линзовидных рудных тел, прослеженных по простиранию от 100 до 350 метров, с мощностью от 3 до 6 метров. Содержание Cr_2O_3 зависит от густоты вкрапленности, которая в большинстве случаев увеличивается от краев к центру, местами приобретая массивную текстуру, с увеличением содержания Cr_2O_3 до 45%. Минеральный состав хромититов отличается от вмещающих дунитов большей степе-

нию серпентинизации оливина и развитием хлорита. Рудные минералы: хромит, феррохромит, магнетит, также отмечаются (Подлипский, 2005) находки сперрилита ($PtAs_2$), осарсита ($(Os,Ru)AsS$), различные сплавы Pt-Fe-Cu и Pd-содержащий антимонид (Pd_2CuSb).

На границе с гарцбургитами отмечается 2 тела хромититов с содержанием Cr_2O_3 до 30%. Мощность их не превышает 1,5-2,9 метра. Представлены тела вкрапленными хромититами, в которых местами по трещинам отмечаются мало-мощные (до 5 см) линзы массивных руд. По простиранию они прослежены от 50 до 150 метров. Минеральный состав хромшпинелидов из хромититов не отличается от их аксессуарных аналогов из вмещающих дунитов. Среди них преобладает хромит, реже встречен феррохромит, местами отмечается замещение обоих минералов магнетитом. Для руд характерна примесь тугоплавких платиноидов (Os-Ir-Ru), суммарное содержание которых не превышает 0,3-0,5 г/т.

Единственное проявление хромовых руд, известное среди гарцбургитов, имеет линзовидную форму с максимальной мощностью 80 сантиметров. Прослежено оно на 50 метров, а в зоне выклинивания продолжается струйчатой вкрапленностью хромшпинелидов. Проявление приурочено к энстатитовым дунитам полосчатой дунит-гарцбургитовой ассоциации. Состав шпинели из хромититов также близок по составу к аксессуарной шпинели из гарцбургитов в целом и соответствует алюмохромиту. Суммарное содержание платиноидов в данной линзе не превышает 0,3-0,4 г/т.

Зональность, охарактеризованная выше, близка к зональности, выявленной при изучении распределения показателя относительной степени плавления MORB (отн.%) из неистощенного мантийного источника для пород Калнинского массива, рассчитанного по методике Ф.В. Леснова (2008). Как видно на рисунке 5, центральная часть поля дунитов обладает наивысшим показателем степени плавления, который уменьшается в восточном направлении. В процессе деплетирования из пород массива выносились сиалические компоненты и накапливались MgO , FeO и Cr_2O_3 , в связи с чем наиболее рестирированные породы – дуниты оказались наиболее благоприятны для процессов рудообразования.

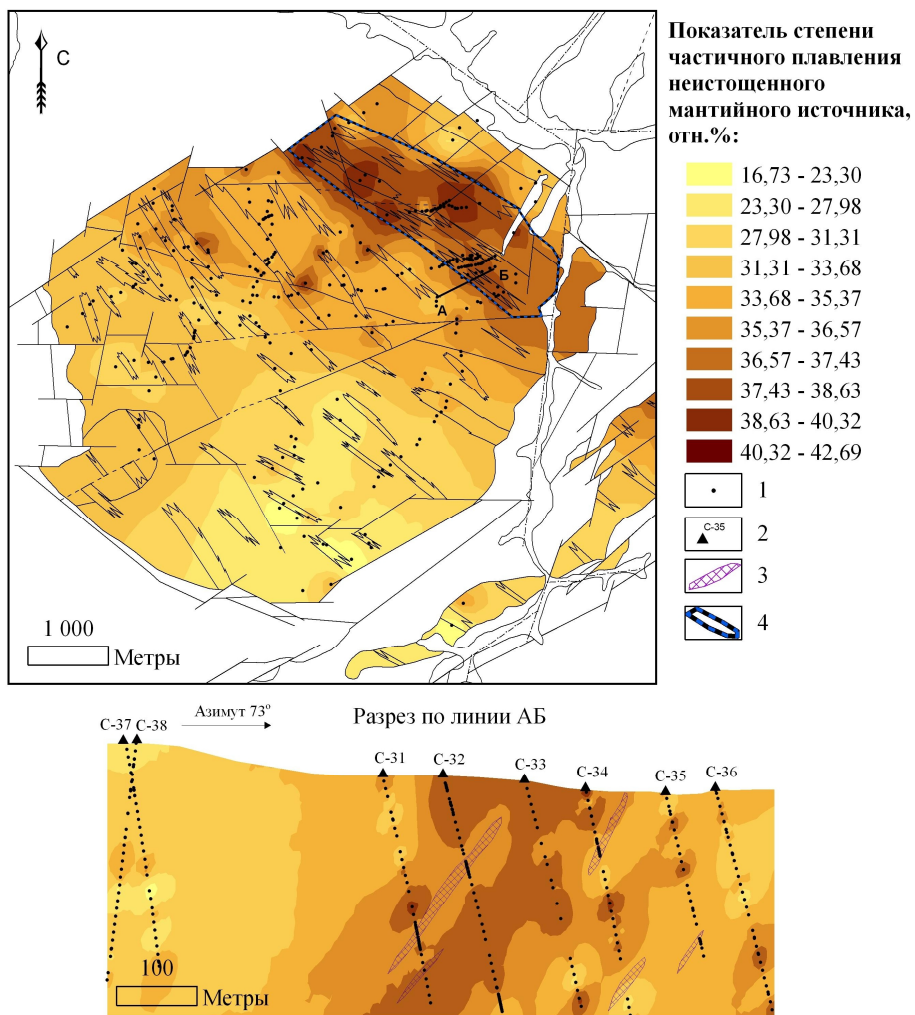


Рис.5. Распределение показателя степени частичного плавления неистощенного мантийного источника. 1— точки отбора проб, 2—скважина и её номер, 3—рудные тела хромитов, 4—наиболее перспективная область дунитов для локализации хромового оруденения

Все крупные тела хромитов непосредственно связаны с зонами прожилковой вкрапленности в дунитах. Зоны характеризуются проявлением субпараллельных строчек, линзочек хромшпинелидов мощностью до первых сантимет-

ров. Мощность самих зон вкрапленности достигает первых сотен метров, при протяженности по простиранию до километра. В поле гарцбургитов наблюдаются подобные рудоносные зоны, которые ориентированы согласно со струйчатой ориентировкой зерен хромшпинелидов и энстатита во вмещающих породах полосчатой дунит-гарцбургитовой ассоциации. В отличие от гарцбургитов в пределах дунит-гарцбургитовой ассоциации отмечаются существенные вариации по содержанию породообразующих минералов. В гарцбургитах массива ортопироксен закономерно распределен в количестве от 10 до 30%, а хромшпинелид встречается в единичных зернах. В дунит-гарцбургитовой ассоциации наблюдается сгущение энстатита до 50% в гарцбургитах с постепенным переходом в энстатитовые дуниты практически лишенные ортопироксена (2-5%), а затем в дуниты. При этом «струйки» хромшпинелидов в пределах ассоциации отчетливо согласуются с направленной ориентировкой ортопироксенов (рис.6).

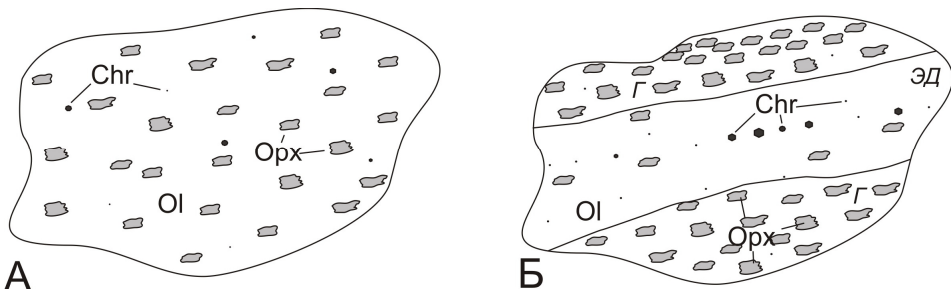


Рис. 6. Структурные особенности гарцбургитов (А) и пород дунит-гарцбургитового комплекса (Б). За счет перераспределения минералов - хромшпинели (Chr) и энстатита (Орх) и оливина (Ol), формируются породы дунит-гарцбургитового комплекса: энстатитовые дуниты (ЭД) и гарцбургиты (Г)

Помимо процессов перераспределения рудного вещества на сходство зон рудной прожилковой вкрапленности в дунитах и дунит-гарцбургитовой ассоциации в гарцбургитах указывает близкая пространственная ориентировка зерен минералов (рис.7) не согласная с границами первичного породного комплекса. По наблюдениям автора, ассоциации дунит-гарцбургитового состава на продолжении в поле дунитов сменяются зонами вкрапленной минерализации хромшпинелидов (см. рис.1).

В пользу наложенного характера оруденения также указывает изоморфизм Cr^{3+} с Al^{3+} , характерный для хромшпинелидов подиформных месторождений.

Таким образом, установлено, что хромовое оруденение массива связано с процессами рестирования мантийного субстрата, которые сопровождались формированием полосчатой дунит-гарцбургитовой ассоциации. Эти процессы способствовали перераспределению рудного вещества и образованию зон с прожилками и вкрапленностью хромшпинелидов. Именно с ними в пространстве и во времени сопряжены основные рудные тела массива.

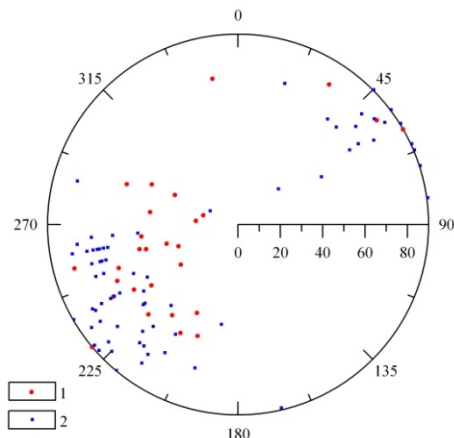


Рис. 7. Диаграмма плоскостной ориентировки: 1–зерен ортопироксена дунит-гарцбургитовой ассоциации, 2–хромшпинелидов из зон прожилковой вкрапленности

Наиболее перспективной для поисков крупных тел хромититов является обширное поле дунитов Северного блока Калнинского массива, в центральной части которого выявлен ряд проявлений с суммарными ресурсами 1,99 млн.тонн (категория P_2), в том числе для одного рудного тела рассчитаны ресурсы по категории P_1 в количестве 0,39 млн.тонн Cr_2O_3 . Рудоносный потенциал Калнинского массива оценивается в 15,7 млн.тонн (Еханин, 2010).

3. Платинометальное оруденение массива представлено двумя ассоциациями: Os-Ir-Ru и Pt-Pd. Содержания элементов первой, наиболее ранней ассоциации, равномерно распределены в дунитах и гарцбургитах и незначительно возрастают в хромититах. Pt-Pd ассоциация является наложенной и устанавливается как в хромовых рудах, так и породах, лишенных признаков хромитового оруденения. Массив имеет перспективы обнаружения выдержанных зон Pt-Pd минерализации с промышленным содержанием платиноидов.

О перспективах платиноносности Калнинского массива стало известно после работы А.В.Крюкова (1954 г.). Им впервые в аллювии р. Калны было установлено содержание платиноидов в 130 мг/куб.м. Впоследствии, при поисках россыпного золота в бассейне р. Амыл (Домрачев, 1990), в нижнем течении р.Кална была разведана россыпь прослеженная на 2,6 км с содержаниями от 131 до 1689

мг/м³, в среднем 910 мг/м³. Прогнозные ресурсы платиноидов составили 23,7 кг по категории Р₁, среди платиноидов россыпи преобладает осмистый иридий. Позднее при изучении левых притоков р.Кална, размывающих северную часть Калнинского массива (Подлипский, 2003), наряду с рутениридосмином были выделены: изоферроплатина (Pt₃Fe), тетраферроплатина (PtFe), железистая платина, туламинит (Pt₂FeCu), ферроникельплатина (Pt₂FeNi), высоконикелистая платина (Pt(FeNi)₂ и PtFeNi₂), а также сперрилит (PtAs₂), потарит (PdHg) и сульфиды, сульфоарсениды, теллуриды, арсениды, антимониды палладия и родия. При этом из всех диагностированных минералов платиноидов преобладали минералы платины, а рутениридосмин выявлен лишь в трети находок.

В результате поисковых работ, выполненных в пределах Калнинского массива (Катанов, 2003), на основании десятка анализов содержаний элементов платиновой группы (ЭПГ), вкрапленные хромититы были разделены на две группы. Первая группа (8 анализов) представлена тугоплавкими платиноидами (Os, Ir, Ru) с невысокими содержаниями ЭПГ от 0,10 до 0,66 г/т. Вторая группа (2 анализа) характеризуется преобладанием легкоплавких платиноидов (Pt, Pd), содержания которых составили соответственно 1,95 и 0,86 г/т. В ряде проб суммарные содержания ЭПГ достигли 3,07 и 1,75 г/т.

В пробах с высоким содержанием легкоплавких платиноидов были диагностированы сперрилит (PtAs₂), различные сплавы Pt-Fe-Cu и Pd-содержащий антимонид (Pd₂CuSb). В пробах с высокими содержаниями тугоплавких платиноидов обнаружены лишь сплавы Pt-Fe-Cu и осартит ((Os,Ru)AsS).

В ходе выполнения данной работы изучению подверглись рудопроявления хромитовых руд из центральной части поля дунитов, в том числе те, где были уже описаны повышенные концентрации Pt и Pd. В хромититах и вмещающих дунитах исследовалось содержание Pt, Pd, Rh, Ir, Ru.

Помимо связи платиноидов с хромититами, повышенные концентрации элементов платиновой группы (ЭПГ) фиксируются во вмещающих дунитах. На основе спектров распределения ЭПГ были выделены по две разновидности дунитов и хромититов. Спектры дунитов 1 и хромититов 1 соответствуют фоновым содержаниям ЭПГ в массиве. Дуниты 2 и хромититы 2 встречаются значительно реже, именно в них содержание платиноидов максимально и достигает 3-3.5 г/т. Как можно наблюдать на рисунке 8, распределение платиноидов в данных породных группах отличается незначительно. Дуниты 2 отличаются от хромититов 2 несколько меньшим содержанием Pt-Pd.

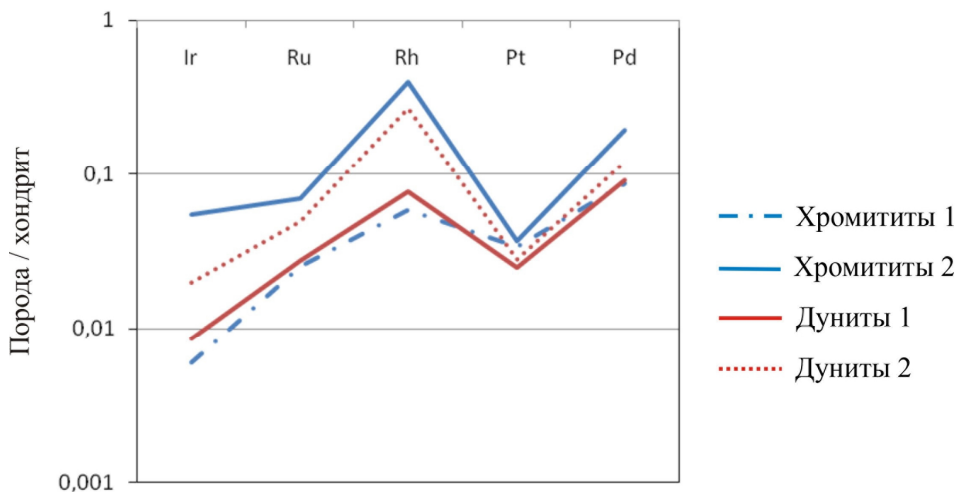


Рис.8. Особенности распределения ЭПГ, нормированных по хондриту C₁ (A.J.Naldrett, J.M.Duke), в дунитах и хромититах Калнинского массива

Статистическими методами, при помощи корреляционного и факторного анализов из всего массива данных были выделены 2 ассоциации платиноидов: Ir-Ru-Rh и Pt-Pd. Первая ассоциация имеет слабую прямую корреляционную связь с содержанием хромшпинелида, для второй каких-либо существенных связей не выявлено. Между собой элементы платиновой группы имеют либо сильные, либо функциональные корреляционные связи, для ассоциации в целом их связь уменьшается до средней (таблица 2).

Таблица 2

Корреляционная матрица связей ЭПГ и хрома

	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Cr	Сумма ЭПГ	Ir-Ru-Rh	Pt-Pd
Ir	1,00	0,66	0,60	0,35	0,53	0,38	0,65	0,78	0,48
Ru	0,66	1,00	0,83	0,24	0,44	0,40	0,62	0,93	0,38
Rh	0,60	0,83	1,00	0,20	0,40	0,54	0,59	0,95	0,33
Pt	0,35	0,24	0,20	1,00	0,75	0,03	0,84	0,27	0,92
Pd	0,53	0,44	0,40	0,75	1,00	0,14	0,94	0,49	0,95
Cr	0,38	0,40	0,54	0,03	0,14	1,00	0,25	0,51	0,10
Сумма ЭПГ	0,65	0,62	0,59	0,84	0,94	0,25	1,00	0,67	0,95
Ir-Ru-Rh	0,78	0,93	0,95	0,27	0,49	0,51	0,67	1,00	0,42
Pt-Pd	0,48	0,38	0,33	0,92	0,95	0,10	0,95	0,42	1,00

Различие в распределении ассоциаций ЭПГ наиболее наглядно можно наблюдать в разрезе скважин по линии скважин С31-35 (рис. 9), где хорошо заметно разнородное поведение отдельных групп платиноидов. Высокие суммарные содержания ЭПГ (до 1,73 г/т) определяются главным образом Pt-Pd ассоциацией.

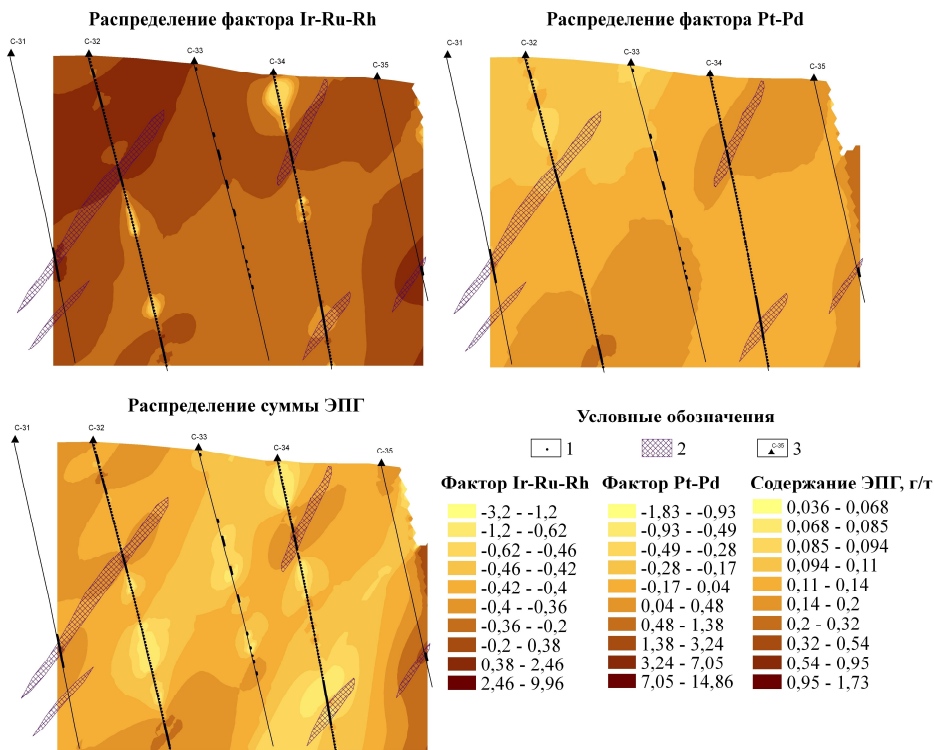


Рис.9. Распределение платиноидов по разрезу скважин С31-35. 1 – места отбора проб, 2 – вкрапленные хромититы, 3 – скважина и её номер

Выделенные ассоциации платиноидов и их особенности распределения указывают на сложную дифференциацию ЭПГ в процессе становления массива и формирования рудных зон. Распределение ассоциации Ir-Ru-Rh довольно равномерно в породах массива, средние содержания суммы ее элементов составляют 0,1 г/т и зависят от содержания хромшпинелида. В рудных скоплениях последнего суммарные содержания элементов ассоциации поднимаются до 0,3-0,5 г/т. Pt-Pd ассоциация демонстрирует наложенный характер оруденения и, очевидно, про-

явилась позднее Ir-Ru-Rh ассоциации. Геолого-геохимические предпосылки указывают на возможное выявление самостоятельного промышленного платинометалльного оруденения в породах Калнинского массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения диссертационной работы на основании результатов изучения фондовой и литературной информации, выполнения полевых и лабораторных исследований с последующей камеральной обработкой материалов, были получены следующие научно-практические результаты:

1. Посредством использования набора петрохимических и петрографических методов, а также изучения состава рудообразующих и акцессорных минералов охарактеризованы породы и руды Калнинского массива. В результате исследований уточнена его формационная принадлежность и условия образования. Обосновано отнесение пород массива к офиолитовому типу ультрабазитов.

2. На основании геолого-структурных наблюдений и изучения изменчивости составов акцессорных и породообразующих минералов выполнена оценка перспектив рудоносности массива и даны рекомендации по направлению дальнейших поисковых работ, в частности, рекомендовано более детальное изучение центральной части поля дунитов.

3. На основании изучения петрографического и петрохимического состава пород, с применением площадных гравиметрических и магнитометрических исследований, впервые для Калнинского массива была составлена карта серпентинизации. Наименее серпентинизированные участки массива рекомендованы как перспективные на поиски магнезиального сырья для металлургического производства.

4. Исследование распределения элементов платиновой группы в породах массива позволило выявить две ассоциации платиноидов. Ассоциация Ir-Ru-Rh относительно равномерно распределена во всех разновидностях пород, в то время как Pt-Pd ассоциация имеет признаки наложенного оруденения с содержаниями, достигающими 3 г/т. Рекомендуется дальнейшее изучение распределения Pt-Pd ассоциации, как самостоятельного полезного ископаемого

5. Изучение распределения хрома в биогеохимических ореолах рассеяния позволило рекомендовать применение биогеохимических методов поисков в качестве альтернативных для замены литогеохимических методов, имеющих значительные

ограничения в условиях накопления хрома во вторичных ореолах рассеяния (Еханин, 2010).

6. По результатам исследований, руды массива классифицированы как высокохромистые, относящиеся к подиформному типу. Общие прогнозные ресурсы Cr_2O_3 в массиве по категории P_3 оцениваются в 15,7 млн. тонн.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных изданиях перечня аннотированных ВАК:

1. **Еханин Д.А.** Геологическое строение и перспективы рудоносности Калнинского ультрабазитового массива // Разведка и охрана недр, вып. 9. – Москва, 2010. – С. 24-28.

Публикации в прочих научных изданиях:

2. Еханин А.Г., Власов А.В., Заболотский А.Д., Курганьков П.П., Романов А.П., Сержантов Н.Ф., Целюк И.Н., Юркин В.В., **Еханин Д.А.** Новые данные о хромитоносности гипербазитового Калнинского массива (Красноярский край) // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. – Красноярск: КНИИГиМС, 2008, вып. 9. – С. 173-180.
3. **Еханин Д.А.** Геолого-геохимическая модель Калнинского ультрабазитового массива // Проблемы геологии и освоения недр: Сб. науч. трудов XIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня рождения профессора, Лауреата государственной премии СССР К. В. Радугина. – Томск: 2009. – С. 66-68.
4. **Еханин Д.А.,** А.В.Власов. Использование геохимических данных для анализа геологического строения Калнинского хромитоносного массива (Западный Саян) // Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений. Материалы II Всероссийской конференции по прикладной геохимии, г.Воронеж, 26-28 февраля 2009 г. – Воронеж: ИП Гончаровой, 2009. – С. 183-185.
5. **Еханин Д.А.** Генетическая природа Калнинского ультрабазитового массива на основе выделенных минералогических особенностей // Материалы XLVII Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Геология. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т. 2009. – С. 44-45.

6. **Еханин Д.А.** Опыт применения биогеохимических исследований для поисков хромовых руд Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Материалы конференции V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – Наукам о Земле». – Москва: РГГРУ, 2010. – С. 94.
7. **Еханин Д.А.** Вещественный состав пород и руд Валунной хромитоносной зоны Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Материалы конференции V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – Наукам о Земле». – Москва: РГГРУ, 2010. – С. 95.
8. **Еханин Д.А.** Природа гравитационной аномалии в пределах Валунной хромитоносной зоны Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Материалы международного молодежного научного форума «Ломоносов-2010» [Электронный ресурс]. - Москва: МАКС Пресс, 2010. 1 эл.опт.диск.
9. **Еханин Д.А.** Строение и особенности метаморфизма Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции, г. Красноярск. 25-26 апреля 2010 г. – Красноярск: изд-во ОАО «Красноярскгеолсъёмка», 2010. – С. 236-240.
10. **Еханин Д.А.** Геохимические особенности дунитов валунной хромитоносной зоны Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Геология в развивающемся мире: материалы 1 Всеросс.конф. студ., асп. и молодых ученых: в 2 т. – Пермь: ПГУ, 2010. – Т.1. С. 11-13.
11. **Еханин Д.А.** Дунит–гарцбургитовая ассоциация Калнинского ультрабазитового массива (Западный Саян) // Геология в развивающемся мире: материалы 1 Всеросс.конф. студ., асп. И молодых ученых: в 2 т. – Пермь: ПГУ, 2010. – Т.1. С. 14-16.
12. **Еханин Д.А.** Особенности платиноносности пород Калнинского гипербазитового массива // IV Международный горно-геологический форум Мингео Сибирь 2010 и международный семинар «Платина в геологических формациях мира». Тезисы докладов. – Красноярск: КНИИГиМС, 2010. – С. 139-146.

Подписано в печать 15.11.2010
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,4
Тираж 100 экз. Заказ №2673

Отпечатано:
Полиграфический центр БИК Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а