

И.С. Чашухин, А.В. Сурганов, Л.Д. Булыкин, В.Г. Гмыра, В.А. Чашухина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТАВА АКЦЕССОРНОГО И РУДООБРАЗУЮЩЕГО ХРОМШПИНЕЛИДА В УЛЬТРАМАФИТАХ АЛАПАЕВСКОГО МАССИВА

Алапаевский массив альпинотипных ультрамафитов площадью около 500 км² располагается в 150–180 км к северо-востоку от г. Екатеринбурга и в 15 км к западу от г. Алапаевска. Является типичным офиолитовым массивом. Сложен преимущественно гарцбургитами и апогарцбургитовыми серпентинитами; дуниты и аподунитовые серпентиниты по площади выходов на поверхность играют подчиненную роль.

На севере массива во внешнем обрамлении габбро развит верлит-клинопироксенитовый комплекс. Ультрамафиты претерпели интенсивный метаморфизм, включающий многоэтапную серпентинизацию и тальк-карбонатизацию. С востока массив ограничен осадочными палеозойскими образованиями, с запада – Мурзинским гранитоидным массивом.

История изучения Алапаевского массива

ва длится более 100 лет и, в первую очередь, связана с поисками месторождений хромитов, а также хризотил- и амфибол-асбеста. Детальному описанию геологии, петрографии и хромитового оруденения массива посвящена монография П.М. Татарина и Г.М. Красновского [1940]. Начиная с конца XIX века были открыты, и частично разрабатывались, многочисленные мелкие месторождения и рудопроявления. Всего их к настоящему времени насчитывается более 80. Рудопроявления по площади массива распределены неравномерно и условно объединены в два рудных поля: Северное и Южное. Преобладают руды, сложенные глиноземистым среднехромистым хромшпинелидом, значитель-

но реже встречены руды с высокохромистым хромшпинелидом, по составу приближающимся к южнокемпирсайским, но беднее последних по запасам и содержанию хромшпинелида.

Авторами, при содействии местных геологов, был собран обширный каменный материал из 23 рудопроявлений и месторождений хромитовых руд. Частично были использованы аналитические данные бывшего Уральского территориального геологического управления МинГео СССР, приведенные в публикации Т.А. Шиловой [1977]. Схема размещения изученных хромитопроявлений приведен рис. 1. Всего отобрано 190 образцов, во всех определена плотность и массовая доля магнети-

та на приборе конструкции А.Е. Рыцка, изучен петрографический состав. В 180 образцах микрорентгеноспектральным методом определен состав хромшпинелида, теодолитно-иммерсионным методом на приборе ППМ-1 рассчитана железистость оливина (около 100 образцов), в 46 образцах методом СРМ проведен силикатный анализ ультрамафитов.

Прежде чем перейти к результатам изучения ультрамафитов и хромитового оруденения Алапаевского массива, следует обосновать использованный авторами подход, основанный на детальном изучении состава акцессорного и рудообразующего хромшпинелида.

Проведенное авторами изучение петрохимии и физических свойств ультрамафитов позволило сформулировать вывод: ввиду мощного проявления постсерпентиновых аллохимических процессов – хризотил-лизардити-

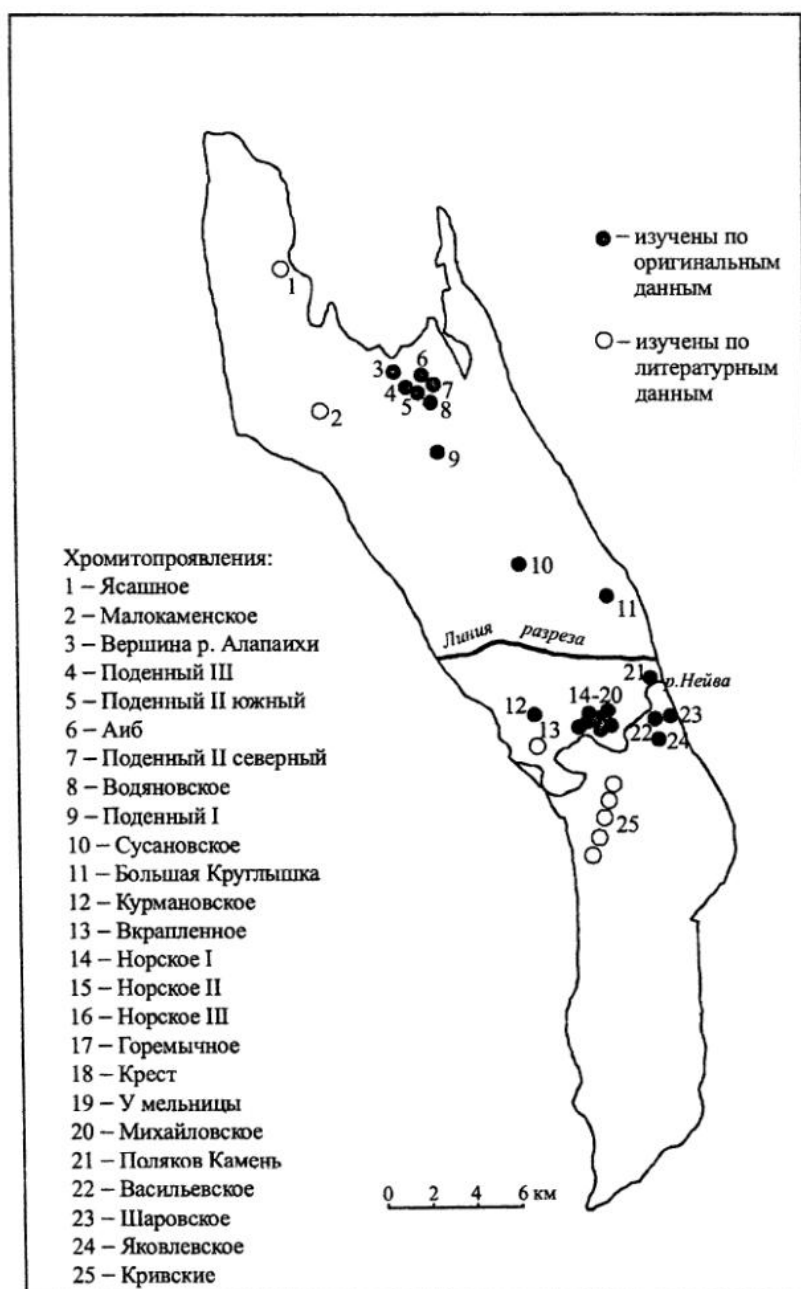


Рис. 1. Схема размещения месторождений и рудопроявлений хромитов в Алапаевском массиве.

зации, антигоритизации, карбонатизации и оталькования, а также поверхностного выветривания, использование состава пород для реконструкции первичного состава ультрамафитов с целью изучения досерпентиновой истории формирования ультрамафитов Алапаевского массива, в том числе хромитообразования, некорректно.

Доказательства аллохимизма метаморфических процессов и поверхностного выветривания ультрамафитов следующие:

1. Выявлено нарушение соотношения массовых долей MgO и SiO_2 в выветрелых гарцбургитах и дунитах и хризотил-лизардитовых и антигоритовых серпентинитах, обусловленное выносом магния.

2. Установлено нарушение отношения $Fe:Mg$ при выветривании ультрамафитов за счет опережающего выноса железа по сравнению с выносом магния. Известно, что величина железистости ($Fe/(Fe+Mg)$) в оливине практически равна таковой в ультрамафите. Однако, в части отобранных с поверхности образцов железистость породы существенно ниже, чем в оливине – разница в их величинах значительно превышает погрешности определений.

3. Обнаружено нарушение первичного соотношения массовых долей глинозема и извести, вызванное выносом CaO . В большей части выветрелых образцов первичных пород и серпентинитов величина этого отношения существенно выше по сравнению с хондритовым и с его вариациями в альпинотипных ультрамафитах мира.

Таким образом, о первичном составе ультрамафитов ряда дунит-гарцбургит по данным петрохимических пересчетов можно судить очень приближенно. Соотношение породообразующих минералов может быть оценено путем количественно-минералогических подсчетов под микроскопом. Однако, этот метод трудоемок и требует изготовления большого количества шлифов. К тому же область его применения ограничена серпентинизированными ультрамафитами, в которых сохранились реликтовые структуры. В антигоритовых серпентинах они исчезают полностью.

Возможным путем решения проблемы является использование состава акцессорного хромшпинелида. Начиная с работ Т. Ирвайна [Irvine, 1967] и Н.В. Павлова, [1968] известно, что он тесно коррелирует с составом вмещающих ультрамафитов ряда дунит-гарцбургит-лерцолит. В последние годы это нашло подтверж-

дение в результате экспериментов по частичному плавлению модельных составов пиролита верхней мантии, хорошо согласующихся с природными наблюдениями. Наш опыт показывает, что состав хромшпинелида, в сочетании с составом пород и геологическими данными, позволяет надежно различать продукты деплетирования и последующих метасоматических и метаморфических преобразования альпинотипных ультрамафитов, включая хромитообразование. Непосредственно для Алапаевского массива важно то, что в ходе наложенных процессов водного метаморфизма, с участием антигорита, хризотила, талька и амфибола, хромшпинель заново не кристаллизуется и, в большинстве случаев, сохраняются реликты ее зерен, по составу которых возможно установить первичный состав минерала и как итог – вмещающей породы. Наиболее информативным представлением особенностей состава хромшпинелидов является использование диаграммы «железистость $[Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)]$ – хромистость $[Cr/(Cr+Al)]$ », предложенной Т. Ирвайном [Irvine, 1967] и широко используемой в современной петрологической литературе. Диаграмма наиболее полно учитывает состав хромшпинели: сумма перечисленных выше элементов составляет более 95%.

Закономерности состава ультрамафитов Алапаевского массива

На основе вариаций состава акцессорного хромшпинелида гарцбургиты могут быть подразделены на слабо- и сильнодифференцированные: если в первых величина хромистости варьирует в относительно узких пределах 50–60%, то во вторых – от 46 до 75% (рис. 2 а). Эти различия подчеркиваются разной железистостью хромшпинелида: при одинаковой хромистости железистость сильно дифференцированных гарцбургитов в среднем на 5% ниже по сравнению с слабо дифференцированными.

Пространственно оба типа гарцбургитов, по-видимому, разобщены. На рис. 3 приведены результаты изучения ультрамафитов массива, вскрытых при проведении автомобильной дороги Нижний Тагил – Алапаевск. Отчетливы видны различия в коэффициенте вариаций состава хромшпинелида, отражающем разную степень дифференцированности вмещающих гарцбургитов разных частей массива: в восточной части разреза она составляет $56\pm 4\%$, в за-

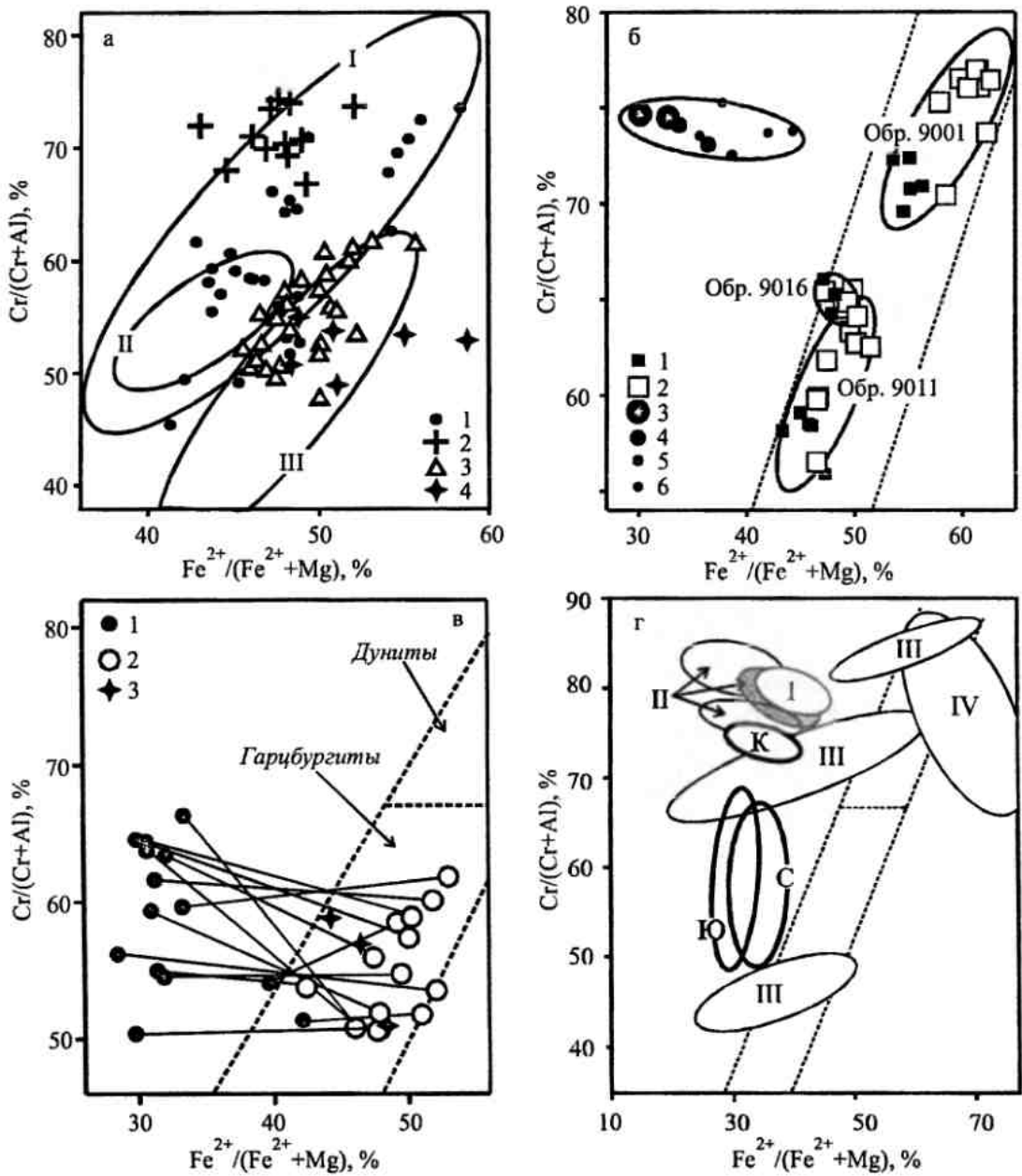
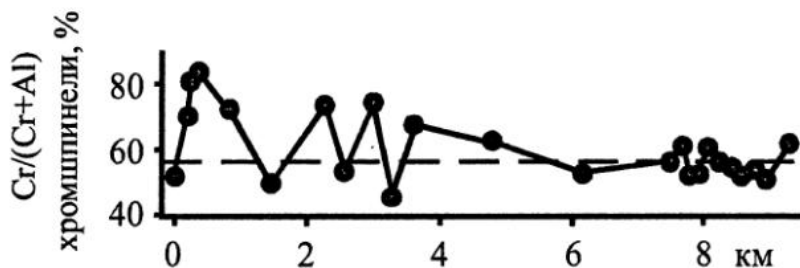


Рис. 2. Закономерности состава акцессорных и рудообразующих хромшпинелей Алапаевского массива.

а. Состав акцессорных хромшпинелей Алапаевского массива в сопоставлении с хромитонесными ультрамафитами Урала. 1–2 – западная часть массива: 1 – гарцбургиты, 2 – дуниты; 3–4 – восточная часть массива: 3 – гарцбургиты, 4 – дуниты. Эллипсы – поля составов хромшпинелей из дунит-гарцбургитовых серий массивов: I–II – Кемпирсайского: I – юго-восточный блок, II – западный блок; III – восточной части Войкаро-Сыньинского. б. Вариации состава акцессорного хромшпинелида из контактов жил дунитов в гарцбургитах и составы рудообразующего хромшпинелида Курмановского месторождения. 1 – гарцбургиты, 2 – дуниты, 3–6 – высокохромистые руды: 3 – густо-, 4 – средне-, 5 – редко-, 6 – бедновкрапленные. в. Средние составы рудообразующих и акцессорных хромшпинелидов из вмещающих глиноземистое оруденение гарцбургитах. Залитые кружки – хромитовые руды, незалитые кружки – вмещающие гарцбургиты, звездочки – дуниты. Коннами соединены составы хромшпинелей из руд и гарцбургитов конкретных рудопоявлений. г. Поля составов рудообразующих хромшпинелей в сопоставлении с составами известных генетических типов. I–IV – поля составов генетических типов руд: I – магматического (Кемпирсай), II – латераль-секреционного (сверху вниз: ГРП Кемпирсая, Рай-Из, Б.Башарт), III – метасоматического [сверху вниз: Зап. Блактай (Кемпирсай), Рай-Из, север Кемпирсая], IV – реакционного (Войкаро-Сыньинский массив). Поля составов руд Алапаевского массива обведены жирными линиями: К – Курмановское м-ние, С – Северное рудное поле, Ю – Южное рудное поле.

Рис. 3. Вариации состава хромшпинелей по широтному разрезу через Алапаевский массив (вдоль дороги Нижний Тагил – Алапаевск).

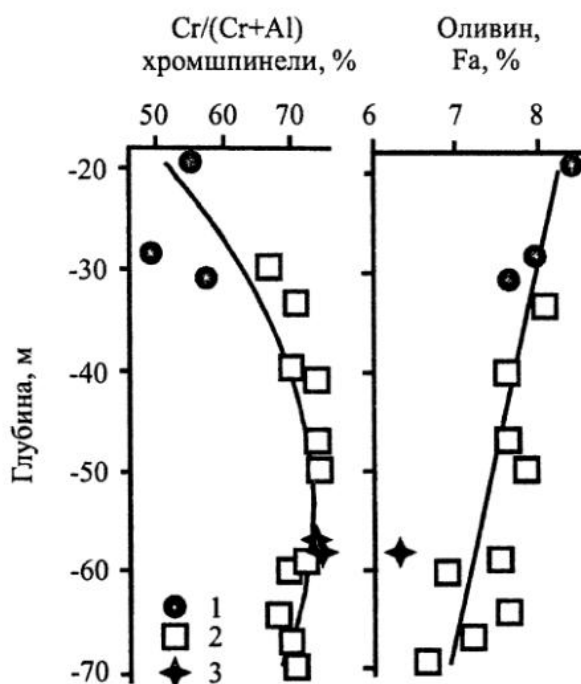


падной – $65 \pm 13\%$. О большей дифференцированности гарцбургитов западной части массива свидетельствуют также данные по составу хромшпинелей из рудовмещающих гарцбургитов. Так, в расположенном на западе массива Курмановском рудопоявлении их хромистость по данным трех образцов варьирует от 55 до 72 % (рис. 2 б), в то время как в многочисленных рудопоявлениях, залегающих в восточной части, хромистость аксессуаров более однородна и составляет 50–60% (рис. 2 в).

Гетерогенность гарцбургитов в пределах массива – явление, характерное не только для Алапаевского массива. Ранее [Чашухин и др., 1994] нами были показаны различия в составе ультрамафитов юго-восточной и северо-западной частей Кемпирсайского массива: первая сложена сильно дифференцированной дунит-гарцбургит-лерцолитовой серией, вторая – слабо дифференцированными гарцбургитами (рис. 2 а). Так как шпинелевые гарцбургиты и лерцолиты альпинотипных комплексов образуются единственным путем – путем магматического истощения вещества верхней мантии (в отличие от дунитов, нередко имеющих метасоматическую природу), различия в их составе фиксируют особенности условий формирования на самых ранних этапах эволюции ультрамафитового вещества. Поскольку продукты магматического деплетирования пиrolита мантии являются источником вещества при формировании хромитового оруденения, особенности их состава в значительной степени определяют состав рудообразующего хромшпинелида и как итог – состав руд.

Дуниты в объеме дунит-гарцбургитового комплекса массива занимают подчиненное положение. Их временные соотношения с гарцбургитами различны. Так, на Курмановском рудопоявлении наблюдаются как постепенные переходы дунитов к гарцбургитам, так и несомненно резкие контакты этих пород, обусловленные постгарцбургитовой природой дунитов. Оба типа дунитов отчетливо различаются по составу слагающих минералов. В качестве примера первого типа дунитов приведем разрез, построенный по керну скв. 9 (рис. 4). Хромистость хромшпинели постепенно увеличивается от 50–60% в гарцбургитах до 65–70% в дунитах, достигая максимума в хромититах (~ 72%). Для этого типа дунитов особенно характерно закономерное снижение железистости оливина от 8–8,5% в гарцбургитах до 6–6,5% в хромититах.

Рис. 4. Вариации состава сосуществующих хромшпинелей и оливина в ультрамафитах Курмановского месторождения, вскрытых скв. 9.
1 – гарцбургиты, 2 – дуниты, 3 – хромититы.



Второй тип дунитов образует секущие жилы и шпильки в гарцбургитах. На рис. 5 приведены данные изучения 12-см микроразреза через контакт жилы дунита в гарцбургите Курмановского месторождения. При одинаковом составе хромшпинели железистость оливина в дуните на 1% выше, чем в гарцбургите, что исключает магматическую природу дунитов. Метасоматическое происхождение дунитов подтверждается явлением унаследованности состава хромшпинели дунитов состава этого минерала в гарцбургитах. Это отчетливо видно из рис. 8: каждому из трех разных составов хромшпинели из гарцбургита соответствует близкий состав хромшпинели из дунита. Из этого следует вывод: масштабы миграции окисленных метасоматических флюидов, приводящих к формированию дунитов, были существенно ограничены, а сам процесс имел локальный характер.

Закономерности состава рудообразующего хромшпинелида

При проведении полевых работ были опробованы рудопроявления и месторождения обоих рудных полей – Северного и Южного. Местоположение изученных хромитопоявлений показано на рис. 1. Для получения представительного материала отбирались образцы руд разной густоты вкрапленности и вмещающих ультрамафитов.

подавляющее большинство известных рудопроявлений содержит руды с глиноземистым (среднехромистым) хромшпинелидом.

Хромитовое оруденение с глиноземистым хромшпинелидом. Результаты рентгеноспектрального анализа хромшпинели приведены на рис. 2 в, г. Вариации ее хромистости в пределах обоих рудных полей примерно одинаковы и составляют 48–67%. В масштабах конкретного хромитопоявления, хромистость хромшпинели, за редким исключением (Поденный II), постоянна, вариации не выходят за пределы погрешности анализа (3%). Для некоторых рудопроявлений Южного поля намечается прямая корреляционная связь хромистости и железистости (Кривки, Норское II, Поляков Камень). Рудообразующие хромшпинели Северного рудного поля заметно более железистые, чем Южного поля (рис. 2 г), что, по-видимому, отражает влияние близрасположенного тела габбро.

Сопоставление состава рудообразующей глиноземистой хромшпинели Алапаевского массива с составами хромшпинели известных месторождений Урала приведено на рис. 2 г. В координатах «железистость-хромистость» эта шпинель занимает сектор с хромистостью от 50 до 65%. Конкретные хромитопоявления в нем занимают определенное положение. С учетом погрешности анализов в сумме они образуют серию параллельных линий, характеризующих прямую зависимость между железистостью и хромистостью: по мере снижения концентрации железа в хромшпинели закономерно увеличивается содержание глинозема при параллельном уменьшении хрома: картина, типичная для метасоматических глиноземистых руд севера Кемпирская и ряда высокохромистых

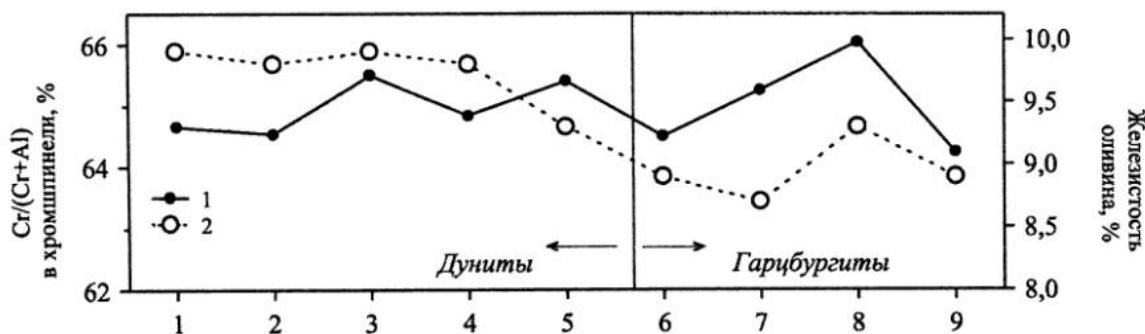


Рис. 5. Вариации состава сосуществующих хромшпинелей и оливина на контакте жилы метасоматического дунита в гарцбургите Курмановского месторождения (обр. 9001)

1 – хромшпинель, 2 – оливин. Длина образца 15 см.

рудопроявлений Рай-Иза и юго-восточного Кемпирсая [Чашухин, 1999]. Однако свойственная им прямая зависимость между железистостью и густотой вкрапленности здесь не прослеживается (возможно, из-за недостатка аналитических данных).

Главная особенность состава рудообразующих глиноземистых хромшпинелей Алапаевского массива – его тождество составу аксессуарных хромшпинелей из непосредственно вмещающих гарцбургитов (рис. 2 в). Засорение гарцбургитов рудообразующим хромшпинелидом здесь исключено, так как контакты рудных тел с вмещающими породами резкие. За редким исключением, конноды, соединяющие в координатах «хромистость-железистость» составы рудообразующих и аксессуарных хромшпинелей, образуют систему параллельных горизонтальных линий. Это свидетельствует, во-первых, о ведущей роли процесса метаморфической дифференциации при формировании оруденения, во-вторых – о локальном характере этого процесса, не выходящего за пределы конкретных рудопроявлений. По-видимому, дуниты второго типа и глиноземистое оруденение – ветви единого процесса трансформации гарцбургитов.

Хромитовое оруденение с высокохромистым хромшпинелидом. Наиболее полные данные по составу рудообразующего хромшпинелида получены по Курмановскому месторождению, расположенному в западной части массива. В координатах «железистость-хромистость» рудообразующие хромшпинели представляют серию с обратной зависимостью между этими параметрами (рис. 2 г). Такой тренд типичен для промышленных месторождений высокохромистых руд альпинотипных комплексов Урала и мира. Поля составов хромшпинелей некоторых из этих месторождений показаны на рис. 2 г. Сходство курмановских руд с кемпирсайскими усиливается, если сопоставить составы хромшпинелей с густотой вкрапленности: в обоих случаях по мере улучшения качества руды железистость хромшпинелей постепенно уменьшается, хромистость увеличивается (рис. 2 б).

Приведенные выше данные о составе сосуществующих хромшпинелей и оливина в разрезе Курмановского месторождения показали постепенный характер перехода от дунитов к хромититам (рис. 4). Вскрытая скв. 9 хромитит-дунитовая серия, по мнению авторов, аналогична хромитит-дунитовой серии месторож-

дения «Геофизическое XII», разведанного в северной части Главного рудного поля Кемпирсайского массива: там в интервале глубин 0–400 м дуниты с несколько повышенной вкрапленностью хромшпинелида постепенно сменяются сначала убого-, а затем редковкрапленными высокохромистыми рудами. Более богатых по содержанию хромшпинели руд там обнаружено не было. Составы самой хромшпинели, и сосуществующего оливина, с глубиной и по мере улучшения качества руд изменяются точно так же, как в скв. 9. Закономерное уменьшение железистости оливина и хромшпинели, а также увеличение густоты вкрапленности к забою скважины в сочетании с данными окситермобарометрии позволили нам, вслед за А.Г. Бетехтиным, сделать вывод о магматической природе дунит-хромититовых серий [Коротеев и др., 1997]. По-видимому, есть основания предполагать аналогичное происхождение бедных руд Курмановского месторождения.

Густо- и средневкрапленные руды Курмановского месторождения сформировались, по-видимому, несколько позже дунит-хромититовых серий. Механизм их образования скорее всего аналогичен тому, который привел к формированию промышленных руд Главного рудного поля Кемпирсайского массива.

Метаморфизм руд. Под действием гранитной интрузии Алапаевский массив вместе с хромитовым оруденением испытал интенсивный водный и углекислый метаморфизм зеленосланцевой фации. Он выразился в широком развитии по породам дунит-гарцбургитового комплекса антигоритовых и хризотил-лизардитовых серпентинитов, тальковых и карбонатных пород. Метаморфизм проходил в условиях повышенного потенциала кислорода, при которых хромшпинель частично, редко полностью, замещалась магнетитом. Изучение образцов руд под микроскопом показало, что руды испытали два типа метаморфизма. В ходе первого хромшпинель превратилась в тонкозернистый агрегат зерен хлорита и Ст-магнетита согласно реакции: хромшпинелид+ранний серпентин (+оливин)+вода→Ст-хлорит+Ст-магнетит. Для Алапаевского массива это наиболее интенсивное преобразование хромшпинели – в некоторых образцах нами наблюдалось полное замещение рудного шпинелида (например, в рудопроявлениях Поляков Камень, Сусановское, Шаровское, в блоке Уступчатый на месторож-

дении Верховья р. Алапахихи). Аналогичные явления нами наблюдались в оталькованных гарцбургитах и дунитах Войкаро-Сыньинского и Райизского массивов на Полярном Урале. Второй тип метаморфизма хромшпинели выражен в обрастании ее в хризотил-лизардитовых серпентинитах, или замещении с краев зерен и по трещинкам в антигоритовых, магнетитом. Масштабы проявления этого типа метаморфизма в целом незначительные.2

Для прохождения представленной выше обменной реакции помимо окисляющего флюида необходимо присутствие силикатных фаз. Поэтому можно было предположить, что чем богаче руды, тем интенсивность метаморфизма хромшпинели должно быть ниже. Действительно, проведенные нами систематические определения содержаний магнетита показали правильность этого предположения.

Выводы

1. В строении Алапаевского массива принимают участие два типа гарцбургитов – слабо- и сильнодифференцированные; первые распространены в восточной части массива, вторые – в западной.

2. Хромитовое оруденение Алапаевского массива гетерогенно. Есть основания выделять магматогенный, латераль-секреционный и метасоматический типы оруденения.

3. Магматогенное оруденение с высокохромистым хромшпинелидом приурочено к западной части массива и входит в состав дунит-хромититовых серий, которые пространственно (возможно, генетически) связаны с сильнодифференцированными гарцбургитами. В слабодифференцированных гарцбургитах восточной части они не обнаружены.

4. По-видимому, дунит-хромититовые серии были основным источником вещества, сформировавшим богатые высокохромистые руды латераль-секреционные типа.

5. Метасоматическое хромитовое оруденение обнаружено в обеих частях массива и связано с процессами метаморфической дифференциации, выразившейся в локальной метасоматической дунитизации и хромититизации. Приурочено, прежде всего, к слабо дифференцированным гарцбургитам, поэтому представлено, в основном, глиноземистыми (среднехромистыми) хромититами.

6. Выявлены пространственные вариации состава глиноземистого оруденения в пределах массива: при одинаковой хромистости рудообразующий хромшпинелид Северного рудного поля имеет большую железистость по сравнению с Южным. По-видимому, повышенная железистость первых объясняется близостью их к метадунит-верлит-клинопироксенитовой серии – продукту взаимодействия габбро с рудоносным дунит-гарцбургитовым комплексом.

7. Метаморфическая дифференциация гарцбургитов спровоцирована изменениями геодинамической обстановки, зафиксированными в смене редокс-состояния системы.

8. Под действием гранитной интрузии Алапаевский массив вместе с хромитовым оруденением испытал интенсивный водный и углекислый метаморфизм зеленосланцевой фации в условиях повышенного потенциала кислорода.

9. В силу локальности процессов метаморфической дифференциации гарцбургиты Алапаевского массива продуктивны на обнаружения относительно небольших по масштабам месторождений глиноземистых руд, что и подтверждается многолетней историей его изучения. Представляется перспективным продолжение использования геофизических методов поисков – гравиметрии и магнитометрии. При достаточной детальности работ наиболее богатое глиноземистое оруденение должно проявиться при сочетании пониженного магнитного и повышенного гравиметрового физических полей. Для обнаружения новых объектов с высокохромистым оруденением необходимо составить кондиционную геологическую карту масштаба 1:50000 массива с детализацией его западной части с целью поиска рудоносного комплекса кемпирсайского типа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 01-05-96444, 00-15-98517.

Список литературы

Коротеев В.А., Чащухин И.С., Волченко Ю.А. Развитие представлений А.Г. Бетехтина о генезисе хромитового оруденения в альпинотипных ультрамафитах // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях: Тез. докл. Международн. симп. М. 1997. С. 272–273.

Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чукрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968. 178 с.

Татаринов П.М., Красновский Г.М. Алапаевская интрузия ультраосновных пород на Урале и ее месторождения хромистого железняка // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 120. М.-Л: Госгеолыздат, 1949. 140 с.

Чащухин И.С., Волченко Ю.А., Уймин С.Г., Неустроева И.И. Новые данные по геологии и рудоносности северной части Кемпирсайского массива // Ежегодник-1993 ИГиГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. С. 143–146.

Чащухин И.С. Хромиты // Месторождения полезных ископаемых Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. С. 51–63.

Шилова Т.А. О хромшпинелидах Алапаевского массива // Минералогия и геохимия гипербазитов Урала. Минералогический сборник № 13. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. С. 33–45.

Irvine T.N. Chromium spinels as a petrogenetic indicator. II, Petrological applications // Canad. Journ. Earth Sci. 1967. V. 4. P. 71–103.