

КРИТЕРИИ РЕГИОНАЛЬНОГО И ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ХРОМИТОНОСНОСТИ ПОДИФОРМНЫХ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ МАССИВОВ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

А.Н.Юричев

Томский государственный университет,
г. Томск

Рассмотрены критерии региональной и локальной оценки потенциальной хромитоносности ультрамафитовых массивов складчатых областей. Охарактеризована зависимость оруденения и его масштабов от формационного типа хромитоносных пород, строения и размеров массива, тектонической обстановки формирования и пострудной тектоники. Показаны связь хромитового оруденения с химизмом оливина, сопоставимость составов рудного и аксессуарного хромшпинелидов.

Ключевые слова: ультрамафиты, хромшпинелиды, оценка хромитоносности, прогнозные критерии оруденения, химизм оливинов и хромшпинелидов.

В настоящее время вопросы формирования и концентрации хромитового оруденения в ультрамафитовых (частично мафит-ультрамафитовых) массивах и разработка критериев их хромитоносности имеют первостепенное практическое значение. Среди геолого-промышленных типов месторождений хрома выделяются стратиформные месторождения в расслоенных ультраосновных массивах платформенных областей, месторождения подиформных ультраосновных массивов складчатых поясов и имеющие ограниченное распространение россыпные месторождения (доля в общем балансе мировых запасов 0,1%).

Стратиформные массивы размещаются на древних архейско-протерозойских щитах и приурочены к зонам глубинных разломов, возникающих в этап постплатформенной тектоно-магматической активизации. Они – ведущие в мировом масштабе: на их долю приходится ~82% мировых разведанных запасов хромитовых руд и ~80% мировой добычи товарной руды. Хромитовые руды данного типа формируют ма-

ломощные (от первых сантиметров до 1,8 м) пластообразные выдержанные по простиранию залежи, которые залегают согласно общей псевдостратификации массива. Анализ особенностей структуры, текстуры, минерального и химического составов пород, слагающих стратифицированные массивы, их возрастных и пространственных взаимоотношений показывает, что эти гетерогенные массивы являются полиформационными, включают в нижних частях породы дунит-гарцбургитовой формации с хромитовым оруденением, верхних – породы дунит-клинопироксенит-габбровой формации с титаномагнетитовым, платиновым и Cu-Ni оруденением. Уникальные по запасам месторождения данного типа – Бушвельдский массив (ЮАР), Великая Дайка (Зимбабве), рудное поле Каттак (Индия), Стиллуотер (США) и др. – отличаются значительными запасами, но в большинстве случаев руды в них по составу низкосортные (среднехромистые железистого типа), менее качественные, чем хромиты из ультрабазитов складчатых областей [2, 10].

Месторождения подиформного типа пространственно и генетически связаны с офиолитовыми мантийными ультрабазитами, располагающимися в виде поясов в пределах складчатых областей различного возраста. Крупнейшие в мире гипербазитовые пояса установлены в палеозойских складчатых комплексах Уральской (Салатимско-Кемпирсайский, Серовско-Невьяновский, Алапаевско-Татищевский, Полтавско-Киембайский, Джетыгаринско-Аккаргинский и др.) [4, 10], Казахстанской, Тянь-Шаньской и Алтае-Саянской складчатых областей. Известны гипербазитовые пояса в мезокайнозойских складчатых комплексах Альпийско-Гималайской складчатой области, массивы которых вмещают наиболее значительные хромитовые проявления Греции, Албании, быв. Югославии, Болгарии, Турции, Пакистана, а также Кавказа. В общем балансе мировых запасов хромитовых руд доля их относительно невелика (16,5–17,0%), однако для России именно они имеют важнейшее значение, являясь объектами добычи высококачественных хромитовых руд, пригодных для использования в металлургической промышленности. Помимо этого, внимание к объектам данного типа резко возросло после распада СССР, когда крупнейшие в мире хромитовые месторождения в офиолитовых комплексах Южного Урала отошли Казахстану и Россия столкнулась с острым дефицитом хромитового сырья. Автором путём обобщения результатов собственных петрологических исследований (структурные и петроструктурные особенности, вещественный состав пород и руд) ультрамафитовых массивов Урала (Сыум-Кей, Кемпирсайский, Нижнетагильский), Западного и Восточного Саян (Калнинский, Эргакский, Оспинский, Идарский), Тувы (Агардагский) и материалов других исследователей предпринята попытка систематизации накопленного материала с раскрытием новых аспектов прогнозирования хромитового оруденения и его качества в подиформных ультрамафитовых массивах складчатых областей.

Геологическое обоснование прогноза хромитовых месторождений включает прежде всего учёт закономерностей размещения оруденения, контролируемых условиями его образования и пострудными процессами, которые могут внести кардинальные изменения в его количественный и качественный состав, а также существенно изменить параметры первичной мор-

фологии. Проведённый автором анализ петрологических исследований с привлечением литературных источников по проблемам хромитоносности позволяет выделить две главные группы критериев: региональные и локальные.

Критерии регионального прогноза. Ведущие инструменты регионального прогноза хромитовых месторождений – формационный анализ ультрамафитов и определение их геотектонической позиции. В строении офиолитовых ультрабазитов выделяются четыре формационных комплекса: лерцолитовый, гарцбургитовый, дунит-гарцбургитовый и стоящий несколько «особняком», но относимый автором сюда же – дунит-клинопироксенитовый. При этом наиболее ранними комплексами по Г.М.Савельевой являются лерцолитовый и гарцбургитовый: первый – в лерцолитовом, второй – в гарцбургитовом типе офиолитов [15].

Лерцолитовый комплекс образуется в процессе спрединга океанического дна в зонах срединно-океанического хребта (СОХ) с низкой скоростью [9, 36] и не хромитоносен. Гарцбургитовый комплекс формировался в зонах СОХ с умеренной и высокой скоростью спрединга, что позволяло мантийному диапиру подниматься выше (до глубин 15–20 км), чем в случае с лерцолитовым комплексом. На таких глубинах выплавление базальтов прекращалось, а повышенная вязкость мантийного материала под воздействием динамометаморфизма приводила к смятию гарцбургитов в крупные складки и развитию генетически связанных со складчатостью зон пластично-сколовых деформаций, наиболее интенсивно проявившихся в осевых частях складок. Сброс давления в зонах деформаций был причиной частичного плавления здесь гарцбургитов с появлением рудно-силикатного расплава. После удаления последнего из остаточного тугоплавкого рестита формировались штокообразные дунитовые тела, которые фиксировали пространственное размещение зон деформаций и их размеры. Перемещение и локализация рудной части расплава также происходили по зонам сколово-пластичных деформаций и пространственно связаны с телами дунитов.

Дунит-гарцбургитовый комплекс (с высокой дунитовой составляющей, ~60% и более) возникал по ультрабазитам гарцбургитового и лерцолитового комплексов в ходе их предвари-

тельного дополнительного деплетирования в пределах надсубдукционного мантийного клина островных дуг [1, 10, 35]. Механизм формирования и локализации дунитов и рудных тел в целом близок к рассмотренному выше. При этом в ядерных частях складок образовывались штокообразные дунитовые тела, окружённые сложно построенным комплексом гарцбургитов со шлирово-полосчатыми выделениями дунитов (количество последних постепенно уменьшается в сторону от основного дунитового тела), а на крыльях складок развивались полосовидные и вытянутые линзовидные дунитовые тела в гарцбургитах, которые фиксировали линейно-плоскостной тип деформаций.

В качестве дополнительного параметра дифференциации породных ассоциаций на гарцбургитовый и дунит-гарцбургитовый комплексы автором предлагается использовать петрохимический. Породы первого комплекса обладают низкой степенью истощённости, повышенным содержанием Al_2O_3 и Cr_2O_3 в пироксенах, второго – высокой степенью истощения литофильными компонентами, низким содержанием пироксенов и их крайней обеднённостью Al_2O_3 , Cr_2O_3 и щелочами.

Дунит-клинопироксенитовый комплекс формировался по ультрабазитам рассмотренных выше комплексов в пограничной зоне между корой и мантией в пределах островных дуг. Его образование связано с процессами магматического замещения и глубокого истощения мантийных ультрабазитов под воздействием магматических расплавов клинопироксенитового состава, а также процессов метаморфизма и тектонического расслаивания пород мантии [10, 11]. Данная формация представлена Платиноносным поясом на Урале (Хабарнинский, Ключевской, Нижнетагильский массивы, Россия) и в Юго-Восточной Аляске. Здесь хромитовое оруденение встречается только в массивах, где широко развиты дуниты. По составу оно характеризуется значительной степенью окисленности и повышенной общей железистостью, но во многих случаях отвечает требованиям металлургической промышленности. Однако масштабы оруденения чаще всего ограничены, а массивы даже при большом объёме дунитов преимущественно не хромитовые, но имеют исключительное значение как платиноносные объекты [14, 37].

Определение формационной принадлежности исследуемого объекта позволяет из четырёх означенных комплексов «отбраковать» лерцолитовый и дунит-клинопироксенитовый в разряд бесперспективных на обнаружение промышленного хромитового оруденения. Оставшиеся характеризуются наличием хромшпинелидового оруденения, отличающегося по химическому составу: гарцбургитовый комплекс – глинозёмистая, дунит-гарцбургитовый – высокохромистая магнезиальная специализация.

Мантийные ультрабазиты слагают нижние части меланократового основания офиолитовых разрезов. Их выдвижение на поверхность могло происходить по крупным зонам надвигов и тектонических разломов в процессе коллизии островных дуг с континентами и микроконтинентами. В этом случае полнота и степень сохранности офиолитовых разрезов и хромитовых мантийных ультрабазитов зависят от типа и величины вмещающей тектонической структуры, а также от последующей геотектонической эволюции, которая может привести к резкому усложнению их морфологии. Данное обстоятельство выдвигает геотектонический фактор также в число важнейшего при региональной оценке потенциала хромитовосности.

Анализ размещения гипербазитовых поясов различных складчатых областей мира позволил выделить три типа поясов [6], каждому из которых присущи свои размеры, степень раздробленности, характер и степень метаморфизма гипербазитовых масс и хромитовосность слагающих пояса массивов. Отмечается следующая закономерность в распределении перспектив в отношении хромитового оруденения по массивам ультрабазитов, приуроченным к различным зонам складчатого пояса:

- наиболее перспективны ультрабазитовые пояса, сложенные крупнейшими массивами, залегающими в зоне сочленения эвгеосинклинали с крупными жёсткими структурами высшего порядка (платформа, щит). Особенно перспективны участки среди выступов древних толщ. Таким массивам свойственны максимальная потенциальная хромитовосность, высокая степень сохранности морфологии и качества вмещаемых руд;
- менее перспективны пояса, окаймляющие срединные массивы эвгеосинклиналей. Они сложены прерывистыми цепочками относи-

тельно небольших по размерам массивов ультрабазитов, тектоническая переработка и степень метаморфического преобразования которых проявлялись по-разному. При благоприятном исходе здесь можно ожидать обнаружение сравнительно небольших по размерам залежей высококачественных хромитовых руд;

- наименее перспективны ультрабазитовые пояса, состоящие из коротких цепочек мелких тел, приуроченных к внутренней части одной крупной структуры складчатой области (антиклинориям и антиклиналям синформных структур). Породы таких массивов обычно интенсивно деформированы и преобразованы процессами метаморфизма, что приводит к отсутствию в них сколько-нибудь значимых по масштабам промышленных месторождений даже низкокачественных хромитовых руд.

Пояса двух первых категорий представляют несомненную практическую ценность. Поэтому при выявлении в них даже единичных или мелких массивов зоны их развития должны тщательно исследоваться для обнаружения не установленных ультрабазитовых тел.

Критерии локального прогноза. Включают прямые и косвенные структурные, петрографические, морфологические, петрохимические и минералогические признаки, по которым можно спрогнозировать состав и масштабы оруденения. Структурно-петрографические критерии характеризуют локализацию хромитового оруденения в породах, занимающих определённое место в разрезе массивов. Для рассматриваемых нами продуктивных на хромовое оруденение гарцбургитового и дунит-гарцбургитового формационных комплексов такие породы – дуниты. Автором прослежено два геоморфологических типа оруденения: сегрегационное вкрапленно-полосчатое и инъекционное линзовидное.

Первый тип представлен полосовидными рудными телами, являющимися ареалами распространения бедной рудной вкрапленности (с преобладанием редковкрапленных разностей), имеющими полосчатое строение. Контакты рудных тел обычно постепенные, согласные с простираемостью вмещающих дунитов. Нередко такие тела имеют зональное строение, обусловленное структурно-морфологическими особенностями:

от апикальных к центральным частям увеличивается густота вкрапленности в рудах с укрупнением зёрен хромшпинелидов. Рудопроявления первого типа обладают малыми запасами хрома, технологически относятся к трудноизвлекаемым и не представляют практического интереса.

Второй геоморфологический тип – это линзовидные рудные тела, сложенные богатыми густовкрапленными, нодулярными и сливными хромитовыми рудами, которые тяготеют к зонам сколово-пластичных деформаций и пространственно связаны с телами дунитов. Они залегают субсогласно по отношению к границам вмещающих пород или ориентированы согласно с зонами деформаций. Внутреннее строение линзовидных тел относительно однородное, реже – неоднородное, с проявлением зональности, обусловленной приуроченностью более богатых руд к контактовым частям линз, в то время как центральные сложены относительно бедными вкрапленными. В дунитовых телах дунит-гарцбургитовой формации отдельных ультрабазитовых массивов Урала ранее отмечен смешанный геоморфологический тип оруденения в результате наложения руд инъекционного типа на руды сегрегационного [11].

По мнению автора, в изменении морфологии рудных тел наибольшую роль играет орогенная стадия развития подвижных поясов. В этот период происходит выдвигание массивов ультрабазитов в верхние горизонты земной коры, вследствие чего по их периферии возникает оторочка из нацело дезинтегрированных и серпентинизированных пород. Залежи хромитов, первоначально приуроченные к данным частям массивов, уничтожаются, разделяясь на серии мелких разрозненных гнездообразных скоплений. Месторождения внутренних частей массивов обычно затрагиваются тектоническими процессами в меньшей степени, для них становится характерным блоковое строение, обусловленное проявлением сдвиговой тектоники, причём амплитуды смещения могут достигать до 30–50 м.

Петрохимический критерий основан на различиях химического состава рудовмещающих дунитов и дунитов, удалённых от рудных тел на значительное расстояние или безрудных. Так, с приближением к хромитовым телам в дунитах понижаются концентрации Fe, Co и Mn при

увеличении содержаний Ni, достигающего в отдельных случаях трёхкратного превышения над фоновым.

Минералогические критерии в настоящее время – одни из важнейших среди данной группы критериев, используемых для поисков хромитового оруденения, и заключаются в закономерном изменении составов породообразующего оливина с приближением к рудным телам и рудообразующего и акцессорного хромшпинелида в зависимости от качественного состава месторождений хромовых руд и степени проявления наложенных процессов метаморфизма. Автором в изученных реститовых ультрамафитовых массивах прослежено, что в дунитах с повышенной концентрацией хромшпинелида железистость оливина может уменьшаться до 2–3% фаялитовой молекулы. Также отмечена тенденция в снижении степени железистости оливина по мере приближения к хромитонесущим зонам (рис. 1). Подобная минералогическая особенность для массивов Полярного Урала, наряду с показателем преломления n_g породообразующего оливина, также снижающегося при приближения к рудному телу, отмечалась ранее А.Б.Макеевым и Н.И.Брянчаниновой [5] и выделялась ими в качестве поискового признака для скрытого хромитового оруденения, залегающего в первых десятках метрах от поверхности эрозионного среза.

Качественный состав хромшпинелидов, как показали исследования автора, также подвержен закономерным изменениям в зависимости от расстояния до основного рудного тела и густоты вкрапленности (для вкрапленных руд) (рис. 2), размеров рудного тела (для массивных и сливных руд), и определяется характером пострудных процессов, затронувших массив ультрабазитов. К таким преобразующим агентам можно относить метаморфизм и тектоническое дробление. С.В.Москалева [6] рассматривала данные агенты в качестве главных факторов прогноза хромитонесущести территории, основываясь на том, что при интенсивном их проявлении хромовые руды разубоживаются и уничтожаются. Однако проведенные позднее исследования не позволяют категорично согласиться с таким выводом [11, 12, 16, 26–31].

Доказано, что метаморфизм рудных хромшпинелидов обусловлен главным образом кинетическим фактором, выражающимся в сокра-

щении интенсивности и степени завершённости метаморфических процессов при увеличении густоты вкрапленности хромитового оруденения и размеров рудных тел [13]. Как показывают практические наблюдения, акцессорные хромшпинелиды и бедновкрапленные руды достаточно интенсивно метаморфизуются [7, 12, 26–28]. При увеличении густоты вкрапленности, начиная со средневкрапленных руд, степень воздействия метаморфизма существенно понижается, а метаморфизм густовкрапленных и сливных руд выражается только в незначительном повышении железистости в краевых частях тел, при этом руды практически полностью сохраняют качественный состав и промышленные свойства (см. рис. 2).

Данная особенность с учётом степени воздействия наложенных метаморфических процессов позволяет впоследствии спрогнозировать состав и технологическую сортность скрытых рудных залежей по составу неизменённого акцессорного хромшпинелида, который более широко распространён в ультрамафитах. Анализ изменения состава шпинелидов от «свежих» образцов к полностью преобразованным, а также изучение зональных зёрен шпинелидов позволили автору проследить две эволюционные стадии их преобразования (рис. 3). Первая стадия связана с высокобарическим динамометаморфизмом и включает процессы деформаций, скупчивания океанической литосферы и её аккреции на пассивную окраину континента, в результате чего формируются крупные тектонические пластины, распространяются складчато-надвиговые и шарьяжные дислокации, линейные зоны высокобарического метаморфизма. На данной стадии происходят вынос из шпинелидов Al и Mg, накопление Cr, Fe и Mn.

В результате выноса из рудных хромшпинелидов магния и значительного количества алюминия возрастают их железистость и хромистость. Содержание хрома в метаморфизованных хромшпинелидах может увеличиваться до 15 мас. % и достигать в рудах глинозёмистого типа 57 мас. %, а в рудах высокохромистого 64 мас. %. Таким образом, на первой стадии происходит естественное «облагораживание» хромшпинелидов. Развитие такого механизма «облагораживания» подтверждено экспериментальными исследованиями [18, 32] и находками минералов высоких и сверхвысоких давле-

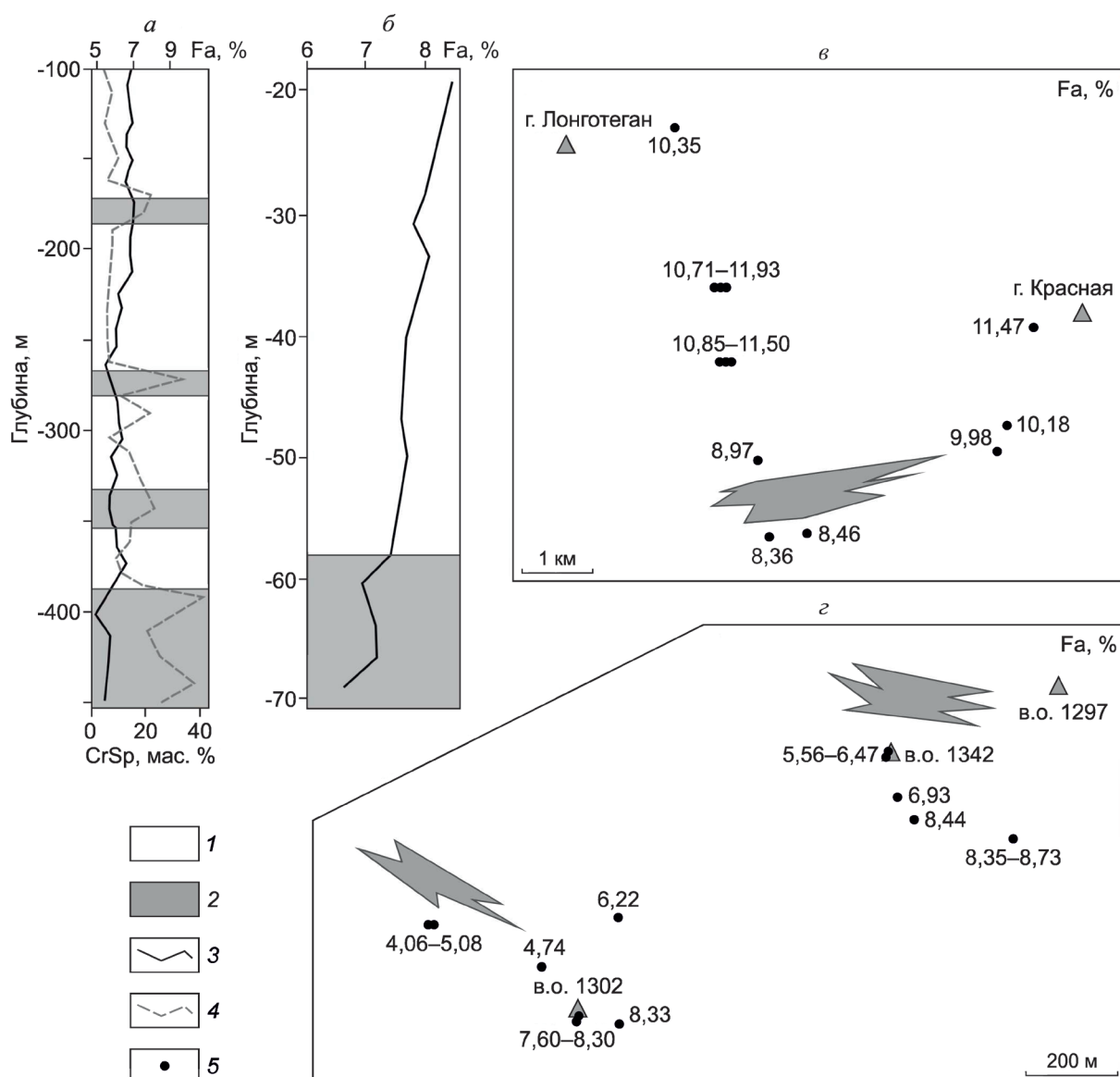


Рис. 1. Вариации состава оливина по горизонтали и латерали в зависимости от концентрации хромшпинелидов и приближения к хромитонесным зонам:

а – хромитит-дунитовая серия Кемпирсайского массива (Урал, Казахстан); *б* – Курмановское месторождение Алапаевского массива (Урал, Россия); *в* – Харчерузский массив (Полярный Урал, Россия); *з* – Агардагский массив (Тыва, Россия) (с использованием данных И.С.Чашухина [19, 20]); 1 – дуниты, гарцбургиты; 2 – рудная зона, хромититы; 3 – изменение фаялитовой молекулы в оливине, $Fa = [Fe / (Fe + Mg)] \cdot 100\%$; 4 – изменение массовой доли хромшпинелида в породе; 5 – места отбора пробы на микроанализ (пять определений по каждому образцу с последующим усреднением значения)

ний (алмаз, карбиды кремния, псевдоморфы октаэдрического оливина, корунд, циркон, гранат и др.) в хромититах ультрамафитовых массивов Полярного Урала [17, 33].

Вторая стадия связана с процессами наложенного прогрессивного регионального и кон-

тактового метаморфизма и приводит к преобразованию, перекристаллизации хромшпинелидов с выносом из них Al, Mg и Cr при накоплении Mn и окислении закисного железа в окисное. Пострудный метаморфизм низких ступеней выражается, как правило, в серпентинизации вме-

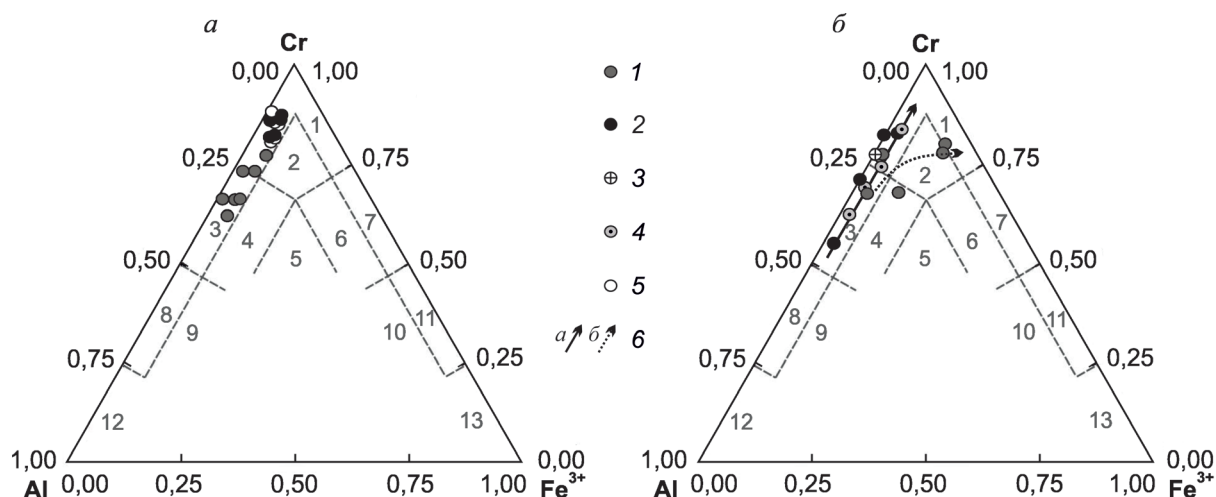


Рис. 2. Составы акцессорных и рудных хромшпинелидов в породах Харчерузского (а) и Агардагского (б) ультрамафитовых массивов и их зависимость от густоты вкрапленности на классификационной диаграмме Н.В.Павлова [8]:

хромшпинелиды по степени вкрапленности: 1 – акцессорные вкрапленные, 2 – густовкрапленные, 3 – нодулярные, 4 – сливные, 5 – густовкрапленные рассланцованные; б – тренд преобразования составов хромшпинелидов под действием высокобарического динамометаморфизма (а), наложенного прогрессивного регионального и локального метаморфизма (б); шпинелиды: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит

щающих ультрабазитов с появлением лизардита. Качество руд при этом не претерпевает изменения и магнетит не образуется. При прогрессивном региональном или локальном метаморфизме по вмещающим вкрапленное оруденение дунитам возникают серпентиниты антигоритового и хризотилового составов (штубахиты, войкариты и т.д.) с обильным выделением магнетита. Качество вкрапленных руд в зависимости от густоты вкрапленности (о чём говорилось выше) ухудшается вследствие образования на месте хромита его железистых разновидностей (феррохромит, хроммагнетит) и хлорита, вплоть до полной потери их промышленной ценности. Нами отмечено резкое возрастание степени метаморфизма хромитовых руд при интенсивном тектоническом дроблении маломощных рудных тел, особенно сложенных бедновкрапленными рудами.

Приведённые примеры показывают, что установление формационного типа хромитоносных пород и геотектонической обстановки их залегания – одна из главных задач при прогнозировании хромитового оруденения промышленного масштаба в офиолитовых ультрабази-

тах. Выделяются два типа потенциально хромитоносных разрезов, в составе которых распространены дуниты и известны хромитовые месторождения, приуроченные к ним. Первый – гарцбургитовый структурно-вещественный комплекс с дайковыми дунитовыми телами, характеризующимися хромовым оруденением глинозёмисто-магнезиальной специализации. Второй (наиболее перспективный) – дунит-гарцбургитовый структурно-вещественный комплекс с высокой дунитовой составляющей (>60%) и высокохромистым оруденением.

К самым перспективным относятся гипербазитовые пояса, сложенные крупнейшими массивами дунит-гарцбургитовой формации, залегающими в зоне сочленения эвгеосинклинали с крупными жёсткими структурами высшего порядка (платформа, щит). При этом в пределах таких массивов наиболее перспективны участки с преобладанием дунитов или близких к ним по составу дунит-гарцбургитов, причём имеет значение не только суммарный объём дунитов, переслаивающихся с перидотитами или иными породами, но и значительная ширина отдельных дунитовых полос.

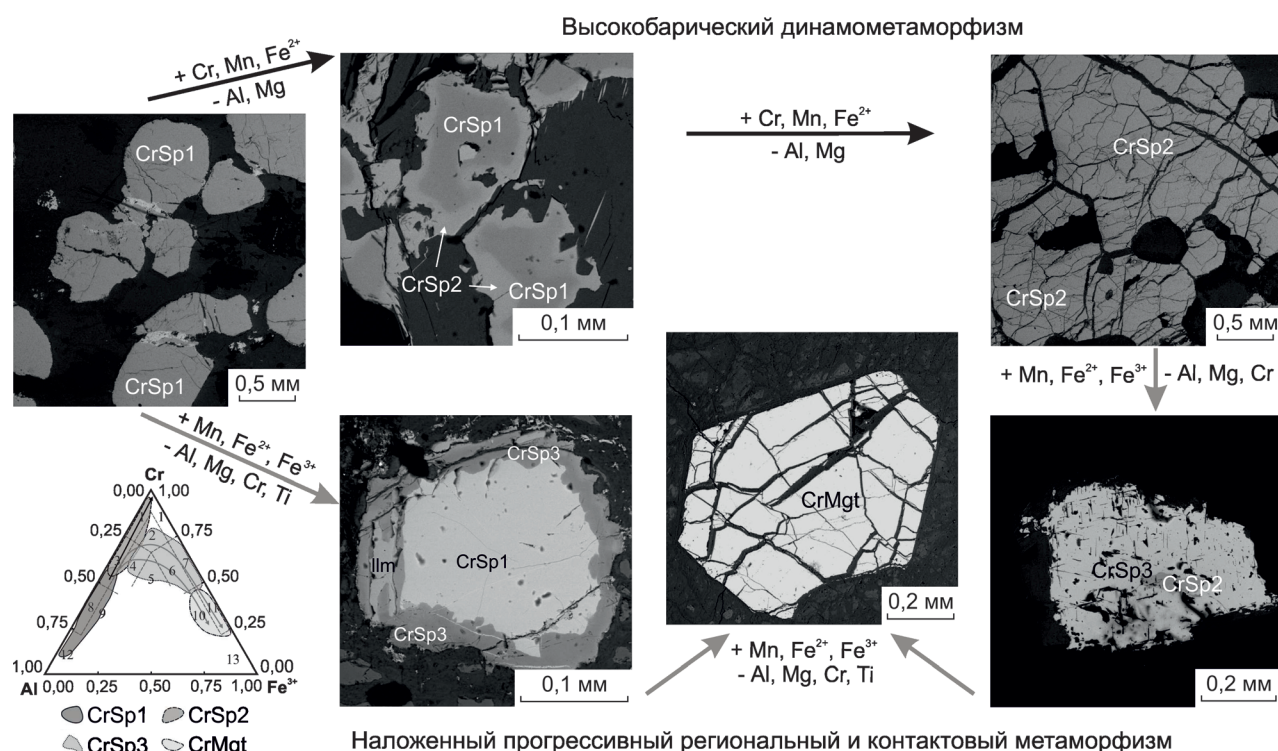


Рис. 3. Схема метаморфизма акцессорных и рудных хромшпинелидов из офиолитовых ультрабазитов. На врезке – области распространения выделенных хромшпинелидов на классификационной диаграмме Н.В.Павлова [8]:

CrSp – хромшпинелид; CrMgt – хроммагнетит; Ilm – ильменит; номера шпинелидов см. рис. 2

Выявление положения, прогнозирование размеров, морфологии и качества рудных тел в массивах конкретных формаций определяется локальными критериями прогноза, основанными на структурных, петрографических, петрохимических и минералогических особенностях. При анализе степени локализации жильных тел хромитов в исследуемом объекте, а также выяснении роли и интенсивности тектонического фактора хорошо зарекомендовали себя методы петроструктурного анализа [3, 21–25, 34], однако последние используются относительно ограниченно в связи с трудоёмкостью.

Критерии сохранности оруденения и его качественного состава определяются характером пострудных процессов, к главным из которых относятся пострудная тектоника и метаморфизм. Хромитовые тела сохраняют первоначальную форму в участках массива, не подвергшихся тектонической переработке, дроблению. В противном случае, происходят будинаж рудных тел,

образование мелких разрозненных линз. Благоприятно для обнаружения значительных концентраций высококачественных хромитовых руд отсутствие или слабое проявление наложенных метаморфических преобразований – диопсидизации, фельдшпатизации, серпентинизации антитигоритовой фации, хлоритизации. При наложении же сильного прогрессивного регионального или локального метаморфизма происходит снижение качества руд, вплоть до полной потери их промышленной ценности во вкрапленном типе руд.

Хромовые руды офиолитовых ультрабазитов характеризуются исключительно сложными условиями локализации, что затрудняет прогноз хромитового оруденения и оценку ресурсного потенциала. И хотя научные исследования последних нескольких десятилетий позволили изучить закономерности локализации хромитового оруденения и создать научную методическую основу для оценки ресурсного потенциала

путём применения региональных и локальных критериев прогноза, относиться к последним надо с определённой осторожностью. Прогноз хромитового оруденения в любом случае носит вероятностный характер, и исключительное значение для его достоверности имеет степень изученности исследуемых ультрабазитовых массивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белова А.А., Рязанцев А.В., Разумовский А.А., Дегтярев К.Е. Раннедевонские надсубдукционные офиолиты в структуре Южного Урала // Геотектоника. 2010. № 4. С. 39–64.
2. Варлаков А.С. Генетические особенности хромитового оруденения и прогнозные критерии // Хромиты Урала, Казахстана, Сибири и Дальнего Востока: Мат-лы семинара по оценке перспектив хромитоносности ультраосновных массивов. М., 1974. С. 21–35.
3. Гончаренко А.И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1989.
4. Казанцева Т.Т. Гипербазитовые пояса и геодинамика Урала // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 1. С. 35–43.
5. Макеев А.В., Брянчанинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. – СПб.: Наука, 1999.
6. Москалева С.В. Гипербазиты и их хромитоносность. – Л.: Недра, 1974.
7. О явлениях метаморфизма хромшпинелида хромовых руд на примере Урала. Верхне-Уфалейская группа месторождений и Качкинское месторождение / О.А.Толканов, В.П.Чернобровин, В.Н.Осиповских и др. // Вестн. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Металлургия. Челябинск, 2005. № 3. С. 3–12.
8. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. ГИН РАН. 1949. Вып. 103.
9. Перевозчиков Б.В. Закономерности локализации хромитового оруденения в альпинотипных гипербазитах (на примере Урала) // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. М., 1995. Вып. 7.
10. Перевозчиков Б.В. Тектоническая позиция хромитоносных базит-ультрабазитовых комплексов Урала // Литосфера. 2011. № 4. С. 93–109.
11. Перевозчиков Б.В., Набиуллин В.И. Методические основы оценки ресурсного потенциала хромовых руд офиолитовых ультрабазитов // Вестн. Пермского ун-та. Геология. 2007. № 4. С. 91–105.
12. Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т. Природа вариаций состава рудной и акцессорной хромшпинели ультрабазитового массива Сыум-Кей (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 4. С. 32–39.
13. Пучков В.Н., Штейнберг Д.С. Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
14. Пушкарев Е.В., Аникина Е.В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. 2007. № 3. С. 28–65.
15. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре // Тр. ГИН АН СССР. М., 1987. Вып. 404.
16. Селиванов Р.А. Условия локализации хромитового оруденения в ультрамафитовых массивах: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Екатеринбург, 2011.
17. Суставов С.Г., Вахрушева Н.В. Хромовый рутил в хромититах Енгайской площади массива Рай-Из // Вестн. УрО Российского минералогического общества. 2010. № 7. С. 159–162.
18. Туркин А.И., Соболев Н.В. Пироп-кноррингитовые гранаты: обзор экспериментальных данных и природных парагенезисов // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 1506–1523.
19. Чашухин И.С. Генетические типы хромитовых руд в альпинотипных ультрамафитах // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: Мат-лы III Междунар. конф. Екатеринбург, 2009. Т. 2. С. 252–255.
20. Чашухин И.С., Вотяков С.Л. Ультрамафиты Алапаевского массива (Средний Урал): петрология, геохимия, хромитоносность // Литосфера. 2012. № 4. С. 140–157.
21. Чернышов А.И. Ультрамафиты: пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность. – Томск: Чародей, 2001.

22. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Петроструктурная эволюция ультрамафитов Калнинского хромитового массива в Западном Саяне // Геотектоника. 2013. № 4. С. 31–46.
23. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. 2016. № 2. С. 62–77.
24. Шмелев В.Р. Гипербазиты массива Сыум-Кеу (Полярный Урал). Структура, петрология, динамометаморфизм. – Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991.
25. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. – М.: Наука, 1990.
26. Юричев А.Н. Акцессорные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 30–34.
27. Юричев А.Н. Акцессорные шпинелиды как инструмент реконструкции термодинамических параметров кристаллизации // Руды и металлы. 2014. № 5. С. 32–36.
28. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326. № 2. С. 61–69.
29. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 42–50.
30. Юричев А.Н., Чернышов А.И., Кульков А.С. Рудная минерализация Агардагского ультрамафитового массива (Республика Тыва) // Изв. ТПУ. 2013. Т. 323. № 1. С. 130–136.
31. Aswad K.J.A., Aziz N.R.H., Koyi H.A. Cr-spinel compositions in serpentinites and their implications for the petroctonik history of the Zagros Suture Zone, Kurdistan Region, Iraq // Geological magazine. 2011. Vol. 148. P. 802–818.
32. Brey G.P., Doroshev A.M., Giris A.V., Turkin A.I. Garnet-spinel-olivine-orthopyroxene equilibria in the FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ system: I. Composition and molar volumes of minerals // Eur. J. Mineral. 1999. Vol. 11. № 4. P. 599–617.
33. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural / J.Yang, W.Bai, Q.Fang et al. // Geology in China. 2007. Vol. 34. P. 950–953.
34. Karato S-I. Deformation of Earth Materials. An Introduction to the Rheology of Solid Earth. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
35. Melcher F., Grum W., Thalhammer T.V., Thalhammer O.A.R. The giant chromite deposits at Kempirsai, Urals: constraints from trace element (PGE, REE) and isotope data // Mineral. Depos. 1999. Vol. 34. № 3. P. 250–272.
36. Ophiolites of the Southern Urals Adjacent to the East European Continental Margin / G.N.Savelieva, A.Ya.Sharaskin, A.A.Saveliev et al. // Tectonophysics. 1997. Vol. 276. P. 117–137.
37. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: a genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones / T.Auge, A.Genna, O.Legendre et al. // Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 707–732.

Юричев Алексей Николаевич,

кандидат геолого-минералогических наук

juratur@sibmail.com

CRITERIA OF REGIONAL AND LOCAL PREDICTION OF CHROMITE ORE POTENTIAL IN PODIFORM ULTRAMAFIC MASSIFS OF FOLDED REGIONS

A.N.Yurichev

Criteria of regional and local evaluation of chromite ore potential in ultramafic massifs in folded regions are reviewed. Mineralization and its dependence on formational type of chromite-bearing rocks, structure and spatial dimensions of massifs, tectonic setting during formation of massifs and post-ore tectonics are characterized. Relation of chromite mineralization with chemistry of olivine, comparable compositions of ore and accessory chromespinellides are shown.

Key words: ultramafites, Cr-spinels, assessment of chromite ore potential, predictive criteria of ore mineralization, chemistry of olivines and chromespinellides.