

На правах рукописи



**Маркин Максим Юрьевич**

**МИНЕРАГЕНИЯ МАЛКИНСКОГО  
УЛЬТРАБАЗИТОВОГО МАССИВА**

*Специальность: 25.00.11 – геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых; минерагения*

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Ростов-на-Дону - 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институт аридных зон Южного научного центра РАН

**Научный руководитель:**

доктор геол.-мин. наук  
**Парада Сергей Григорьевич,**  
Институт аридных зон ЮНЦ РАН,  
г. Ростов-на-Дону

**Официальные оппоненты:**

доктор геол.-мин. наук, профессор  
**Богуш Илья Александрович,**  
Южно-Российский Государственный  
Технический Университет (НПИ),  
г. Новочеркасск

кандидат геол.-мин. наук, доцент  
**Попов Юрий Витальевич,**  
Южный федеральный университет,  
г. Ростов-на-Дону

**Ведущая организация:**

Воронежский государственный  
университет, геологический  
факультет, г. Воронеж

Защита состоится «22» сентября 2011г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.208.15 при Южном федеральном университете по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, геолого-географический факультет, ауд. 201.

Факс: (863) 222-57-01. E-mail: dek\_geo@rsu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в ЗНБ Южного федерального университета по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 148.

Автореферат разослан «    » августа 2011г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 110, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.208.15.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д  
212.208.15 канд. геол.-мин.  
наук, доцент



В.Г. Рылов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Актуальность работы определяется тем, что в последние годы при минерагенических исследованиях все большее внимание уделяется проблемам научного прогноза новых типов полезных ископаемых (особенно руд цветных и благородных металлов) в различных геологических комплексах. Это стало возможным с появлением и развитием ГИС-методов обработки пространственных данных, с развитием и массовым применением в поисковых и геологоразведочных работах новых химико-аналитических методов, с возможностью создания на основе получаемых данных петрохимических и пространственных моделей. Особой проблемой является разработка научных основ целевого минерагенического прогнозирования ультрабазитовых комплексов. Ультрабазиты встречаются на поверхности Земли значительно реже, чем другие группы пород, составляя менее 1% объема всех изверженных образований. Вместе с тем практически все они содержат многие виды полезных ископаемых (платина и платиноиды, руды хрома, кобальта, никеля, меди, железа, огнеупорное и кислотоупорное сырье, а также строительные материалы).

На Северном Кавказе такие потенциально рудоносные ультраосновные породы известны в форме отдельных массивов в пределах узкой полосы его горной части от Черного до Каспийского моря и составляют часть альпийско-гималайского протерозойско-палеозойского северокавказского офиолитового пояса. Самым крупным из них является Малкинский массив, в пределах обнаженной части которого известны руды железа, никеля, кобальта, хрома, а также асбест, магнезит и др. Однако фундаментальные вопросы его минерагении еще не исследованы. До сих пор этот массив считается однородным, сложенным в основном серпентинитами, месторождения черных и цветных металлов изучались как продукты юрской коры выветривания вне связи с более древней геологической историей массива, не изучались петрохимические характеристики, характер дифференциации ультраосновной магмы, предопределяющие минерагенические особенности подобных массивов. Не оценивалась возможность изучения минерагенического потенциала основной области распространения Малкинского массива, перекрытой мезозойскими отложениями, площадь, которой в 5 раз больше обнаженной его части.

**Цель исследования.** Установить минерагенические особенности Малкинского массива на основе специальной обработки и анализа геолого-геофизических, петрографических и химико-аналитических данных с использованием современных ГИС-технологий и сравнительного петрохимического моделирования.

### **Основные задачи:**

1. Собрать, обобщить и проанализировать все существующие сведения о геологическом строении и полезных ископаемых Малкинского ультрабазитового массива.

2. Выявить структурно-вещественные неоднородности Малкинского массива на основе оцифровки и специальной ГИС-обработки существующих геолого-геофизических данных, анализа спектрозональных космофотоснимков и проведения петрографических исследований.

3. Установить закономерности распределения полезных ископаемых Малкинского массива в пространстве и времени в связи с распространением базит-ультрабазитовых апо- и эпипород.

4. Разработать петрохимическую модель Малкинского массива на основе новых химико-аналитических данных и современных представлений о природе ультрабазитов, провести ее сравнительный анализ с петрохимическими моделями известных ультрабазитовых комплексов Мира.

5. Определить новые геолого-геофизические, минералого-петрографические и петрохимические предпосылки рудоносности Малкинского массива, выявить прямые признаки платиноносности.

**Материалы и методы исследований.** Фактический материал был получен в ходе проведения экспедиционных и лабораторных работ в рамках базовой темы отдела геологии Института аридных зон ЮНЦ РАН «Изучение структурно-вещественных неоднородностей геологических формаций, разработка научно-методических основ моделирования, прогнозирования и технологий освоения месторождений полезных ископаемых юга России» и проектам Программы Президиума РАН в период с 2007 по 2010 г.г. Все названные работы и тема диссертации соответствуют разделу 58 Программы основных направлений фундаментальных исследований РАН «Геология месторождений полезных ископаемых, научные основы формирования минерально-сырьевой базы».

Соискателем лично изучены опорные разрезы Малкинского массива по коренным обнажениям вдоль долины р. Малки и по бортам долин руч. Гедмыш, Большой Лахран, Лахран, Орта-Лахран, Гитче-Лахран, Таза-Кол, Уллу-Таза-Кол, Кызыл-Кол, Ран-Кол, Гедмыш и Мозекей (всего 56 пог. км.), передокументировано 254 пог. м. горных выработок и 370 пог. м. керна скважин; произведена полевая заверка результатов собственной переинтерпретации аэромагнитной съемки предшественников и результатов собственной специальной обработки многозональных космофотоснимков (рис. 1). Отобрано 80 штучков руд и вмещающих пород на производство химических анализов, шлифов и аншлифов, а также 62 пробы донных осадков для определения содержания благородных металлов. Автором проработаны все имеющиеся фондовые материалы и опубликованные работы по геологии, геофизике и рудоносности Малкинского массива (35 отчетов, записок и т.п.), произведена оцифровка данных аналоговой аэромагнитной съемки 1971 года масштаба 1:25000 на площади 18,6 км<sup>2</sup>, в результате чего получено 5540 значений магнитной восприимчивости пород массива, изучено 65 шлифов и 15 аншлифов руд и вмещающих пород. Кроме того, соискателем использованы результаты 431 химического анализа магматических пород Малкинского массива, полученных из разных отчетов;

все они сведены в единую базу данных для обработки и использования в петрохимической модели.

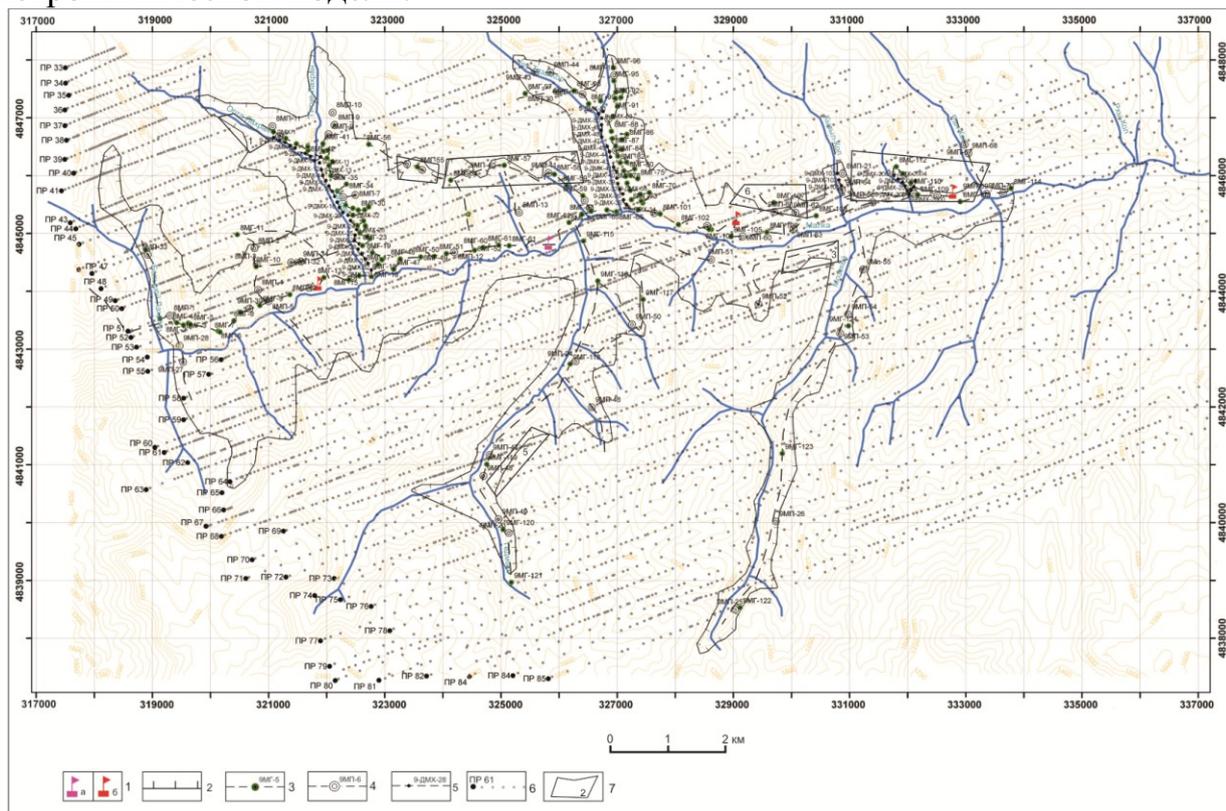


Рис.1 Карта фактического материала по Малкинскому гипербазитовому массиву 1 – временные полевые базы (а – 2008 г., б – 2009 и 2010г.); 2 – контур Малкинского ультрабазитового массива; геологические маршруты: 3 – с замерах магнитной восприимчивости пород, 4 – с отбором каменного материала; 5 – с отбором проб донных отложений; 6 – точки оцифрованных значений  $\Delta T_a$ ; 7 – участки геологоразведочных работ предшественников на железные руды (1-Орта-Лахран, 2-Таза-кол, 3-Мозекей, 4-Кызыл-Кол, Хабаз; 5-Гедмыш, 6-Крокодил, 7-Дюрбеджи-Дорбун)

### ***Научная новизна работы:***

1. Обоснован новый концептуальный подход к целевому минерагеническому прогнозированию рудоносности Малкинского массива на основе анализа и специальной обработки существующих геолого-геофизических и новых химико-аналитических данных с использованием современных ГИС-технологий и сравнительного петрохимического анализа.

2. Выявлена неизвестная ранее разноуровневая структурно-вещественная неоднородность Малкинского массива, выраженная наличием четырех петрографических разностей ультрабазитов закономерно сменяющих друг друга с юга на север, - лерцолитов, апогарцбургитов, аподунитов, железистых апогарцбургитов, и габброидов, прорывающих апогарцбургиты, а также различным характером и степенью эпигенетических изменений эпипород.

3. Установлено, что распределение различных типов полезных ископаемых Малкинского массива в пространстве предопределено

размещением апопород, а проявление во времени связано с характером и степенью их эпигенетических преобразований.

4. Построена карта вещественно-структурных неоднородностей с отображением неизвестных ранее апопород, и закономерностей распределения связанных с ними полезных ископаемых.

5. Разработана петрохимическая модель Малкинского массива, проведен сравнительный анализ ее с петрохимическими моделями эталонных ультрабазитовых объектов Мира, установлено ее сходство с петрохимической моделью Бушвельдского комплекса.

#### ***Практическое значение работы:***

1. На основе полученных данных установлены новые геолого-геофизические, минералого-петрографические и петрохимические предпосылки и критерии оценки рудоносности Малкинского массива, позволяющие более надежно прогнозировать типы ожидаемых полезных ископаемых и, в связи с этим более целенаправленно планировать поисковые и геологоразведочные работы;

2. Выявленные нами прямые признаки платиноносности в геохимических потоках рассеяния и их приуроченность к штокам аподунитов позволяют локализовать площади для постановки поисковых работ на МПГ.

#### ***На защиту выносятся:***

1. Обоснование структурно-вещественной неоднородности Малкинского ультрабазитового массива.

2. Выявленные закономерности размещения полезных ископаемых Малкинского массива.

3. Разработанная соискателем петрохимическая модель Малкинского массива.

4. Геологические и петрохимические предпосылки и прямые признаки платиноносности Малкинского массива.

***Апробация работы и публикации.*** Всего по теме диссертационной работы опубликовано 11 научных работ в т.ч. 2 статьи в журналах из перечня ВАК. Основные положения диссертационной работы были представлены на VII, VIII и IX Международной научно-практической конференции «Проблемы геологии, экологии и рационального природопользования» (г. Новочеркасск, 2009, 2010 и 2011), на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, памяти академика А.П. Карпинского (г. С.-Петербург, 2011), на Международном минералогическом семинаре «Минералогическая интервенция в микро- и наномир» (г. Сыктывкар, 2009), на Всероссийской конференции «Чтения памяти академика К.В. Симакова» (г. Магадан, 2009).

#### ***Объем и структура работы.***

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения общим объемом 152 машинописные страницы без литературы. Включает 38 рисунков и 6 таблиц. Список литературы состоит из 190 наименований.

В **первой главе** приведен обзор современного состояния проблемы геологического строения и минерогенеза гипербазитов, анализ состояния изученности Малкинского массива и методика исследования.

Во **второй главе** раскрывается региональная позиция массива в структурах Северного Кавказа, а также приводится сравнительная характеристика Малкинского массива с другими подобными массивами Северного Кавказа.

**Третья глава** посвящена выявлению и полевой заверке вещественно-структурных неоднородностей массива, изучению закономерностей распространения апопород.

**Четвертая глава** содержит описание полезных ископаемых массива и результаты изучения закономерностей их распространения.

В **пятой главе** приведены геологические предпосылки рудоносности массива и поисковые признаки, результаты петрохимического моделирования, геохимических исследований и обобщенная минерогенетическая модель Малкинского массива.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность начальнику Территориального управления по недропользованию КБР к.г.-м.н. А.С. Емкужеву и старшему геологу ООО “Каббалкгеология” М.С. Емкужеву за помощь в проведении полевых работ и предоставлении геологических материалов. Особую благодарность автор выражает председателю ЮНЦ РАН академику Г.Г. Матишову и директору Института аридных зон члену-корреспонденту Д.Г. Матишову за постоянную поддержку и предоставленную возможность проведения настоящего исследования. Автор признателен за консультации и рекомендации по теме диссертационного исследования старшему научному сотруднику отдела геологии ИАЗ ЮНЦ РАН, к.г.-м.н. Д.Б. Давыденко и к.г.-м.н. Н.В. Глазыриной, а также всем специалистам-геологам, коллегам, наставникам и преподавателям, с которыми в разное время обсуждались вопросы прямо или косвенно связанные с написанием диссертации. Отдельная благодарность своему научному руководителю зав. отделом геологии, д.г.-м.н. С.Г. Параде, за ценные советы, передачу профессионального опыта, рекомендации, моральную поддержку и помощь в написания диссертационной работы.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ**

**Первое защищаемое положение.** Малкинский ультрабазитовый массив в структурно-вещественном отношении является неоднородным, что выражается наличием четырех петрографических разновидностей апопород, - лерцолитов, аподунитов, апогарцбургитов и железистых апогарцбургитов, закономерно сменяющих друг-друга с юга на север, а также более поздних габброидов, прорывающих апогарцбургиты.

Выявление вещественно-структурных неоднородностей Малкинского массива осуществлено по данным собственных полевых геологических и минералого-петрографических исследований и специальной обработки

многозональных космических снимков с американского спутника Landsat-7, а также переинтерпретации данных аэромагнитной съемки масштаб 1:25000, проведенной Малкинской геофизической партией (Яковенко, 1971г.) на основе ГИС-технологий (рис. 2).

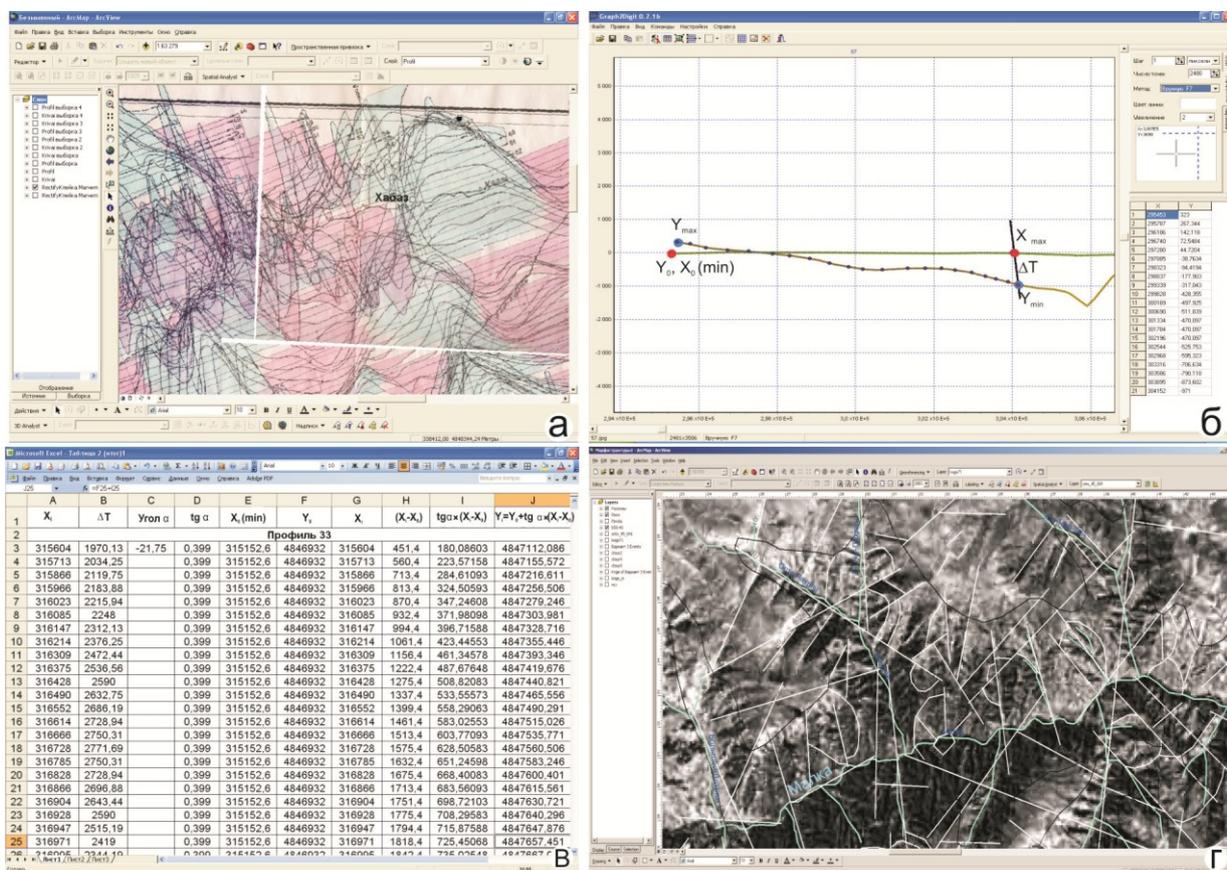


Рис. 2 Последовательность операций ГИС обработки геофизических данных: а – векторизация растрового материала, б – определение  $\Delta T$  в программе Graph2Digit, в – сводная атрибутивная таблица значений, г- выделение разрывных структур по многозональным космоснимкам

Обработка геофизических данных заключалась в векторизации исходных растровых изображений карты графиков  $\Delta T$  (рис. 2а и 2б) путем оцифровки значений  $\Delta T$  для каждой точки геофизического профиля и формированием атрибутивной таблицы (5540 значений) (рис. 2в). Обработка спектральнональных космоснимков проводилась в программной среде ArcGis 9.0 и включала метод цветовых композиций и арифметические операции с различными каналами изображений (рис. 2г).

При компьютерной обработке и проведении формализованных преобразований, выделение нарушений производилось по особенностям поля спектральной яркости.

Выявленные магнитные аномалии обследовались в полевых маршрутах, по коренным обнажениям и горным выработкам предшественников путем геологической документации и замеров магнитной

восприимчивости пород прибором ПИМВ-2, отбором каменного материала и дальнейших минералого-петрографических исследований.

В результате выделены и откартированы в составе Малкинского массива четыре разности ультраосновных апопород, представленные лерцолитами, апогарцбургитами, железистыми апогарцбургитами и аподунитами (рис. 3). Более того, эти породы закономерно расположены в пространстве, образуя петрологическую зональность, связанную с расслоенностью массива. До сих пор о наличии этих пород в составе Малкинского массива говорилось в предположительной форме и ни на одной карте они не были показаны.

**Лерцолиты.** На карте магнитных аномалий лерцолиты выделяются в полосе шириной 0,6 км и протяженностью около 4 км, характеризующейся знакопеременным магнитным полем с диапазоном значений от -400 до +1200 нТл. В ходе полевой заверки в местах этих магнитных аномалий обнаружены коренные выходы лерцолитов. Лерцолиты расположенные в истоках р. Гедмыш приурочены к границе отрицательного и положительного магнитного поля с разбросом значений от -100 до +1200 нТл, для второго тела, расположенного в истоках руч. Мозекей характерны значения от -15 до -400 нТл. Оба выхода ограничены по площади, что связано с их позицией в русловых врезках рек (рис. 3). Лерцолиты представляют собой массивные породы пофировидного сложения темно-зеленого цвета. Основная ткань породы состоит из оливина (10-15 %), ромбического пироксена (10-15 %), моноклинного пироксена (3-6 %), пикотита (2-3 %), магнетита (2 %) и вторичного серпентина (55-60 %). Порфиновые выделения представлены пироксеном и баститом.

Судя по карте локальных магнитных аномалий (рис.4), оба выхода лерцолитов соединяются между собой под мезозойскими отложениями, и продолжают немного далее на юг. Скорее всего, лерцолиты продолжают и на северо-запад в сторону р. Малки. Таким образом, следует ожидать, что видимые фрагменты лерцолитов объединяются и залегают по периферии массива, образуя дугообразное в плане тело, западная часть которого срезана надвигом.

**Нормальные апогарцбургиты** четко выделяются по характерным значениям отрицательного магнитного поля со средней интенсивностью около -400 нТл. Аномалии вытянуты в широтном направлении.

Наибольшая интенсивность поля отмечается в центральной части массива и в наиболее крупных его притоках, т.е. с глубиной возрастает.

На спектрональных снимках в пределах данного типа пород выявляются многочисленные линии близширотного простирания, отражающие разрывные нарушения. Нормальные апогарцбургиты большей частью обнажаются в самых глубоких эрозионных врезках р. Малки и ее наиболее крупных притоков, формируя как бы центральную зону видимой части массива, т.е. они занимают наиболее глубокое положение в первично расслоенном строении массива, располагаясь над лерцолитами (рис. 3 и 4).

Нормальные гарцбургиты характеризуются темно-серым цветом с зеленоватым оттенком. Текстура массивная, участками пятнистая, структура равномерно-крупно-среднезернистая.

Минералого-петрографические исследования показали, что порода на 30-35 % сложена оливином, на 15-20 % - ромбическим пироксеном, на 30-35 % серпентином, на 5-7 % баститом, кроме того содержит пикотит (2-3 %), а также вторичные брусит (3-5 %), актинолит (1-2 %), хлорит (1 %) и магнетит (1-2 %).

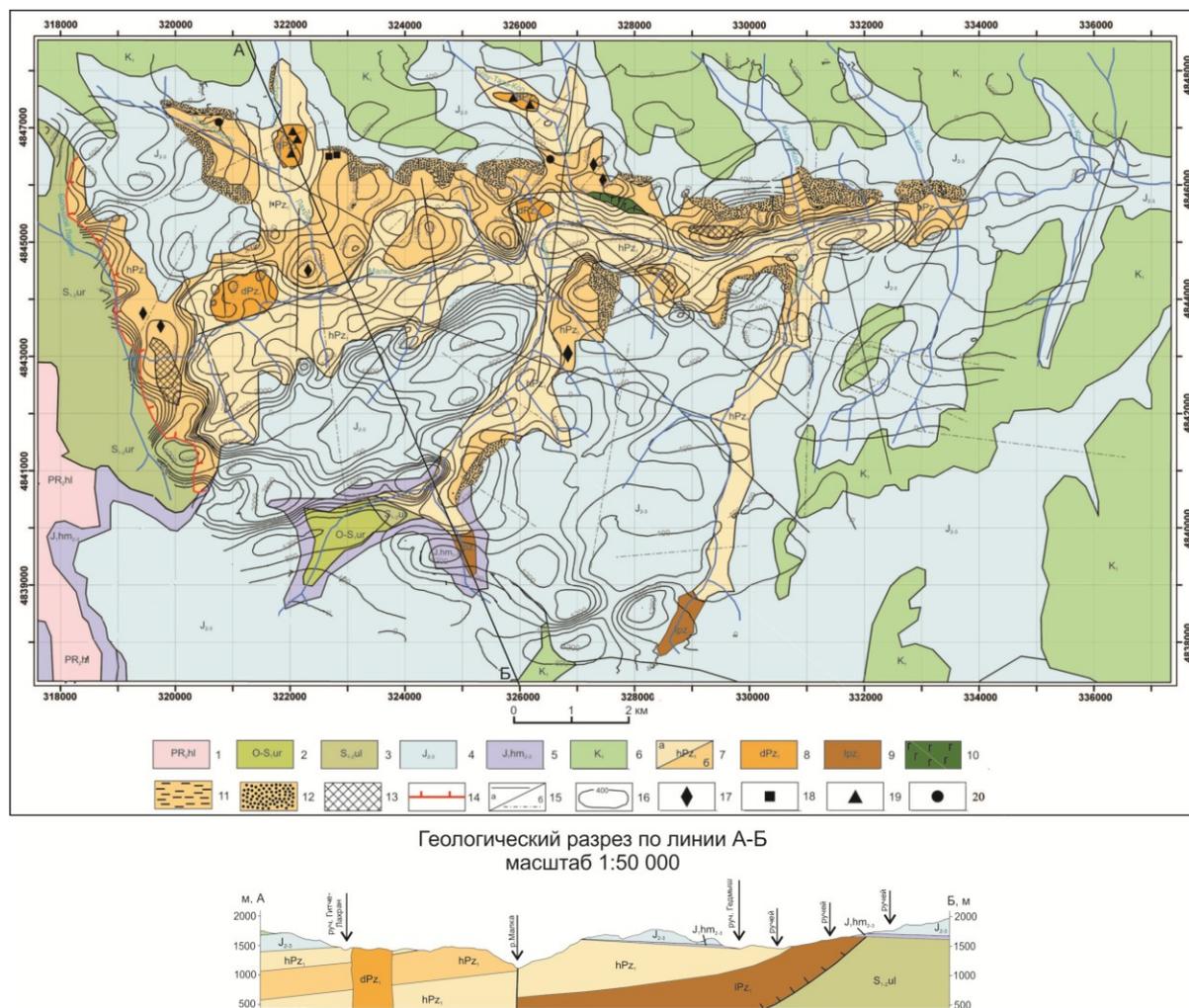


Рис. 3 Геологическая карта и геологический разрез Малкинского массива, масштаб 1:50000.

Составил М.Ю. Маркин

- 1 – порфиroidы, порфиритоиды, конгломераты, алевролиты, кварциты, филлиты; 2 – песчаники, алевролиты; 3 - филлитизированные глинистые и глинисто-алевритовые сланцы, песчаники, кварциты; 4 – средне-верхнеюрские песчано-глинистые отложения; 5 – нижнеюрские песчаники, прослой углей; 6 – известняки, доломиты; 7 - апогарцбургиты (а – нормальные апогарцбургиты и б – железистые апогарцбургиты); 8 – аподуниты; 9 – лерцолиты; 10 – габброиды; 11 - никель-кобальтовые руды; 12 – железные руды; 13 – апогарцбургиты с гидрогроссуляром; разрывные нарушения: 14 – надвиг; 15 – разрывные нарушения (а – установленные, б - предполагаемые); 15 – изолинии локальных магнитных аномалий; полезные ископаемые: 17 – асбест; 18 - медные и свинцово-цинковые руды; 19 – хромитовые руды; 20 – камнецветное сырье

**Железистые апогацбургиты** выделяются повышенными значениями положительного магнитного поля со значениями около +300 нТл. Отмечаются локальные аномалии в виде обширных пятен неправильной формы со значениями магнитного поля от +400 до +800 нТл. В северо-восточной части массива, судя по замкнутым в плане изолиниям площадного фона, на глубине

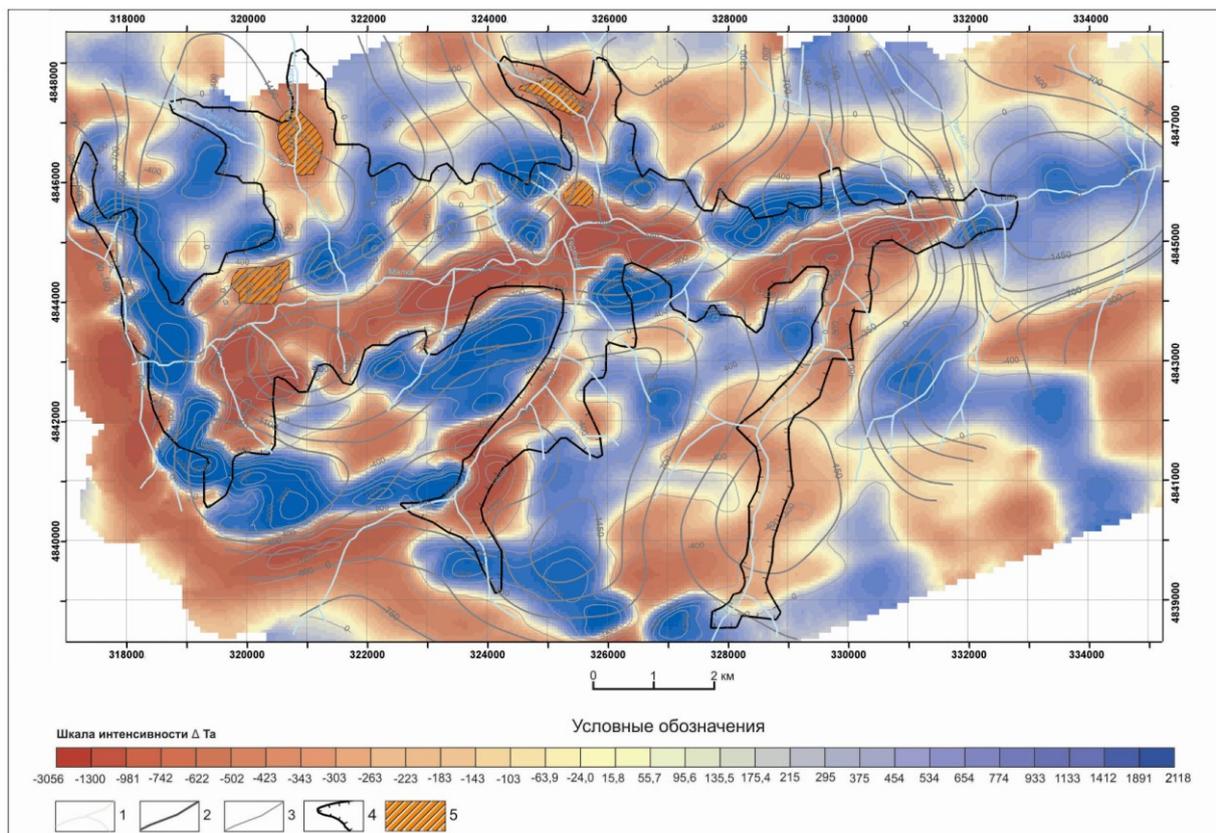


Рис. 4 Карта локальных аномалий и площадного фона магнитного поля  $\Delta T_a$ , масштаб 1:50000. Составил М.Ю. Маркин по данным Яковенко (1971).

1-речная сеть; 2- изолинии локального поля; 3 – изолинии площадного фона; 4 – контур Малкинского ультрабазитового массива; 5 – аномалии представленные аподунитами

находится тело с интенсивностью до +2118 нТл и размером (в плане) около 1,9 км. Аномалии площадного фона наблюдаются в междуречье руч. Гедмыш и Мозекей, размером около 1,5 км и интенсивностью +1600 нТл, руч. Большой Лахран и Орта-Лахран, размером около 2,8 км и интенсивностью +1700 - +1891 нТл. Эти аномалии вытянуты в северо-восточных румбах. По данным обработки спектрозональных космоснимков в полях развития железистых апогацбургитов выявляются небольшие продольные и поперечные разрывные нарушения.

Железистые апогацбургиты темно-зеленые с пятнами и прожилками бурого серпентинита. Контакты с нормальными апогацбургитами нечеткие, расплывчатые. Текстура прожилково-сетчатая, участками пятнистая. Структура равномерная тонко-мелкозернистая. Более крупные прожилки имеют зональное строение. Минеральный состав: серпентин (75-80 %); бастит (15-20 %); хромшпинелид (пикотит) (1-2 %); магнетит (2-3 %); гидроокислы железа (1-2

%). Под микроскопом большая часть породы представлена серпентинитом с петельчатой микротекстурой. По реликтам спайности замещенного пироксена наблюдаются отдельные пластинки магнетита. Интенсивно серпентинизированная порода, в которой оливин и пироксен нацело замещены серпентином определяется как железистый апогарцбургит только по баститовым участкам. Типоморфным признаком, имеющим минерагеническое значение, являются многочисленные нитевидные прожилки магнетита, образовавшиеся в результате высвобождения железа при серпентинизации оливина, а также обильные выделения гидроокислов железа (до 20-25%).

Пространственная позиция железистых апогарцбургитов в некоторой степени связана, прежде всего, с их более высокой позицией в расслоенной структуре массива, а также с узлами пересечения разрывных нарушений различных направлений. Эти разрывы, скорее всего, обеспечили более высокую проницаемость железистых апогарцбургитов и их более интенсивную эпигенетическую проработку.

**Аподуниты.** По результатам переинтерпритации аэромагнитных данных выявлены локальные отрицательные аномалии магнитного поля с интенсивностью от -535 до -860 нТл, образующие на графиках простую плавную вогнутую (в плане замкнутую) линию. Выявлено четыре таких аномалии. Все они проявлены на фоне отрицательного магнитного поля, свойственного нормальным апограцбургитам. На спектрональных космоснимках эти магнитные аномалии отображаются в виде структур радиально-концентрического строения диаметром от 0,15 до 1,2 км.

При полевой заверке в центральных частях этих аномалий обнаружены коренные породы темно-зеленого цвета с прожилково-сетчатой текстурой и мелкозернистой структурой. По наличию зеленовато-коричневых и белесых корочек выветривания и типоморфной тарелкообразной отдельности их можно определить как дуниты. Аподуниты залегают в нормальных апогарцбургитах, обладают изометрической формой в плане и крутыми границами по вертикали. Контакты с вмещающими породами имеют интрузивный характер. Зона приконтактных изменений характеризуется осветлением вмещающих пород, развитием магнетита, в виде тонких нитевидных форм. Визуально диагностируемые хромшпинелиды представлены рассеянной вкрапленностью размером от 0,01 до 2 мм., местами встречаются небольшие шпильки и прожилки. При петрографическом описании под микроскопом выявлена практически полная серпентинизация с образованием петельчатой микротекстуры.

Кроме ультраосновных пород в составе Малкинского массива нами подтверждено наличие выделенных предшественниками габброидов. В ходе полевых исследований в правом борту р. Малка, между руч.Таза-Кол и Мозекей, в непосредственной близости с габброидами нами обнаружены удлиненные тела гранатовых метасоматитов. Минералого-петрографические исследования показали, что гранат представлен гидрогроссуляром. Иногда количество граната достигает нескольких процентов. Это приближает их к родингитам и может свидетельствовать о том, что развивались они за счет изменения пород основного состава в зонах повышенной проницаемости.

Таким образом, установлено, что Малкинский массив обладает вещественно-структурной неоднородностью, выражающейся в наличии четырех петрографических разновидностей пород, претерпевшие эпигенетические изменения различного типа и различной интенсивности. Сочетание отдельных типов пород и тектонических разрывных структур образуют определенные морфоструктуры, а разная степень серпентинизации пород отражается различиями магнитных свойствами, тем самым по-разному проявляясь в магнитном поле.

**Второе защищаемое положение. Размещение различных типов полезных ископаемых Малкинского массива в пространстве предопределено распределением апопород, а их проявление во времени – характером и степенью эпигенетических преобразований.**

Особенностью массива является то, что 80% его площади перекрыто меловыми отложениями сравнительно небольшой (около 100 м) мощности. И только 20% его площади доступно для непосредственного изучения. Именно в этой его части открыты месторождения природно-легированных железных руд, рудопроявления хрома, кобальта и никеля, асбеста и др. Сами ультраосновные породы также выступают в качестве полезных ископаемых (бутовый камень, щебень, облицовочный камень и декоративная крошка), а также высокомагнезиальных минеральных удобрений.

Наиболее интересные в промышленном отношении никель-кобальтовые и железные руды располагаются в основном в северной части массива и в среднем течении руч. Гедмыш. Являясь месторождениями коры выветривания, они избирательно развивались только по железистым апогарцбургитам, которые продолжают далее на север под толщу мезозойских осадочных образований. Следует ожидать, что вместе с ними туда потянутся и названные руды. По результатам ранее проведенных геологоразведочных работ никель-кобальтовые и железные руды коры выветривания подразделяются на остаточные и осадочные (переотложенные) руды. Совместное нахождение бобовых и оолитовых структурных типов железных руд предполагает их формирование в континентальных условиях как непосредственно в коре выветривания, так и путем переотложения в субаэральных условиях и осаждения в водной среде озер и болот. Это подтверждается и неправильной карманообразной формой рудных тел в первом случае, линзообразной и пластообразной – во втором случае. В обоих случаях распространение всех типов никель-кобальтовых и железных руд не выходит за пределы распространения железистых апогарцбургитов. Разности железных руд, которые можно использовать в качестве минеральных пигментов, более всего связаны с развитием переотложенных гематитовых руд с содержанием  $Fe_2O_3$  около 22% и также не выходят за пределы железистых апогарцбургитов.

Проявления медных и свинцово-цинковых руд на левобережье среднего течения руч. Лахран, являясь продуктом синемюр-плинсбахской тектономагматической активизации киммерийской эпохи, избирательно развиваются в железистых апогарцбургитах и коре выветривания по ним в форме сульфидно-

кварц-карбонатных прожилков. В других разностях ультраосновных пород такие прожилки нами не обнаружены и не отмечались предшественниками.

Проявления асбеста известны в среднем течении руч. Таза-Кол, а также в западной части массива в виде прожилков выполнения в сильно измененных железистых апогарцбургитах. Обращает на себя внимание факт пространственной ассоциации их с габброидами и (или) гроссуляровыми метасоматитами по габброидам, что может указывать на формирование асбестовых жил в связи с внедрением габброидов, спровоцировавших значительно более интенсивную серпентинизацию железистых апогарцбургитов, чем в нормальных апогарцбургитах.

Проявления зеленого халцедона отмечается в среднем течении руч. Таза-Кол и истоках руч. Орта-Лахран. Они обусловлены высвобождением свободного кремнезема при автометасоматической серпентинизации также железистых апогарцбургитов.

Все известные проявления хромитовых руд приурочены к телам аподунитов. Хромит концентрируется в форме густой вкрапленности, нодулей, удлиненно-овальных шлиров и жилообразных тел. Именно со скоплениями таких хромитовых выделений в дунитах связаны все известные месторождения платины в ультраосновных породах.

Таким образом, распределение в пространстве различных полезных ископаемых определяется размещением ультраосновных апопород, а именно – асбест, камнесамоцветное сырье, железные, никель-кобальтовые и медно-свинцово-цинковые руды приурочены к железистым апогарцбургитам; хромовые руды и минералы платиновой группы – к аподунитам; нормальные апогарцбургиты могут служить сырьем для производства строительных материалов. Лерцолиты из-за ограниченности их выходов в качестве полезного ископаемого нами не рассматриваются. Проявление во времени различных полезных ископаемых связано с определенными этапами и стадиями геологического развития массива и разновозрастными эпигенетическими изменениями ультраосновных апопород. На стадии раннемагматического расслоения формировались лерцолиты донной части, выше образовались нормальные гарцбургиты, разделенные слоем железистых гарцбургитов. Минерагеническое значение этой стадии заключается не столько в том, что сами ультраосновные породы могут являться полезными ископаемыми в качестве огнеупорного и кислотоупорного сырья, строительных материалов и магниевых удобрений, сколько в расслоении гарцбургитовой магмы на нормальную и железистую составляющие. Именно железистые гарцбургиты оказались подвержены избирательному оруденению на последующей стадии постмагматического автоматасоматоза и последующих этапах киммерийской тектоно-магматической активизации и гипергенеза, а также альпийского гипергенеза. Все это последовательно привело к формированию на субстрате железистых апогарцбургитов бедных магнетитовых, бедных медно-свинцово-цинковых, бедных никель-кобальтовых и рядовых гематитовых железных руд, и в альпийскую эпоху богатых переотложенных гематитовых железных руд.

Таблица. Минерагеническая модель Малкинского ультрабазитового массива

Минерогеническая эпоха	Породы	Лерцолиты	Апогарцбургиты	Железистые апогарцбургиты	Аподуниты
	Этапы и стадии				
Альпийская	Гипергенный, щелочная	?	?	Карбонатизированные апогарцбургиты. <b>Богатые остаточные, осадочные и переотложенные гематитовые руды</b>	?
	Гипергенный, сиалитная	?	Слабая нонтронитизация	Нонтронитовая кора выветривания. <b>Рядовые гематитовые руды, сульфидные никель-кобальтовые руды</b>	?
Киммерийская	Тектоно-магматической активизации	?	Серпентинизация 2	Серпентинизация 2. <b>Медно-свинцово-цинковые прожилковые руды</b>	Серпентинизация 2
	Постмагматического аутометасоматоза	Серпентинизация 1	Серпентинизация 1. <b>Асбест</b>	Серпентинизация 1. <b>Бедные магнетитовые руды, халцедон</b>	Серпентинизация 1. <b>МПГ</b>
Байкальский	Позднее-магматический, интрузивный	?	Сантиметровые зонки закалки в экзоконтактах дунитов		Трубки аподунитов. <b>Хромитовые руды, МПГ</b>
	Ранне-магматического расслоения	Формирование расслоенного массива, состоящего из лерцолитов донной части и переслаивания нормальных и железистых гарцбургитов в верхней части. <b>Огнеупорное и кислотоупорное сырье, бутовый и облицовочный камень, декоративная крошка, щебень, мелиоранты</b>			

Примечание: жирным шрифтом выделены полезные ископаемые

Не менее важным является формирование на позднемагматической интрузивной стадии штоков аподунитов, которые традиционно содержат месторождения хромитов и металлов платиновой группы с последующим их переотложением в условиях постмагматической серпентинизации.

Все это в совокупности с выявленной петрографической зональностью дает возможность прогнозировать наиболее ценные полезные ископаемые, в том числе по геофизическим данным в перекрытой юрско-меловыми отложениями части массива.

**Третье защищаемое положение. Разработана петрохимическая модель Малкинского массива, в соответствии с которой вариации химизма пород и руд укладываются в шесть трендов, два из которых характеризуют процессы ликвации, а четыре – процессы кристаллизационной дифференциации, в совокупности закономерно приводящих к формированию различных ультраосновных пород и связанных с ними различных сульфидных, магнетитовых и хромитовых руд.**

Для выявления петрогенетических закономерностей формирования Малкинского массива и связанных с ним полезных ископаемых проведено петрологическое моделирование на основе разработанной Н.И.Безменом (1992) специально для базит-ультрабазитовых массивов треугольной диаграммы. Основана она на принципе разделения феррических и калиевых компонентов и кремнезема. Поскольку роль кальция в петрогенезисе ультрабазитов двойственна (с одной стороны, он концентрируется вместе с алюминием в составе плагиоклаза, а с другой - накапливается вместе с железом в клинопироксенах), то общее его содержание при моделировании пропорционально разделялось путем расчета на плагиоклазовую и пироксеновую составляющие. Таким образом, каждой из вершин треугольника соответствуют 1 – сумма атомных количеств феррических компонентов ( $Mg+Fe+Mn+Ca^{px}+Cr+Ti$ ), 2 – сумма калиевых компонентов ( $Na+K=Ca^{pl}+Al$ ) и 3 – атомные количества кремния (Si); при этом главные нормативные породообразующие минералы, – оливин (Ol), пироксен (Px), плагиоклазы (Ab, An), кварц (Q), нефелин (Ne), лейцит (Lc), шпинель (Sp), хромит (chm), магнетит (Mt) и др. фиксируются точками на соответствующих сторонах петрохимического треугольника (рис. 5). Соединение соответствующих пар точек дает линии, отражающие последовательность кристаллизации основных минералов, той или иной группы пород. Метод позволяет выявить петрогенетические и рудогенетические тренды, характеризующие направленность минералообразования (в том числе рудообразования) в природных процессах формирования расслоенных массивов, или их частей (в т.ч. процессов внутрикамерной дифференциации расплавов), и определить значимость выявленных трендов как критериев потенциальной рудоносности.

В качестве химико-аналитической основы использованы силикатные анализы исследуемых пород, собранные в отчете о ГДП 200 (Корсаков и др., 2005г.). Содержания оксидов каждого анализа предварительно пересчитаны в атомные количества, сгруппированы по вершинам треугольника, по которым определены их относительные сколическта в %, и помещены в виде

соответствующих каждому конкретному анализу точек в поле треугольника (см. рис. 5). Расположение роев точек сопоставлялось с линиями возможных трендов теоретической модели дифференциации базит-ультрабазитовых массивов Н.И.Безмена (1992).

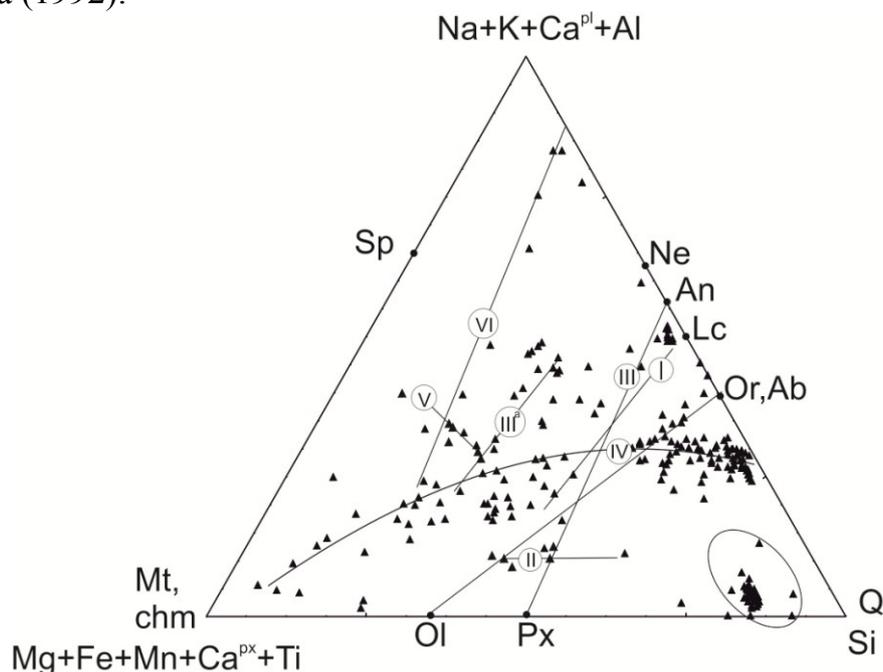


Рис. 5. Петрохимическая модель Малкинского ультрабазитового массива  
 I – тренд внутрикамерного расслоения; II – оливин-пироксеновый тренд; III – пироксенит-габбро-анартозитовый тренд; III<sup>a</sup> - дуниты; IV – гранофир-габбро-гарцбургит- титаномагнетитовый тренд; V – хромитовые руды; VI – тренд, характеризующий постмагматические процессы; овалом в “кремниевом углу” обведены точки гипергенной силицификации

Фигуративные точки составов пород на построенной диаграмме располагаются вдоль тренда скрытого расслоения (I), оливин-пироксенового (II), габбро (III), гранофир-габбро-титаномагнетитового (IV) трендов и тренда отщепления рудных магм хромитового состава (V) и дунитов (III<sup>a</sup>), а также тренда постмагматических процессов (VI), что объясняет геолого-петрографические и минерагенические особенности Малкинского массива. Вялое проявление тренда скрытого расслоения подтверждается слабой расслоенностью массива на близкие по составу лерцолиты и гарцбургиты с автономным ритмичным расслоением последних на нормальные и сильно железистые разности. Крайне низкое распространение основных пород в составе Малкинского массива подтверждается малым количеством точек вдоль линии пироксенит-габбро-анартозитового тренда. Гранофировую часть наиболее четко проявленного гранофир-габбро-титаномагнетитового тренда в геологическом отношении представляют многочисленные мелкие дайки гранофиров от основного до кислого состава, являющиеся остаточными продуктами дифференциации магмы. Титаномагнетитовую часть представляют убогие магнетитовые руды. Достаточно четко выражен тренд отщепления магм хромитового состава из ультраосновного расплава, представленного дунитами (III<sup>a</sup>). Тренд VI характеризует эпимагматические процессы изменений химического состава при серпентинизации апопород.

Таким образом, вариации химизма укладываются в шесть трендов, два из которых описывают процессы ликвации, а четыре – процессы кристаллизационной дифференциации. Они отражают закономерное распределение ультраосновных пород в пределах Малкинского массива связанную с закономерностями магматической и кристаллизационной дифференциации, объясняют слабо проявившуюся первично магматическую расслоенность и концентрацию некоторых полезных ископаемых в определенных зонах интрузива.

**Четвертое защищаемое положение. Наличие потенциально платиноносных аподунитовых штоков в составе исследованного массива, а также установленные в результате петрохимического моделирования оливин-пироксеновый; гранофир-габбро- гарцбургит- титаномagnetитовый и ликвационный тренд отщепления рудных магм хромитового состава, сходные с таковыми Бушвельдского плутона, являются основными предпосылками платиноносности Малкинского массива. Обнаруженные ранее МПГ в аллювии р.Малки и установленные нами геохимические аномалии платины в потоках рассеяния являются прямыми признаками его металлоносности.**

В ходе геолого-геофизических и минералого-петрографических исследованиях в пределах массива установлены аподуниты, слагающие небольшие штоки изометричной в плане формы с крутыми интрузивными контактами. Такие тела известны в пределах Бушвельдского расслоенного комплекса базит-ультрабазитовых пород под названием “дунитовых трубок”. Они распространены довольно широко, а три из них (Онвервахт, Дрикоп и Мойхук) содержат промышленные месторождения платиноидов. Трубка Онвервахт прорывает бронзититы, имеет овальную в плане форму диаметром около 40 м с центральным ядром платиноносного гортонолитового дунита диаметром всего 15 м. Трубка Мойхук диаметром 220 м также имеет ядро гортонолитовых платиноносных дунитов диаметром до 15 м, но расположена в породах основного состава. В трубке Дрикоп, диаметром до 150 м гортонолитовое ядро не выделяется. Тем не менее, промышленная платиноносность сосредоточена в ее центральной части и приурочена к сегрегациям и шлирам гортонолитовых дунитов. Все это позволяет впервые обоснованно говорить о наличии геолого-петрографических предпосылок платинового оруденения, связанного с выявленными по геофизическим данным дунитовыми трубками Малкинского массива.

На основе анализа и специальной обработки современных химико-аналитических данных, с использованием методов петрологического моделирования и сравнительного петрохимического анализа эталонных объектов, а также создания графических пространственных моделей на основе ГИС-обработки и переинтерпретации существующих геолого-геофизических данных, о чем говорилось ранее, нами был проведен сравнительный анализ полученной петрохимической модели массива с эталонными моделями

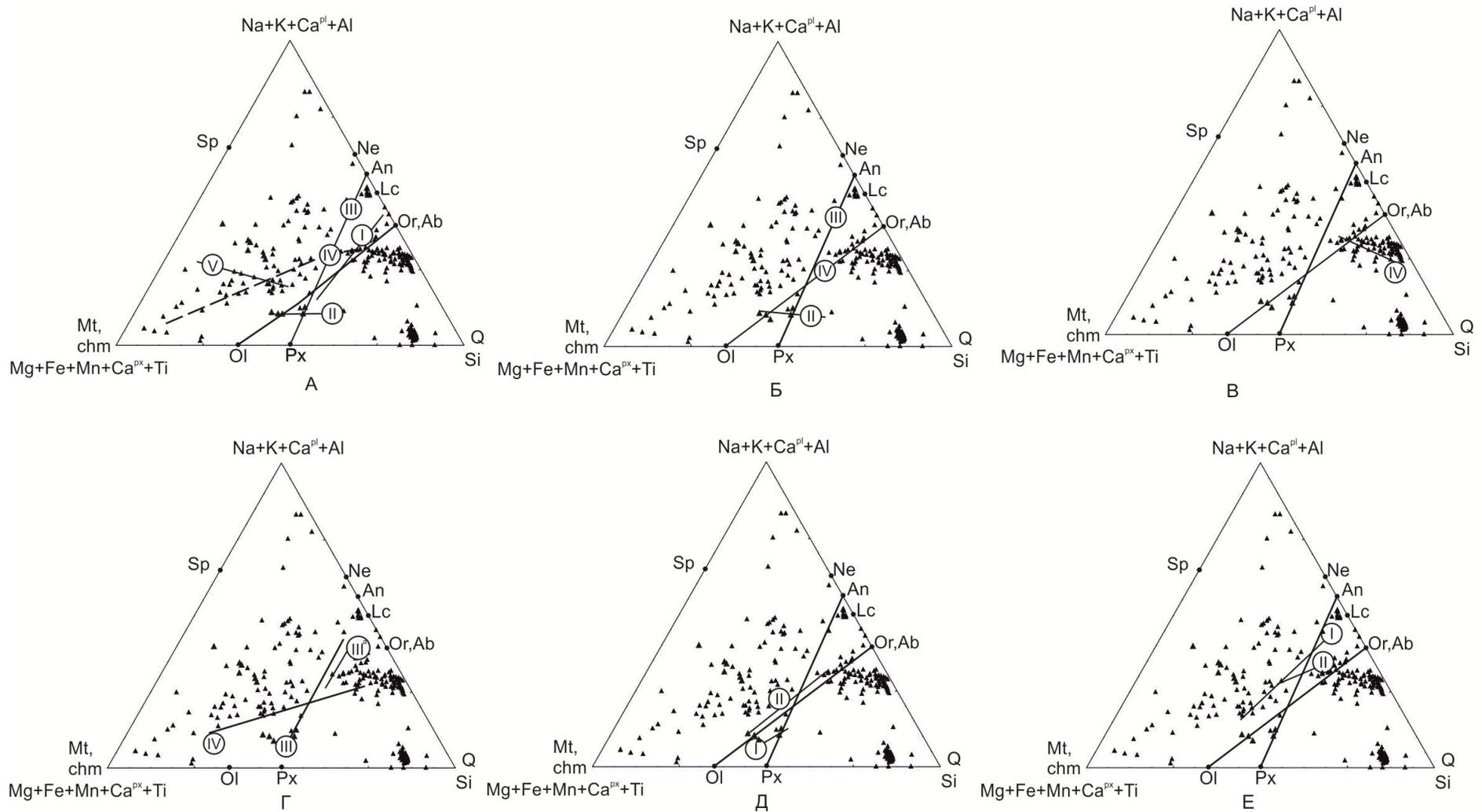


Рис. 6 Положение фигуративных точек химического состава пород Малкинского ультрабазитового массива на петрологических моделях Н.И.Безмена для промышленно платиноносных массивов: Бушвельдский (А), Стиллуотерский (Б), Садберийский (В), Скаергаардский (Г), Печенгский (Д), Галнахский (Е). А. I - первичный тренд внутрикамерального расслоения; II - дуниты, гарцбургиты, бронзититы;

Продолжение рисунка 6. III - P1-бронзит, нориты, анортозиты; IV - гранофиры, габбро, Fe-диориты, магнетитовые руды; V - бронзититы, хромиты. Б. I - первичный тренд скрытого расслоения; II - перидотит-пироксенитовый тренд; III - пироксенит-анортозитовый тренд; IV - Fe-габбро-гранофировый тренд. В. IV - гранофир-Fe-габбровый тренд дифференциации; III - дуниты, троктолиты, P1-верлиты, габбро, плагиоклазиты; Г. IV — гранофиры, ферродиориты, фаялитовое габбро, магнетитовые верлиты. Д. I — Нижняя оливинит-верлит-пироксенитовая зона; II — верхнее Fe-пироксенит-щелочные габбро. Е. I — пикритовые габбро-долериты, троктолиты, O1-габбро-долериты, габбро-долериты; II - габбро-долериты-диориты

мировых платиноносных объектов, созданные Н.И.Безменом (1995). На рис. 6 изображены 6 треугольных диаграмм с соответствующими трендами магматической дифференциации, являющиеся петрохимическими моделями Бушвельдского, Стиллуотерского, Скаергаардского, Садберийского, Талнахского и Печенгского массивов. На все 6 диаграмм нанесены фигуративные точки составов базит-ультрабазитовых пород и руд Малкинского массива. Путем сравнительного анализа расположения этих точек с трендами эталонных объектов установлено, что петрохимическая модель Малкинского массива более всего совпадает с петрохимической моделью Бушвельдского плутона (см. рис. 6А), содержащего месторождения платино-хромитового и платиноидно-титаномагнетитового типов. Это позволяет говорить о наличии петрохимических предпосылок платиноносности изучаемого Малкинского массива.

Несмотря на теоретические предпосылки платиноидности ультраосновных пород по признаку их состава, Малкинский массив до сих пор не оценивался на возможность обнаружения месторождений МПГ. Это связано в основном с отсутствием высокочувствительных, достаточно надежных и относительно дешевых массовых методов определения элементов платиновой группы в горных породах и рудах, позволяющих оперативно оценить перспективы платиноносности обширных территорий геохимическими методами поисков по вторичным ореолам рассеяния. В последнее время такие методы появились. Они основаны на анализе растворенного в «царской водке» королька пробирной плавки на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой, что позволило повысить чувствительность определения Pt, Pd и др. ЭПГ до 0,002 г/т. При относительно невысокой стоимости и оперативности этого метода массовые геохимические поиски МПГ стали реальностью.

Отобранные нами 64 пробы донных осадков рек, размывающих Малкинский массив, проанализированны описанным выше методом в лаборатории Alex Stewart Geo Analytical Ltd (г. Москва) с чувствительностью определения Pt и Pd 2 ppb (мг/т). Статистическая обработка полученных результатов показала наличие аномально повышенных (более 10 мг/т) содержаний Pt в 32% проб (рис. 7).

Максимальные содержания платины (24 мг/т) приурочены к участкам ручьев, размывающих тела аподунитов с прожилками, линзами и шлирами

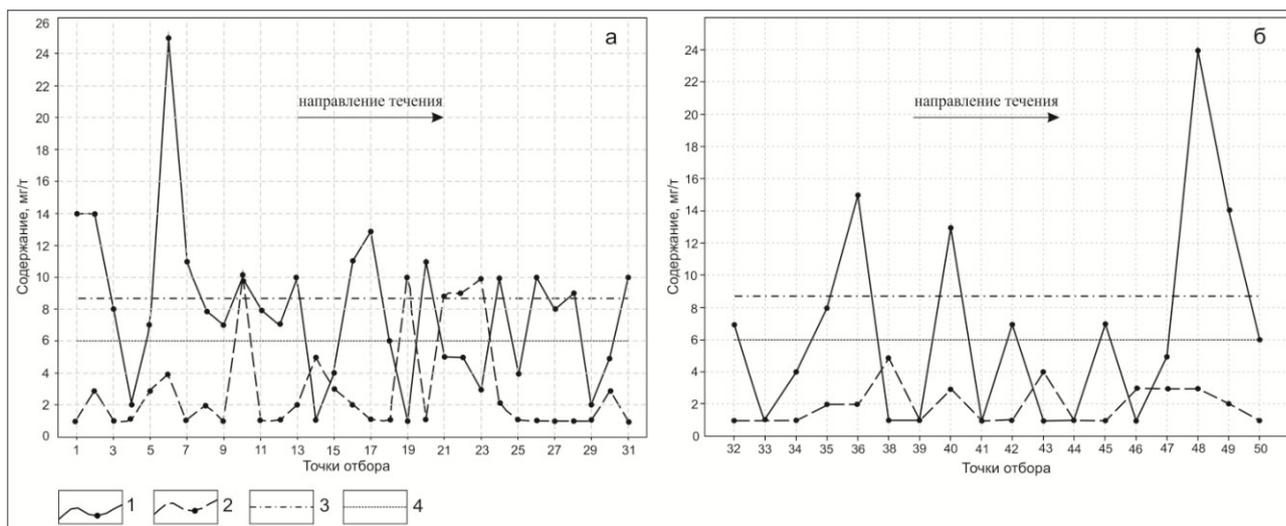


Рис. 7 Результаты определения содержания Pt (1) и Pd (2) в пробах донных осадков по руч Лахран (а) и руч. Таза-Кол (б), 3, 4 – кларки Pt (3) и Pd (4) в гарцбургитах ультрабазитовых массивов

хромшпинелидов, что согласуется с существующими представлениями о повышенной платиноносности дунитов, относительно других ультрабазитов.

Таким образом, полученные данные об аномально повышенных содержаниях платины в потоках рассеяния являются прямым признаком платиноносности Малкинского массива.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным итогом данной работы фактически является обоснование нового концептуального подхода к целевому металлогеническому прогнозированию рудоносности Малкинского ультраосновного массива на основе анализа и специальной обработки современных химико-аналитических данных, с использованием методов петрологического моделирования и сравнительного петрохимического анализа эталонных объектов, а также создания графических пространственных моделей на основе ГИС-обработки и переинтерпретации существующих геолого-геофизических данных.

Скопившиеся за многие десятилетия изучения полезных ископаемых Малкинского серпентинитового массива геологические, геофизические и минерагенические данные, безусловно, несут в себе важную первичную информацию. Поэтому, в ходе диссертационного исследования вся эта информация (в форме пожелтевших отчетов и поблекших графических приложений) была отсканирована и оцифрована, что позволило применить ГИС-методы обработки пространственных данных и получить новые знания о геологических и минерагенических особенностях этого массива.

Наиболее важным результатом такой обработки было выявление петрографической неоднородности Малкинского массива и ее отображение на геологической карте. Так, в ходе оцифровки и последующей компьютерной обработки результатов аэромагнитной съемки 1971 года,

впервые удалось выделить и откартировать в составе Малкинского массива четыре разновидности ультраосновных апопород, которые при заверке отдешифрированных контуров в полевых условиях и последующих петрографических исследований оказались лерцолитами, апогарцбургитами, железистыми апогарцбургитами и аподунитами. Породы закономерно расположены в пространстве, образуя петрологическую зональность в соответствии с первичномагматической расслоенностью.

Нанесение на петрографическую карту известных в пределах массива различных полезных ископаемых показало приуроченность их отдельных видов к определенным разновидностям ультраосновных апопород, анализ их проявления во времени продемонстрировал их связь с проявлением разновозрастных эпигенетических изменений. Все это в совокупности с выявленными нами геофизическими критериями диагностики всех разновидностей ультрабазитов дает возможность прогнозировать наиболее ценные полезные ископаемые в перекрытой мезозойскими отложениями части массива.

Установлено, что лерцолиты и апогарцбургиты образуют обширные площади неправильной формы, а аподуниты представляют собой небольшие штоки столбообразной формы. Такие тела известны в пределах Бушвельдского комплекса и именно с ними связывают богатые платиновые руды. Уже только этот факт позволяет впервые обоснованно говорить о возможном наличии платинового оруденения, связанного с выявленными дунитовыми трубками изучаемого массива.

В диссертации разработана петрологическая модель Малкинского массива, представленная графически в виде треугольной диаграммы с нанесенными на нее фигуративными точками всех известных результатов химических анализов пород массива. На этой модели выявляются все основные тренды магматической дифференциации, подтверждающие эмпирически установленный факт петрографической неоднородности массива и обосновывающие приуроченность железных и кобальт-никелевых руд к железистым апогарцбургитам, а хромитового и платинометального оруденения – к аподунитам. Путем сравнительного анализа с эталонными объектами, выполненного способом последовательного совмещения модели Малкинского массива с моделями шести крупнейших базит-ультрабазитовых комплексов Мира, удалось установить ее сходство с платиноносным Бушвельдским комплексом, что является геологическими и петрологическими предпосылками платиноносности изученного массива.

В ходе исследования была предпринята успешная попытка выявить прямые признаки платиноносности путем определения Pt и Pd в пробах донных осадков. Статистическая обработка результатов показала, что аномально высокие содержания Pt (10-24 мг/т) приурочены к полям развития аподунитов. Полученные данные могут служить основанием для постановки поисковых работ на металлы платиновой группы в пределах Малкинского серпентинитового массива, и локализовать площади для первоочередных геологоразведочных работ. Попутно следует переоценить перспективы

массива на хромовые, железные и кобальт-никелевые руды, а также асбест, цветные камни, мелиоранты и строительные материалы. Суммарная ценность всех видов полезных ископаемых Малкинского массива (или некоторых из них), как и перспективы прироста ресурсов в пределах перекрытой его части может оказаться решающим фактором в оценке перспектив его промышленной значимости.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

***Статьи в рецензируемых научных журналах по списку ВАК:***

1. Парада С.Г., **Маркин М.Ю.**, Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю. Минерагенические аспекты геохимических исследований Малкинского рудного района // Вестник ЮНЦ РАН, Т.7, № 1, 2011. С. 47-58.

2. **Маркин М.Ю.** Предпосылки и признаки платиноносности Малкинского гипербазитового массива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки.-2011.-№3. С. 74-77

***Статьи и тезисы в научных сборниках и трудах конференций:***

3. **Маркин М.Ю.**, Шишкалов И.Ю. Распределение самородной платины в дуните Кондерского массива / Новые идеи в науках о Земле. Материалы VIII Международной конференции. Т.5. М.: 2008.

4. **Маркин М.Ю.** Петрохимические предпосылки платиноносности базит-ультробазитовых массивов Кабардино-Балкарской республики. Проблемы геологии, экологии и рационального природопользования: Материалы VII Международной научно-практической конференции.: г.Новочеркасск, 1 декаб. 2008 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. С. 18-22.

5. **Маркин М.Ю.** Опыт электронно-микроскопического исследования минералов платины Кондерского массива. Международный минералогический семинар «Минералогическая интервенция в микро- и наномир» г. Сыктывкар, 2009 / Институт геологии Коми научного центра РАН, 2009.

6. **Маркин М.Ю.**, Шишкалов И.Ю. Петрохимические особенности платиноносного Кондерского массива. Всероссийская конференция «Чтения памяти академика К.В. Симакова»: г. Магадан, 2009г. / ДВО РАН Северо-Восточный научный центр, 2009. С. 74-76

7. **Маркин М.Ю.**, Холод Ю.В. Вещественно-структурные неоднородности Малкинского гипербазитового массива (Кабардино-Балкарская республика). Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: Материалы VIII Международной научно-практической конференции: г.Новочеркасск, 3 декаб. 2009 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. С. 18-22.

8. **Маркин М.Ю.** Петрохимические предпосылки и геохимические признаки платиноносности Малкинского ультраосновного массива. Материалы II международной научно-практической конференции молодых

ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. г. Санкт-Петербург, 2011. С. 54-57.

9. **Маркин М. Ю.** Геохимические признаки платиноносности Малкинского ультрабазитового массива (КБР). Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы IX Международной научно-практической конференции.: г.Новочеркасск, 20 дек. 2010 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. С. 64-68

10. Парада С.Г., **Маркин М.Ю.**, Шишкалов И.Ю. Особенности размещения хромшпинелидовой минерализации в пределах Кондерского массива и новый подход к поискам платины в дунитах // Всероссийская конференция «Чтения памяти академика К.В. Симакова»: г. Магадан, 2009 г. / ДВО РАН Северо-Восточный научный центр, 2009. С. 132-133

11. Парада С.Г., **Маркин М.Ю.**, Холод Ю.В., Шишкалов И.Ю., Столяров В.В. Целевое минерагеническое прогнозирование рудоносности геологических комплексов на основе новых химико-аналитических данных. Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: Материалы IX Международной научно-практической конференции: г.Новочеркасск, 20 декаб. 2010 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. С. 4-9