ЛИТОСФЕРА, 2011, № 5, с. 80–92

УДК 552.3+553.4

ГЕОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ ХУЛГИНСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

© 2011 г. А. В. Алексеев*, С. А. Рыльков, С. И. Комарицкий ***, С. Е. Красностанов****, К. С. Иванов*, Е. В. Лобова*, М. В. Чернецкая***

**Институт геологии и геохимии УрО РАН*
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mails: alexeev@igg.uran.ru, ivanovks@igg.uran.ru, lobova@igg.uran.ru
***Уралнедра*
620014, г. Екатеринбург, ул. Вайнера, 55
E-mail: ural@rosnedra.com
****ОАО "Сосьвапромгеология"*
628148, п. Саранпауль, ул. Ятринская, 22
E-mail: spgeology@mail.ru
*****ОАО "Ямальская горная компания"*
629001, г. Салехард, ул. Броднева, 37
E-mail: geolog.stas@rambler.ru

Поступила в редакцию 09.02.2011 г.

В статье рассматривается геологическое строение офиолитовых ультраосновных комплексов Приполярного Урала – массивов Олыся-Мусюр и Синотвож. Уточнено расчленение Олыся-Мусюрского массива на два породных комплекса: клинопироксенитовый (оливиновые клинопироксениты и клинопироксениты с подчиненными телами дунитов) и дунит-гарцбургитовый (гарцбургиты с подчиненными телами дунитов). Приведена петрологическая, петрохимическая и минералогическая характеристика основных разновидностей ультраосновных пород, слагающих массивы. Выделены два типа клинопироксенитов, различающихся по структуре и составу клинопироксена: 1) низкохромистые (менее 0.5% Cr_2O_3) и низкоглиноземистые (менее 1.0% Al_2O_3) клинопироксениты со структурами распада твердого раствора в виде ламелей магнетита и 2) среднехромистые (0.5–1.0% Cr_2O_3) и среднеглиноземистые (1.0–2.0% Al_2O_3) без структур распада. На основании анализа спектра распределения редкоземельных элементов в клинопироксене показано, что клинопироксениты первого типа по генезису относятся к образованиям Платиноносного пояса Урала, а второго типа – к офиолитовым разностям. Приведено описание хромитовых рудопроявлений обоих массивов, показано, что руды в основном средне- и высокохромистые. Расположение рудных тел закономерно и подчинено протяженным субмеридиональным рудным зонам. Показано, что хромититы массива Синотвож имеют раннемагматический генезис, а массива Олыся-Мусюр – позднемагматический.

Ключевые слова*: Приполярный Урал, Олыся-Мусюр, Синотвож, клинопироксениты, гарцбургиты, хромиты, рудоносность.*

ВВЕДЕНИЕ

На Приполярном Урале офиолитовые комплексы проявлены достаточно слабо (по сравнению с другими районами Урала). Крупные по размерам массивы выделяются лишь в пределах Хулгинского блока и представлены двумя ультраосновными массивами довольно сложного строения – Олыся-Мусюрским и Синотвожским (рис. 1). Отдельные фрагменты офиолитовых пластин выделяются и южнее, где они находятся в тесной ассоциации с комплексами Платиноносного пояса [3, 22, 23].

Планомерные геологические работы на массивах Хулгинского блока, в результате которых территория, включающая ультраосновные комплексы, покрыта съемкой масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000 [14], велись, начиная с 60-х годов XX в. Кроме того, в пределах этой территории проводились поисковые работы на хромиты [2], камнесамоцветное сырье [8], золото и платину [16]. Проводились и тематические работы [7, 10, 12, 15], в результате было проведено формационное расчленение массивов, выделены критерии локализации хромитового оруденения и подсчитаны прогнозные ресурсы категорий P_3 и P_2.

Наиболее масштабные работы по поискам хромитового оруденения на массивах проводились в период 2006–2007 гг. ОАО "Сосьвапромгеология" в рамках федерального мегапроекта "Урал промышленный – Урал Полярный". Был получен ряд новых данных по геологии, петрохимии и минералогии ультраосновных пород и хромититов, позволивших уточнить и частично пересмотреть структуру и формационную принадлежность массивов, а также характер и масштабы хромитового оруденения.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МАССИВОВ

Массивы характеризуются крайне низкой степенью обнаженности (3% коренных выходов, в основном вдоль долин рек, разрезающих массивы по широте), что затрудняет установление их геологического строения, выявление границ между комплексами и, в конечном итоге, выяснение степени рудоносности и формационной принадлежности массивов. Массив Олыся-Мусюр протягивается в субмеридиональном направлении на 40–45 км при ширине от первых сотен метров до 6 км. С запада массив контактирует через зону ГУГРа с метаморфическими толщами (R_1hl) Неркаюского тектонического блока, возраст которых обычно считается рифейским, хотя имеются данные о палеозойском возрасте высокобарического метаморфизма в этом регионе [5]. С востока контакт перекрыт маломощным чехлом четвертичных отложений, и только по данным бурения устанавливается, что в северной части ультрабазиты контактируют с габбро тагило-кытлымского комплекса (?), относящимися к Платиноносной ассоциации, а в южной – с девонскими вулканогенно-осадочными породами [6, 15]. В строении массива участвуют два комплекса пород. На западе развит клинопироксенитовый комплекс (КК), сложенный оливиновыми клинопироксенитами и клинопироксенитами с подчиненными жильными телами дунитов. Видимая мощность комплекса – от десятков метров до 3–4 км. Большинством исследователей он относится к краевому дунит-верлит-клинопироксенитовому формационному типу. На востоке проявлен хромитоносный дунит-гарцбургитовый комплекс (ДГК), представленный гарцбургитами с жильными телами дунитов (мощность комплекса – от десятков метров до 2–3 км). По контакту обоих комплексов развивается зона антигоритовых серпентинитов мощностью первые сотни метров, максимально – до 2–3 км.

Массив Синотвож расположен южнее и, очевидно, представляет собой продолжение массива Олыся-Мусюр, отделенное от последнего тектоническим блоком девонских пород нахорской толщи (D_{2-3}nh). Массив имеет небольшие размеры (~5 × 7 км), представлен хромитоносным дунит-гарцбургитовым комплексом пород. В его пределах развиты многочисленные жильные тела верлитов, клинопироксенитов, вебстеритов (?) и габброидов. На западе массив контактирует с габбровой интрузией, по контакту с ней развивается зона клинопироксенитов мощностью до первых сотен метров (из-за этого многие исследователи относят Синотвожский массив к дунит-верлит-клинопироксенитовому формационному типу). Ультрабазиты встречаются также в виде маломощной полосы к западу от габброидов (участок Кедровый). По геофизическим данным, ультраосновной комплекс пород простирается дальше на юг и юго-запад под чехлом рыхлых отложений. Еще южнее расположен Хорасюрский массив, пределах которого выделены офиолитовая (с запада) и Платиноносная (с востока) ассоциации [22].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение химического состава пород производилось в лаборатории физико-химических методов исследований ИГГ УрО РАН рентгеноспектральным флуоресцентным методом (VRA-30 аналитики: Н.П. Горбунова, Л.А. Татаринова и В.П. Власов) и методом ICP-MS (Elan 9000, аналитик О.П. Лепихина), микрозондовые исследования состава минералов проведены в ГЕОХИ (Cameca SX-100, аналитик Н.Н. Кононкова), а также в ИГГ УрО РАН (Cameca SX-100, аналитик В.Г. Гмыра).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Клинопироксенитовые комплексы массивов

Клинопироксениты и оливиновые клинопироксениты слагают около 40% площади массива Олыся-Мусюр и около 10% – массива Синотвож (рис. 1). По условиям залегания, строению и составу они существенно различаются.

Клинопироксениты и оливиновые клинопироксениты массива Олыся-Мусюр слагают мощный (до 3–4 км) и протяженный (до 40 км) *клинопироксенитовый* комплекс (КК). В его строении также участвуют протяженные маломощные (до 50–70 м) тела дунитов, а также неясные по морфологии и условиям залегания гранат-клинопироксеновые породы. Собственно клинопироксениты преимущественно среднезернистые, редко до крупнозернистых, клинопироксен субидиоморфный, изометричный. В интерстициях, как правило, развивается антигорит (скорее всего, по оливину), который слегка корродирует зерна клинопироксена по периферии (рис. 2). Количество антигорита варьирует от 1–2 до 10–20%, часто в результате давления и деформаций породы “текут”, приобретая сланцеватую текстуру, при этом преимущественно деформируется именно антигорит, как более пластичный. Из акцессорных минералов встречаются оливин (в основном в виде реликтов, замещаемых антигоритом), иногда ортопироксен. Рудные фазы (от 1 до 5%) представлены ильменитом, реже – магнетитом и совсем редко – хроммагнетитом.

Изучение геологии и петрохимии клинопироксенитов позволили установить ряд закономерностей в строении клинопироксенитового комплекса. Вторичные изменения наиболее интенсивно проявлены на контакте с породами рамы (метаморфическими сланцами), здесь клинопироксениты превращены в хлоритовые и хлорит-амфиболовые сланцы

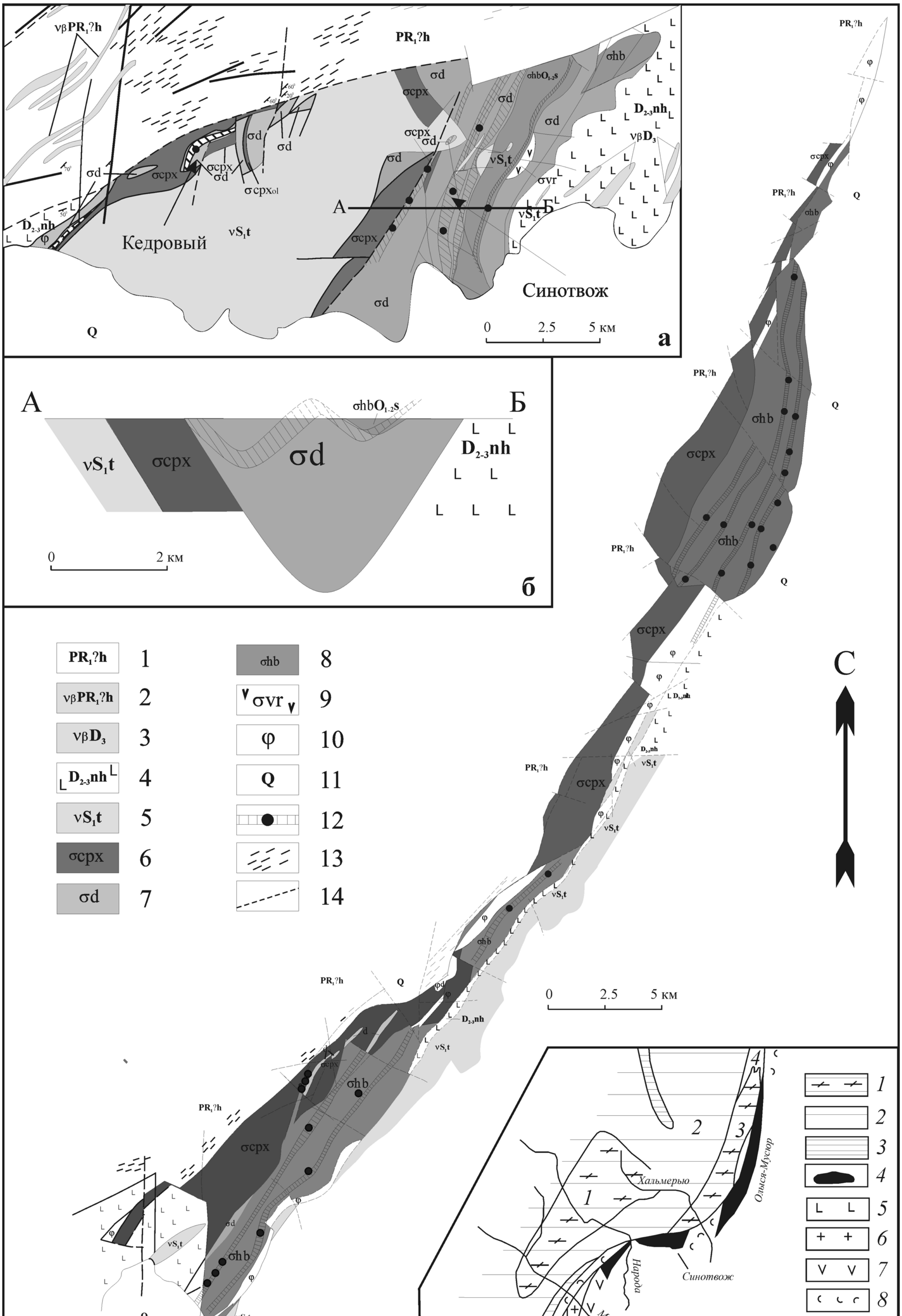
а
Кедровый
Синотвож
А
Б
0 2.5 5 км
б
σd
σcpx
νS1t
D2-3nh
σhbO1-2s
0 2 км
PR1?h 1
νβPR1?h 2
νβD3 3
D2-3nh 4
νS1t 5
σcpx 6
σd 7
σhb 8
σvr 9
φ 10
Q 11
12
13
14
С
0 2.5 5 км
в
г
Хальмерью
Синотвож
Народа
Манья
0 20 40 км
1
2
3
4
5
6
7
8

Рис. 1. Массивы Хулгинского блока и тектоническая схема Приполярного Урала.

а – геологическая схема массива Синотвож, б – разрез по линии А–Б, в – геологическая схема массива Олыся-Мусюр (с упрощениями); 1–5 – вмещающие комплексы: 1 – метаморфические сланцы неркаюского комплекса (PR_1?h); 2 – габбро и габбро-диабазы, ассоциирующиеся с неркаюским комплексом (νβPR_1?h), 3 – габбро и габбро-диабазы, ассоциирующиеся с нахорской толщей (νβD_3nh); 4 – вулканические породы нахорской толщи ($D_{2\text{-}3}$nh); 5 – габбро тагило-кытлымского(?) комплекса (νS_1t); 6–10 – ультраосновные породы: 6 – клинопироксениты и оливиновые клинопироксениты (σcpx), 7 – дуниты и серпентиниты по ним (σd), 8 – гарцбургиты и серпентиниты по ним (σhb), 9 – верлиты (σvr), 10 – антигоритовые серпентиниты (φ); 11 – четвертичные отложения (Q); 12 – хромитоносные зоны и проявления хромитовых руд; 13 – рои даек в рифейских отложениях; 14 – тектонические нарушения. г – тектоническая схема Приполярного Урала по [11]: 1 – раннепротерозойские метаморфические комплексы, 2 – рифейские метаморфические комплексы, 3 – нижне- среднепалеозойские метаморфические комплексы, 4 – комплексы офиолитовой ассоциации, 5 – комплексы платиноносной ассоциации, 6 – габбро-диабаз-диоритовый комплекс, 7 –маньинский комплекс параллельных диабазовых даек и подушечных лав, 8 – среднепалеозойские нерасчлененные вулканогенно-осадочные комплексы, цифры на карте: 1 – Хобеизский гранито-гнейсовый купол (няртинский комплекс), 2 –хальмерьюский комплекс, 3 – неркаюский комплекс, 4 – парусшорский комплекс.

с реликтами клинопироксена. На остальной площади комплекса преобладает антигоритизация пород. Отмечается постепенное понижение железистости клинопироксена и, соответственно, пород от контакта с метаморфическим комплексом (f ≈ 12) к границе с ультрабазитами (f ≈ 7).

Основной же особенностью пород является повсеместное развитие структур распада в виде вростков хромсодержащего магнетита по спайности клинопироксена (рис. 2). Вростки магнетита имеют пластинчатую форму, строгую ориентировку по спайности минерала-носителя, их количество

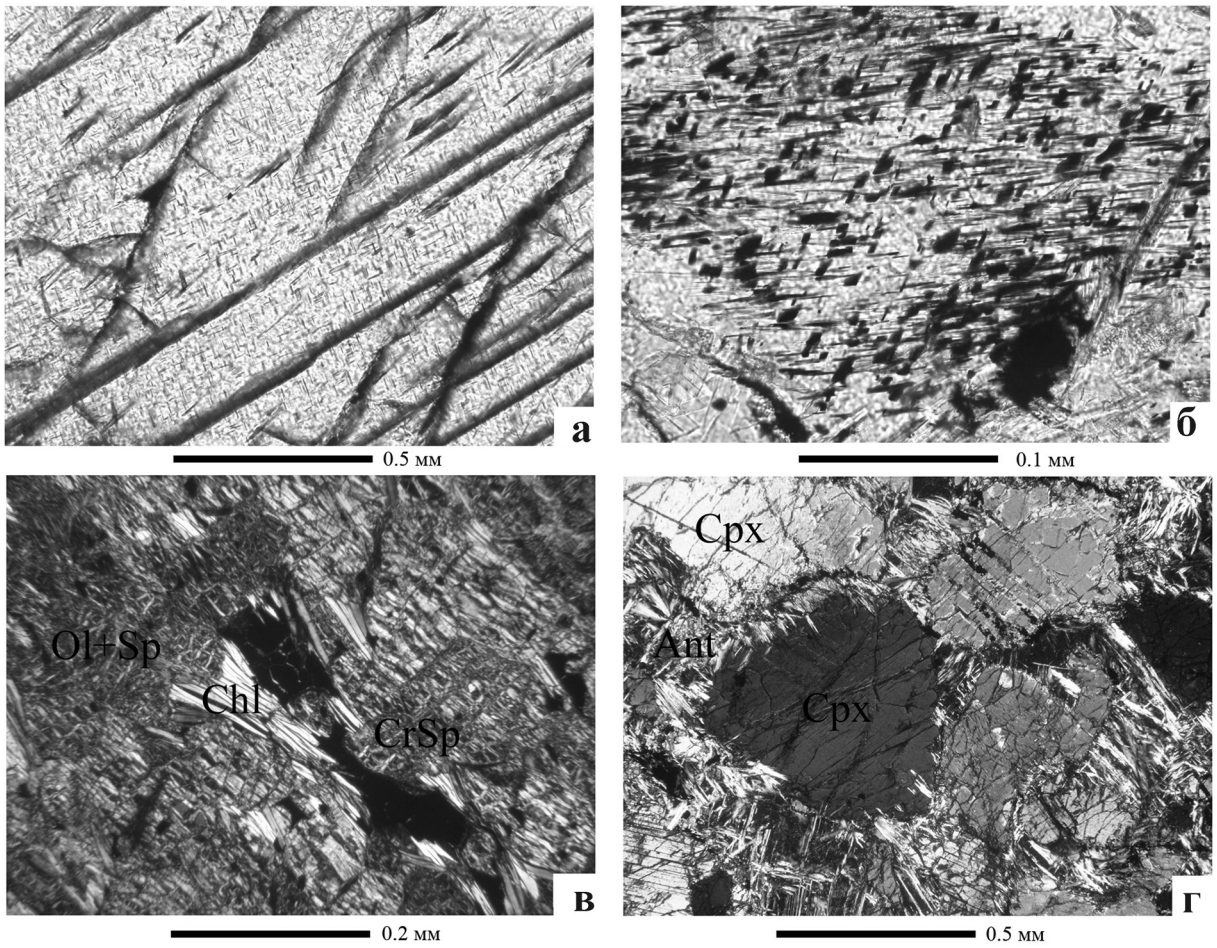

Рис. 2. Петрографичекие особенности ультраосновных пород.

а, б – выделение в клинопироксене пластинок магнетита по спайности (распад твердого раствора); в – венчики хлорита вокруг хромшпинелида в дунитах, ассоциирующих с клинопироксенитовым комплексом; г – оливиновый (?) клинопироксенит, оливин замещен антигоритом, корродирующим границы зерен клинопироксена.

составляет от долей до 3–5 об. %. Достаточно часто наблюдается уменьшение количества вростков магнетита от центра зерна клинопироксена к краю, однако зональности по составу последнего не обнаружено. Дуниты в клинопироксенитовом комплексе представлены протяженными, вытянутыми согласно простиранию массива телами слабо серпентинизированных пород. Причем создается впечатление, что присутствует одно протяженное пластообразное тело дунитов, делящее клинопироксенитовый комплекс на две части. Породы средне- мелкозернистые, оливин субидиоморфный, по нему развивается лизардит (до 35–40%), количество хромшпинелида не более 3–4%, он слабо метаморфизован и всегда сопровождается венчиками хлорита (рис. 2).

Клинопироксениты массива Синотвож существенно отличаются как по геологическому положению, так и по составу. Здесь они приурочены к контакту ультрабазитов и габброидов, образующих протяженную полосу мощностью до нескольких сотен метров. Клинопироксениты представлены средне- и крупно- (до гиганто-)зернистыми мономинеральными породами, клинопироксен, как правило, травянисто-зеленый, характеризуется полным отсутствием каких-либо структур распада. В интерстициях очень редко появляется антигорит (видимо из-за присутствия изначально оливина), из акцессорных минералов присутствует только хромшпинелид, нами не встречен даже магнетит.

Помимо этого, клинопироксениты и верлиты встречаются в виде жильных тел в восточной и западной частях дунит-гарцбургитового комплекса массива. Наблюдаются протяженные (до сотен метров при мощности 20–30 м) тела верлитов с большим количеством маломощных жил и прожилков клинопироксенитов или оливиновых клинопироксенитов. Клинопироксениты среднезернистые, клинопироксен изометричный, субидиоморфный, в интерстициях часто встречается серпентин по оливину (лизардит, реже антигорит). Нередко по клинопироксену развивается вторичный амфибол. В большинстве случаев клинопироксен чистый, однородный, однако в жильных телах с востока массива проявлены структуры распада с магнетитом, аналогичные олыся-мусюрским.

Верлиты характеризуются средне-мелкозернистыми структурами, клинопироксен по формам и составу аналогичен вышеописанному из клинопироксенитов. Оливин субидиоморфный, часто замещается антигоритом и иногда тальком, тем не менее, реликты наблюдается практически во всех шлифах. Характеризуется повышенной железистостью – $fo_{10–11}$. Рудная часть пород также представлена исключительно акцессорным хромшпинелидом.

Таблица 1. Средние составы клинопироксенов (вес. %) различных комплексов массивов Олыся-Мусюр, Синотвож, Хабарнинский и Качканарский

Окислы	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	54.77	53.81	53.33	55.29	53.24	50.35	50.72
TiO_2	0.06	0.11	0.05	0.04	0.29	0.57	0.34
Al_2O_3	1.09	2.00	2.42	1.0	0.51	5.08	3.23
Cr_2O_3	0.12	0.50	0.92	0.54	0.3	0.02	0.11
FeO	2.72	2.37	2.22	3.05	2.8	7.0	
MnO	0.14	0.10	1.12	0.04	0.11	0.13	0.12
MgO	17.66	16.99	16.80	16.84	15.78	13.2	15.44
NiO	0.03	0.02	0.03				
CaO	22.88	23.67	23.09	23.42	24.78	22.81	23.29
Na_2O	0.26	0.26	0.19	0.17		0.18	
K_2O	0.02	0.02	0.01				
FeO′	8.01	7.26	6.91	9.0	9.0	23.0	16.7

Примечание: 1 – массив Олыся-Мусюр, клинопироксенитовый комплекс (20 анализов); 2–3 – массив Синотвож: 2 – клинопироксениты по контакту ультрамафитов и габбро (4 анализа), 3 – клинопироксениты из жильных тел (15 анализов); 4–6 – Хабарнинский массив (молостовский комплекс) [19]: 4 – оливиновые пироксениты, 5 – оливиновые пироксениты с вростками хромита, 6 – магнетитовые пироксениты (каймы вокруг раннего пироксена); 7 – пироксениты Качканарского массива [20].

Геохимическая характеристика клинопироксенитов

Сопоставление микрозондовых анализов клинопироксенов обоих комплексов (табл. 1, рис. 3) показывает ряд интересных особенностей.

Основные различия отмечаются по содержаниям малых элементов – хрома, алюминия, натрия, а также по показателю железистости. На рис. 3 видно, что клинопироксены разделяются на три довольно четкие группы. Первая – клинопироксены Олыся-Мусюра, обладающие наименьшими содержаниями алюминия и хрома и чуть более высокой железистостью. К ним также относятся жильные клинопироксениты с востока Синотвожа, характеризующиеся также наличием распада с выделением магнетита и, видимо, являющиеся реликтом клинопироксенитового комплекса. В этой же группе наблюдается описанный выше тренд изменения железистости клинопироксена вкрест простирания клинопироксенитового комплекса (от контакта с метаморфическими сланцами к контакту с дунит-гарцбургитовый комплексом). Помимо железистости, слегка меняется и содержание ряда малых элементов в клинопироксенах: от контакта с метаморфическими породами к контакту с ультрабазитами в клинопироксенах понижается содержание титана, ванадия, алюминия и растет хром. Это обусловлено, по всей видимости, частичной контаминацией расплавом вещества вмещающих пород.

Вторая группа – крупно- гигантозернистые клинопироксены с контакта ультрабазитов и габброидов Синотвожа, являющиеся своеобразной переходной разновидностью к третьей группе – наибо-

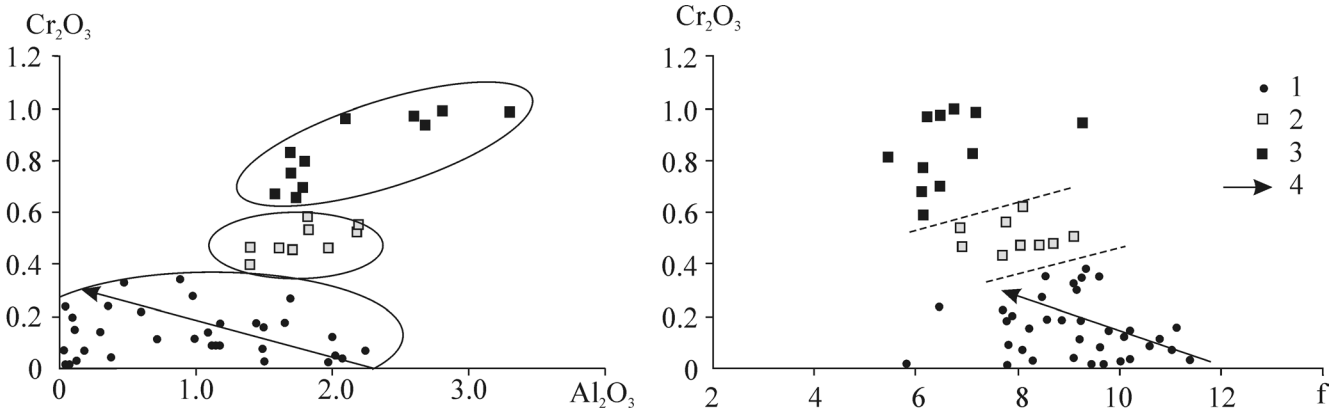

Рис. 3. Изменение состава клинопироксенов из разных комплексов ультрамафитов.

1 – клинопироксены из клинопироксенитового комплекса Олыся-Мусюр; 2 – клинопироксены из реакционной каймы по границе ультрамафитов и габброидов (массив Синотвож); 3 – клинопироксены из клинопироксенитовых, верлитовых и вебстеритовых жил среди ультрамафитов массива Синотвож; 4 – тренд изменения состава клинопироксена в клинопироксенитовом комплексе массива Олыся-Мусюр (с запада на восток).

лее хромистым и глиноземистым клинопироксенам из жильных тел в дунит-гарцбургитовом комплексе. Также отмечаются повышенные концентрации титана в клинопироксенитах второй группы, что можно объяснить воздействием габброидов.

В целом, при взгляде на диаграмму создается впечатление, что все три группы образуют единый тренд. Однако показанные различия в структуре, наборе акцессорных минералов, химическом составе позволяют усомниться в этом. Наиболее информативным оказывается спектр распределения РЗЭ в клинопироксенах (рис. 4). Он показывает, что характер распределения РЗЭ в клинопироксенитах массива Олыся-Мусюр полностью отвечает платиноносной ассоциации пород: дефицит тяжелых земель, отношение $La_N/Yb_N > 1$, более высокое суммарное содержание РЗЭ. Об этом же свидетельствуют повышенные содержания кальция в оливине из дунитовых фаций в КК. Характерно отсутствие в спектрах РЗЭ отрицательной аномалии Ce, которая, по [17, 18], проявлена во всех массивах Платиноносного пояса севернее Качканара.

В качестве объектов для сравнения наиболее интересны платиноносные ассоциации Хабарнинского комплекса [19]. Здесь показана последовательная смена пород: оливиновый клинопироксенит (клинопироксен представлен хромди-

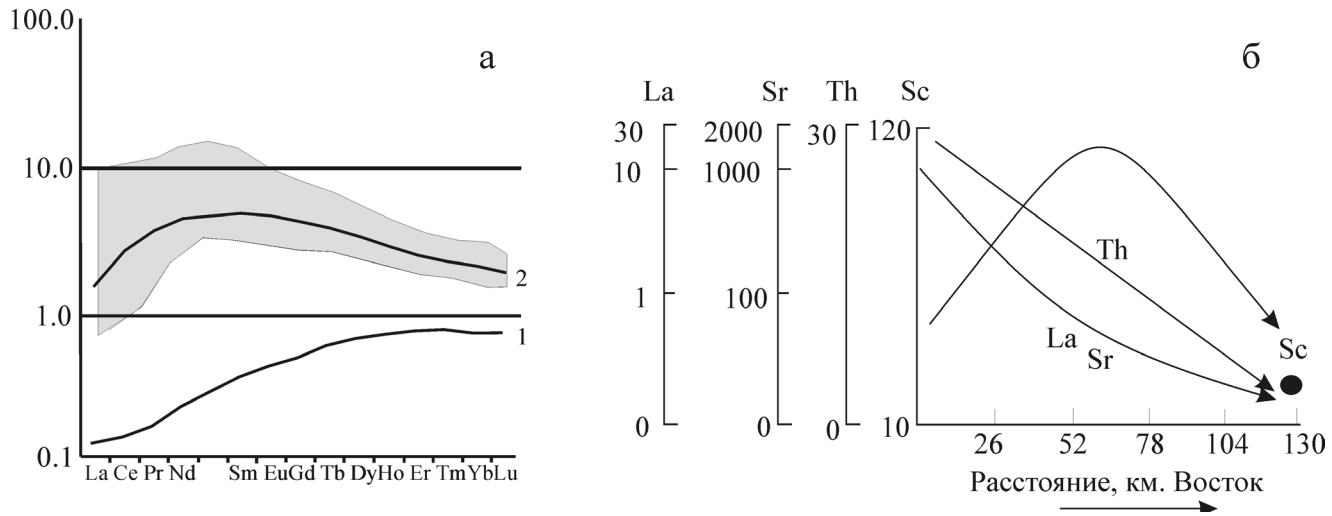

Рис. 4. Геохимические особенности клинопироксенитов массива Олыся-Мусюр.

а – распределение РЗЭ в оливиновых клинопироксенитах массива Синотвож (1) и Олыся-Мусюр (2), затемненное поле – распределение РЗЭ в клинопироксенитах платиноносной ассоциации по Ферштатеру и Беа [17]; б – изменение концентраций Sc, Th, Sr и La в клинопироксенитах из массивов дунит-клинопироксенит-габбровой серии в широтном сечении Среднего Урала [18]. Кружком показано положение массива Олыся-Мусюр, исходя из содержаний перечисленных элементов в клинопироксенитах.

опсидом)–магнетитовый клинопироксенит–плагиоклазовый клинопироксенит–исит. Клинопироксен во всех случаях различается по составу, причем, как правило, характеризуется зональностью (табл. 1).

В клинопироксенитовом комплексе Олыся-Мусюр распространена только первая фаза – оливиновый клинопироксенит. Кроме того, в хабарнинских клинопироксенах вростки представлены хромшпинелидом, в наших – магнетитом с повышенными (до 2–3%) концентрациями хрома, марганца, алюминия. Таким образом, напрашивается вывод, что в нашем случае мы имеем дело с одной, самой ранней выплавкой (зоной) – оливиновыми клинопироксенитами. Другие составляющие либо были уничтожены различными процессами (не сохранились), либо лежат стратиграфически ниже (еще не вскрыты). В целом же, в платиноносных комплексах клинопироксениты подобного типа со структурами распада появляются достаточно часто (Уктусский [13], Нижнетагильский массивы и др.).

Дунит-гарцбургитовый комплекс

Изучение дунит-гарцбургитового комплекса (ДГК) обоих массивов весьма затруднительно из-за еще более низкой степени обнаженности. Оказалось невозможным установление точного процентного соотношения дунитовых и гарцбургитовых фаций и, соответственно, выделение по примеру полярноуральских массивов отдельных комплексов. В целом получены следующие результаты.

На массиве Олыся-Мусюр, в дунит-гарцбургитовой части, преобладают гарцбургиты (ориентировочно до 90% от объема ДГК), в той или иной степени серпентинизированные (степень серпентинизации от 50 до 95%). Породы мелкозернистые, количество ортопироксена варьирует от 15 до 45%, ортопироксен ксеноморфный, практически повсеместно замещен баститом. Интересно, что во всех изученных образцах ортопироксен мелкозернистый (максимально до 0.3–0.4 мм), более крупные разности нами не встречались. Дуниты встречаются преимущественно в местах рудопроявлений и высыпок хромититов, породы мелкозернистые, оливин субидиоморфный. Степень серпентинизации также варьирует в широких пределах от 50 до 95%. Серпентин и в дунитах, и в гарцбургитах в основном представлен ранним α-лизардитом, значительно реже появляется β-лизардит и хризотил с антигоритом [4]. Рудная вкрапленность в породах представлена хромшпинелидом. Характерно, что хромшпинелид мелкий, редко более 0.2 мм, почти всегда сильно метаморфизованный, его количество не велико – 0.1–0.3%.

Дополнительную сложность при геологическом картировании ДГК вносят встречающиеся тела оливин-антигоритовых пород и гигантозернистых оливин-ортопироксеновых метасоматитов. Генезис и геологическое положения последних не выяснено.

В целом, достаточно отчетливо выделяется преобладающая субмеридиональная ориентировка всех структур массива – и геологических (форма тел дунитов, хромититов) и тектонических (ориентировка полосчатости, трещиноватости). К югу преобладающая ориентировка постепенно меняется на северо-восточную, согласно общему направлению всех структур в этом участке из-за “изгиба” Урала.

Ультраосновная часть массива Синотвож была изучена более детально. Здесь также преобладают гарцбургиты, однако их существенно меньше, ориентировочно около 75% от объема ДГК. Дуниты образуют крупные (до 50–100 м и более по мощности) тела, несущие вкрапленное хромитовое оруденение. Породы характеризуются чуть более крупнозернистыми текстурами, более низкой степенью серпентинизации (30–75%), серпентин представлен практически исключительно ранним α-лизардитом, крайне редко встречается β-лизардит. Антигоритовые серпентиниты отмечаются только на контактах с дайками габброидов. Для массива Синотвож также характерна субмеридиональная ориентировка всех структур.

В целом, при геологическом изучении ДГК обоих массивов отмечается их большое сходство, различия состоят лишь в большем развитии дунитовых фаций в массиве Синотвож и более высокой степени вторичных преобразования ультрамафитов массива Олыся-Мусюр.

Проведенное нами изучение состава породообразующего оливина, показанное на рис. 5 позволяет предполагать, что ДГК обоих массивов относятся к одному формационному типу – собственно дунит-гарцбургитовому. Так называемые краевые дуниты полосчатого дунит-верлит-клинопироксенитового комплекса (ДВК) характеризуются чуть более высокой железистостью [9], чего в наших данных не наблюдается. Оливины из верлитовых и клинопироксенитовых жил по составу аналогичны верлитам и вебстеритам из массивов Полярного Урала [9]. Оливины из цемента хромититов характеризуются повышенными содержаниями никеля, пониженной железистостью и более низкими содержаниями марганца.

Антигориты

Значительный интерес вызывает мощная (до 1–2 км, в среднем 300–500 м) полоса антигоритовых серпентинитов, протягивающаяся вдоль контакта КК и ДГК на массиве Олыся-Мусюр. Предыдущи-

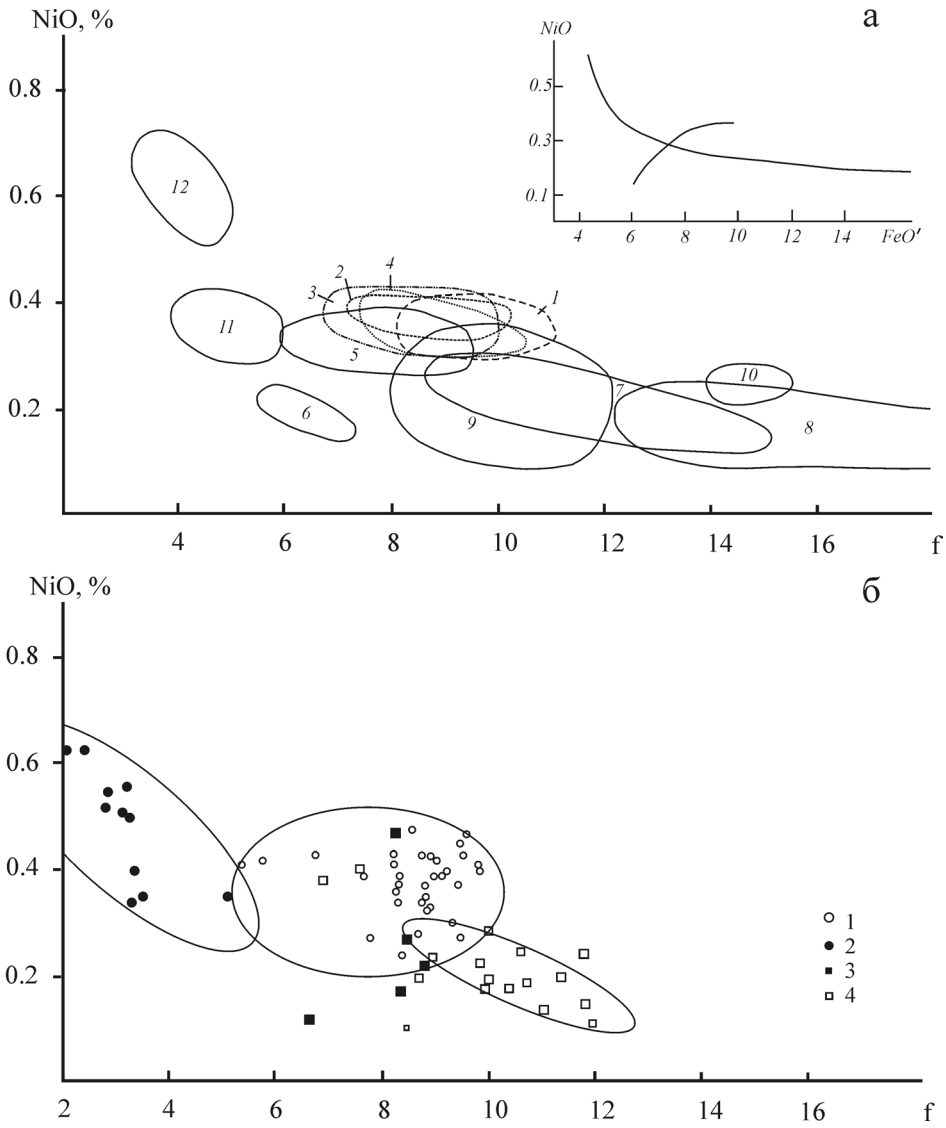

Рис. 5. Соотношение NiO–FeO′ в породообразующем и рудообразующем оливине ультрабазитов Полярного (а) (по [9]) и Приполярного (б) (авторские данные) Урала.

а: 1–2 – гарцбургитовый комплекс: 1 – гарцбургиты и лерцолиты, 2 – дуниты; 3–4 – дунит-гарцбургитовый комплекс: 3 – гарцбургиты, 4 – дуниты; 5 – дуниты дунитового комплекса; 6 – нижнетагильские дуниты; 7–8 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс: 7 – дуниты, 8 – верлиты; 9 – верлитовые и вебстеритовые жилы; 10 – лерцолиты Мурун-Кеу; 11 – энстатиты и сагвандиты; 12 – хромититы. На врезке – треды эволюции состава оливинов.
б: оливины из дунитов и гарцбургитов массива Олыся-Мусюр (1), хромититов (2), дунитов и гарцбургитов массива Синотвож (3), клинопироксенитовых, верлитовых и вебстеритовых жил массива Синотвож (4).

ми работами данные породы интерпретировались как дуниты и вместе с клинопироксенитами объединялись в дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс. Выше показано, что клинопироксениты относятся к платиноносной ассоциации, более того, наблюдавшийся нами в ряде обнажений контакт между клинопироксенитами и антигоритами повсеместно тектонический.

По нашим наблюдениям, антигоритовая полоса пород сложена массивными и рассланцованными антигоритовыми серпентинитами. Антигорит в основном игольчатый и волокнистый, реже – пластинчатый или секториальный. Реликты оливина встречаются крайне редко, хромшпинелид частично либо полностью замещен магнетитом, количество вторичного магнетита меняется от 3–4 до 8–9%. Судить об эдукте пород (аподунитовые или апогарцбургитовые) затруднительно, так как первичные текстуры, как правило, уничтожены, и только в редких случаях видны псевдоморфозы антигорита по ортопироксену.

По нашему мнению, антигоритовая полоса – результат термального воздействия более позднего клинопироксенитового комплекса на дунит-

гарцбургитовый. Температура формирования антигоритовых серпентинитов обычно не превышает 450–500°С, а значит в момент контакта клинопироксенитовый комплекс уже был консолидирован и воздействие осуществлялось скорее всего за счет флюидной фазы. Последнее подтверждается находками по контакту комплексов зон с гигантозернистыми диопсидитами, а также выявленным ранее в антигоритах рудопроявлением демантоидов (“Светлана”).

Хромитоносность массивов

Хромитовые руды встречены в обоих массивах, однако они сильно различаются по ряду параметров.

Хромититы массива Синотвож представлены преимущественно полосчатыми вкрапленными рудами (от убого- до густовкрапленных) (рис. 6), реже встречаются массивные разности. Нередко отмечаются зоны, насыщенные мелкими линзовидными и прожилковыми выделениями хромититов. Вмещающими породами для хромититов служат осветленные серпентиниты с пониженной железистостью оливина ($Fa_{6.5–7.5}$). Наибольший интерес представляет рудопроявление Синотвож, обнаруженное в 1976 г. Оно представляет собой протяженную (до 2 км) субмеридиональную зону, насыщенную полосчатыми рудами. Остальные хромитовые проявления этого массива представлены в основном рудными высыпками и шлейфами. Из-за очень низкой степени обнаженности массива без детальных работ невозможно проследить размеры рудных тел. Однако, учитывая полученные новые данные по строению рудоносных хромитовых зон Среднего, Южного и Полярного Урала [1], можно предполагать наличие серии субпараллельных хромитоносных зон, в той или иной степени насыщенных рудными концентрациям. На это указывают элементы залегания полосчатости хромититов (азимут простирания везде одинаков – 10 ± 5°, угол падения меняется от пологого в 20–30° до крутого 60–70°), а также закономерное расположение рудных выходов относительно друг друга (на одном простирании и на одинаковом расстоянии друг от друга по широте). Кроме того, учитывая складчатость хромититов, выявленную при вскрытии рудопроявления Синотвож канавами, можно предположить, что мы имеем дело с единой, интенсивно смятой рудной зоной (рис. 1).

Рудные хромшпинелиды характеризуются преимущественно субидиоморфными очертаниями, степень идиоморфизма убывает от убогих руд к массивным (что характерно для большинства хромититов Урала). Микроскопически зерна хромшпинелидов однородные, очень редко отмечаются метаморфизованные каймы и прожилки. Нередки включения силикатов (оливина и пироксенов), встречены единичные зерна платиноидов (лаурита). По составу хромшпинелиды высокохромистые (рис. 7), довольно хорошо прослеживается тренд изменения железистости при постоянной хромистости. Использование оливин-хромшпинелидового геотермометра O’NWBBG показывает температуры рудообразования около 900°С.

Хромититы встречены также на участке ультрамафитов к западу от габброидов (рудопроявление Кедровое). Здесь, в серпентинизированных дунитах и частично в антигоритах по дунитам, отмечается оруденелая зона, насыщенная прожилковыми и вкрапленными рудами. Макроскопически хромититы не отличаются от вышеописанных синотвож-

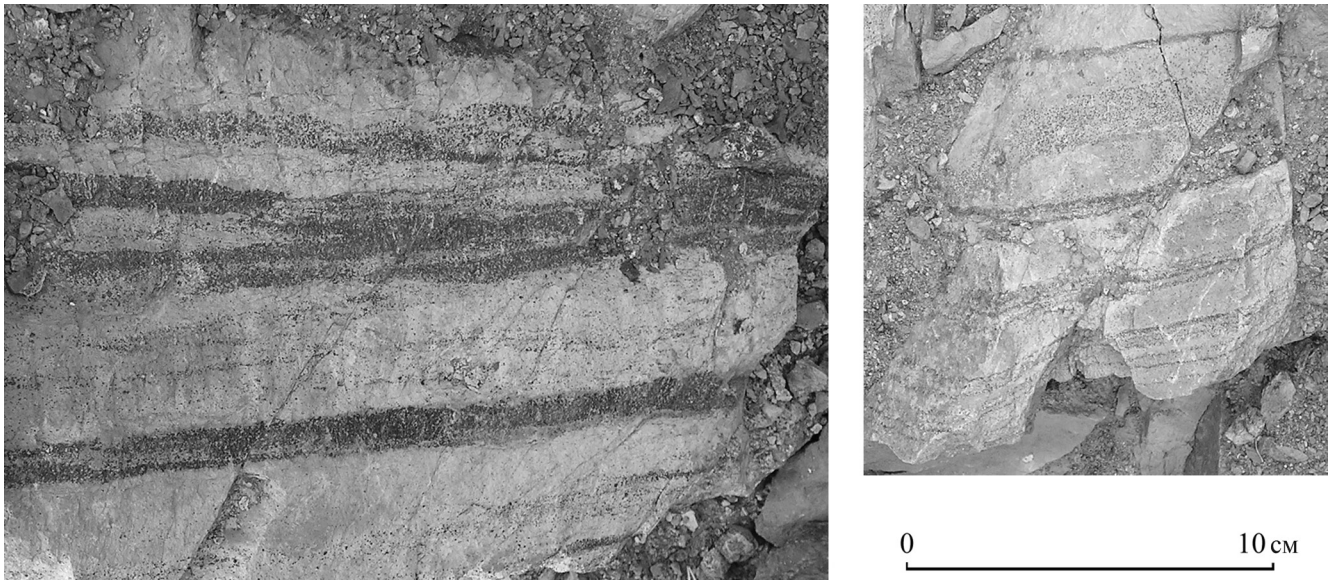

Рис. 6. Полосчатые и полосчато-вкрапленные руды рудопроявления Синотвож (массив Синотвож).

ских, однако из-за близости к габбоидам в них интенсивно проявлен низкотемпературный метаморфизм, выражающийся в развитии хроммагнетитовых кайм и прожилков (рис. 8).

На массиве Олыся-Мусюр хромитовые руды в виде рудных тел, рудопроявлений, высыпок, рудных шлейфов, складов и т. п. выявлены практически на всей площади развития дунит-гарцбургитового комплекса, а также в поле антигоритовых серпентинитов. Хромититы в основном представлены жило- и линзообразными телами массивных и густовкрапленных руд, часто в той или иной степени метаморфизованных. Цементом руд служит серпентин или хлорит (кеммererит, клинохлор), силикатные включения редки, отмечались находки платиноидов (лаурит). Также нередко отмечаются зоны с прожилковым хромитовым оруденением, или просто зоны осветленных (околорудных) серпентинитов, часто с повышенной долей акцессорного хромшпинелида (рис. 8).

При анализе пространственного расположения рудных точек и осветленных серпентинитов устанавливается, что все они, за редким исключением, ложатся в две субпараллельные зоны (в наиболее мощной дунит-гарцбургитовой части массива намечаются уже четыре зоны), протягивающиеся на 20–25 км вдоль всего массива (рис. 1). Наиболее хорошо они выделяются и картируются по долинам рек, разрезающих массив поперек. Вне зон встречаются только небольшие шлирообразные рудные тела глиноземистых хромититов. Исключение составляет участок Серания-ель, который, вероятно, является отдельным тектоническим блоком.

По составу первичные рудные хромшпинелиды высокохромистые (рис. 7), близки к синотвожским, однако достаточно отчетливо выделяется другой тренд изменения состава – нарастание хромистости при стабильной железистости минерала. При сравнении концентрации малых элементов в первичных рудных хромшпинелидах обоих массивов выявляются различия только по содержаниям TiO_2. В хромшпинелидах Синотвожа его количество в 1.5–2.0 раза выше.

Большая часть рудных и акцессорных хромшпинелидов в той или иной степени подвержена вторичным изменениям, интенсивность которых нарастает по мере приближения к клинопироксенитовому комплексу. На рис. 7 и в табл. 2 хорошо виден тренд изменения состава рудных хромшпинелидов, повышается содержание $FeO_{сумм}$ за счет снижения долей Al_2O_3, MgO и очень слабо – Cr_2O_3, и одновременно идет повышение количества сидерофильных малых элементов – титана и ванадия, а также цинка. При этом сложно сказать, шел ли какой-то привнос этих компонентов за счет влияния клинопироксенитов или рост их содержания мнимый, за счет удаления основных рудогенных компонентов. Пределом метаморфизма хромшпинелидов явля-

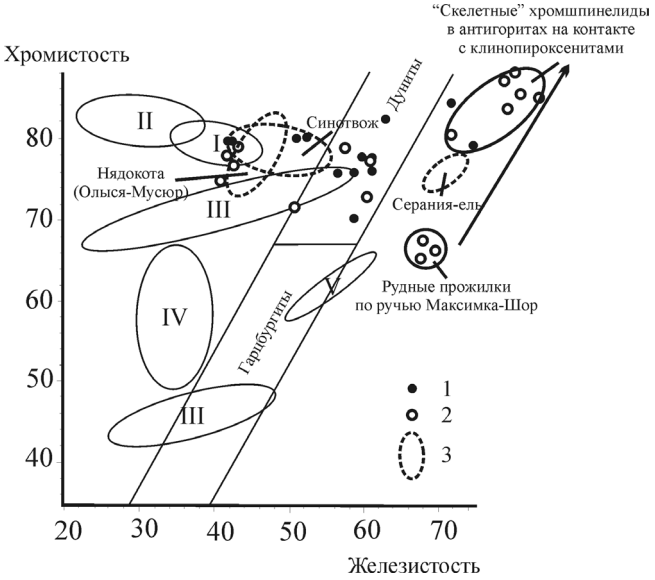

Рис. 7. Составы рудных хромшпинелидов на диаграмме Т.Н. Ирвайна.

1 – массив Синотвож, 2 – массив Олыся-Мусюр, 3 – литературные данные. Стрелкой показана степень нарастания метаморфизма хромшпинелидов по мере приближения к клинопироксенитам. Полями показаны генетические типы хромититов по [21]: I – ортомагматический, II – латераль-секреционный, III – метасоматический, IV – сегрегационный, V – реакционно-метасоматический.

ется магнетит с повышенной долей примесей. Одновременно с изменением состава меняется и текстурный рисунок хромититов (рис. 8). Как видно, в данном случае проявлен уже высокотемпературный метаморфизм с образованием "скелетных" хромшпинелидов (каркас хроммагнетита с врастками хлорита), что дополнительно подчеркивает генетическое различие клинопироксенитов Олыся-Мусюра и Синотвожа.

Таким образом, в хромитоносности обоих массивов наблюдаются как сходства, так и определенные различия. По нашему мнению, хромитовые руды имеют раннемагматический генезис на Синотвоже и позднемагматический – на Олыся-Мусюре. Это объясняет наличие хорошо прослеживающихся рудоносных зон, а также относительно равномерную (Синотвож) или наоборот, сильно неравномерную (Олыся-Мусюр) насыщенность их оруденением. В дальнейшем хромититы претерпели достаточно интенсивные процессы метаморфизма, связанные с габброидами (Синотвож) и клинопироксенитами (Олыся-Мусюр). Интенсивность и температуры воздействия в последнем случае были гораздо более высокими.

ВЫВОДЫ

1. Ультраосновные комплексы Хулгинского блока являются сложными полиформационными образо-

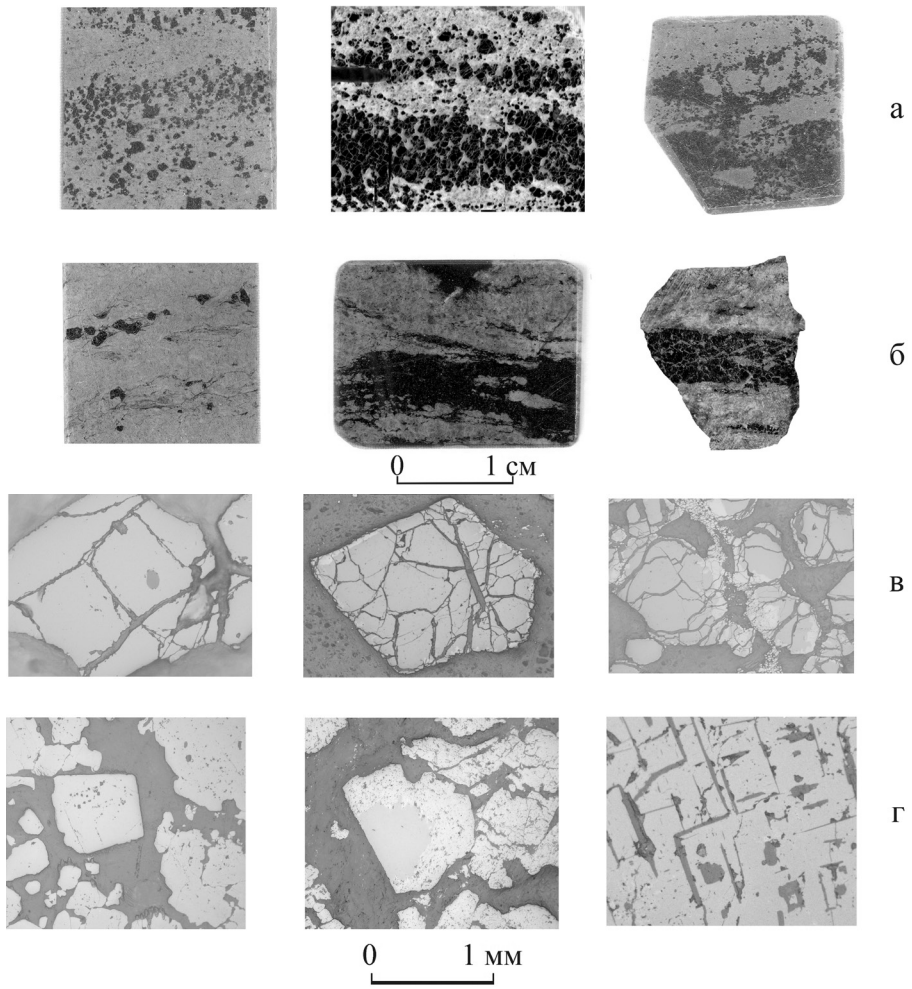

Рис. 8. Макро- и микрооблик хромититов.

Описание идет слева направо. а – массив Синотвож: разнозернистые убогие полосчато-вкрапленные руды, среднезернистые полосчатые руды, прожилково-вкрапленные руды;
б – массив Олыся-Мусюр: акцессорная вкрапленность хромшпинелида в серпентинитах из рудной зоны, прожилково-вкрапленные руды, прожилковые руды; в – массив Синотвож: первичный неизмененный субидиоморфный хромшпинелид, идиоморфный хромшпинелид с каймами хроммагнетита, интенсивное развитие магнетита и хроммагнетита по хромшпинелиду (рудопроявление Кедровый); г – массив Олыся-Мусюр: первичные субидиоморфные и идиоморфные хромшпинелиды, развитие хроммагнетит-хлоритовых кайм, пластинчатые структуры сильно метаморфизованных руд.

Таблица 2. Средние составы рудных хромшпинелидов (вес. %) массивов Олыся-Мусюр и Синотвож

Окислы	1	2	3	4
TiO_2	0.16	0.11	0.22	0.29
Al_2O_3	10.65	12.25	8.79	4.72
Cr_2O_3	56.77	53.57	49.64	51.59
$FeO_{сумм}$	21.75	20.67	33.96	35.46
MnO	0.31	0.38	0.74	0.60
MgO	11.44	12.29	6.08	5.28
NiO	0.09	0.15	0.09	0.10
V_2O_3	0.11	0.12	0.17	0.34
ZnO	0.04	0.12	0.24	0.16

Примечание. 1 – массив Синотвож (20 анализов); 2–4 – массив Олыся-Мусюр: 2 – первичные хромшпинелиды (15 анализов), 3 – слабо метаморфизованные хромшпинелиды (10 анализов), 4 – сильно метаморфизованные хромшпинелиды (11 анализов).

ваниями. Они представлены двумя пространственно совмещенными ассоциациями пород – ранней хромитоносной дунит-гарцбургитовой и более поздней – платиноносной. Подобные двухфазные комплексы на Урале редки, из известных примеров можно привести хорасюрский комплекс (Приполярный Урал), Хабарнинский (Южный Урал) и, вероятно, Верх-Нейвинский (Средний Урал) массивы.

2. Платиноносная ассоциация представлена толщей клинопироксенитов и оливиновых клинопироксенитов с подчиненными телами дунитов; рудоносного хромитового или благороднометалльного потенциала в ней не отмечено. Офиолитовый комплекс сложен гарцбургитами с подчиненным развитием жильных дунитов. С ним связаны мелкие месторождения и рудопроявления хромитовых руд.

3. Перспективность промышленного освоения хромититов массивов Синотвож и Олыся-Мусюр средняя. В процессе работы выделены хромитоносные зоны, к которым приурочена большая часть рудных тел. Однако, обнаружение в пределах массивов средних и тем более крупных месторождений маловероятно.

4. Изучение хромитовых руд обоих массивов показало, что практически все они относятся к высокохромистому типу. При этом на массиве Синотвож присутствует раннемагматический тип руд, а на массиве Олыся-Мусюр – позднемагматический. Кроме того, на последнем проявлены интенсивные процессы вторичного метаморфизма хромититов.

Исследования выполнены в рамках программы ОНЗ РАН № 2 "Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов" при частичной поддержке проектов УрО 09-М-2345-2001, 10-5-14НДР и УрО РАН 11-5-06-НДР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.В., Чернецкая М.В.* Особенности строения хромитоносных зон в дунитах альпинотипных массивов и проблемы поиска хромитового оруденения // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157, 2010. С. 196–199.
2. *Белявских Г.Г., Зайков В.В. и др.* Отчет по производству поисковых работ на хромиты в южной части Войкаро-Сыньинского гипербазитового массива (по работам 1976–1977 г.г.). Воркута, 1978. 356 с. Фонды ОАО Сосьвапромгеология.
3. *Бочкарев В.В.* Магматические формации северной части Приполярного Урала. Сверловск: УрО АН СССР, 1990. 68 с.
4. *Варлаков А.С.* Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 224 с.
5. *Иванов К.С., Карстен Л.А., Малюски Г.* Первые сведения о возрасте субдукционного (эклогит-глаукофанового) метаморфизма на Приполярном Урале // Палеозоны субдукции: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез. V Чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 121–128.
6. *Иванов К.С., Коротеев В.А., Федоров Ю.Н. и др.* Строение зоны сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Литосфера. 2004. № 2. С. 108–124.
7. *Красностанов С.Е., Комарицкий С.И.* Отчет по результатам тематических работ по объекту: "Выделение хромитоносных магматических формаций и оценка их перспектив в пределах территории восточного склона Северного и Приполярного Урала". Пос. Саранпауль, 2003. 250 с. Фонды ОАО Сосьвапромгеология.
8. *Макарочкин В.И.* Отчет по прогнозно-поисковым работам на цветные и декоративно-облицовочные камни в пределах зоны Главного Уральского Глубинного разлома на Приполярном Урале за 1992–1996 гг. Пос. Саранпауль, 1996. 321 с. Фонды ОАО Сосьвапромгеология.
9. *Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных гипербазитов Урала. СПб: Недра, 1992. 197 с.
10. *Нечеухин В.М., Душин В.А.* Габбро-ультрабазитовые, ультрабазитовые и гранитоидные комплексы в геодинамических ассоциациях и структурах Тимано-протоазиатского и Уральского орогенов // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. X Чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 50–52.
11. *Пучков В.Н., Карстен Л.А., Шмелев В.Р.* Важнейшие черты геологического строения восточного склона Приполярного Урала // Геология и палеонтология Урала. Свердловск, УНЦ АН СССР. 1987. С. 75–88.
12. *Пучков В.Н. и др.* Отчет о научно-исследовательской работе: Тектоника области сочленения Центрально-Уральской и Тагило-Магнитогорской структурных мегазон в северной части Северо-Сосьвинского бассейна Приполярного Урала. Свердловск, 1989. 380 с. Фонды ОАО Сосьвапромгеология.
13. *Пушкарев Е.В.* Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 296 с.
14. *Пыстин А.М.* Карта метаморфизма Приполярного и южной части Полярного Урала. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР. Препринт. Вып. 259. 1991. 20 с.
15. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / В.Н. Пучков, Б.В. Перевозчиков, И.С. Чащухин и др. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 1990. 228 с.
16. *Федорова С.О. и др.* Отчет по результатам тематических работ по объекту: "Оценка перспектив и прогнозных ресурсов рудной, россыпной платиноносности (МПГ) восточного склона Северного и Приполярного Урала. М.: ЦНИГРИ, 2003. 198 с.
17. *Ферштатер Г.Б., Беа Ф.* Геохимическая типизация уральских офиолитов // Геохимия. 1996. № 3. С. 195–218.
18. *Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Пушкарев Е.В. и др.* Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // Геохимия. 1999. № 4. С. 352–370.
19. *Ферштатер Г.Б., Пушкарев Е.В.* Магматические клинопироксениты Урала и их эволюция // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 3. С. 13–23.
20. *Фоминых В.Г., Самойлов П.И., Максимов Г.С., Макаров В.А.* Пироксениты Качканара. Свердловск: ИГиГ УФАН СССР, 1967. 84 с.
21. *Чащухин И.С., Булыкин Л.Д., Чащухина В.А.* О природе хромитового оруденения в породах дунит-клинопироксенитового комплекса офиолитов Среднего Урала // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 353–358.
22. *Шмелев В.Р.* Магматические комплексы зоны Главного Уральского разлома (Приполярный сектор) в свете новых геохимических данных // Литосфера. 2005. № 2. С. 41–59.
23. *Шмелев В.Р., Пучков В.Н.* Габбро-гипербазитовые ассоциации Приполярного Урала // Формационное расчленение, генезис и металлогения ультрабазитов. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 113–123.

Рецензент Г.Н. Савельева

Geology and ore-presence of ultrabasic massives of Khulginskii block (Pre-Polar Urals)

A. V. Alexeev*, S. A. Rylkov, S. I. Komaritskii***, S. E Krasnostanov****, K. S. Ivanov*, E. V. Lobova*, M. V. Chernetskaya***

**Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS*
*** Uralnedra*
****OAO "Sosvapromgeologiya"*
*****OAO "Yamal mining company"*

A geological structure of Pre-Polar Urals ophiolite ultrabasic complexes – the massives Olysya-Musur and Sinotvozsh is being considered in the paper. The separation of Olysya-Musur complex into two rock complexes: the clinopyroxenite complex (olivine clinopyroxenites and clinopyroxenites with subordinated dunite bodies) and the dunite-harzbourgite ones (harzbourgites with subordinated dunite bodies) has been specified. Petrological, petrochemical and mineralogical characteristics of the main varieties of ultrabasic rocks are given. Two types of clinopyroxenites differing on structure and composition of clinopyroxene are distinguished: 1) low-chromous (less than 0.5% of Cr_2O_3) and low-alumina (less than 1.0% of Al_2O_3) clinopyroxenites with the lamella magnetite as the structures of solid solution dissociation and 2) middle-chromous (0.5–1.0% Cr_2O_3) and middle-alumina (1.0–2.0% Al_2O_3) without dissociation structures. On the base of rare-earth element distribution in clinopyroxene it is shown that clinopyroxenites of the first type can be referred to the formations of the Platiniferous Urals belt, while the clinopyroxenites of the second type belong to ophiolite kinds. The description of chromite ore-manifestations of the both massives is made, it is shown that, in general, the ores are middle- and high-chromous. The ore bodies' location is regular and subordinate to the extended submeridional ore zones. It is shown that the chromites of Sinotvozsh massif have the early-magmatic genesis, while the chromites of the massif Olysya-Musur have the late-magmatic one.

Key-words: *the Pre-Polar Urals, Olysya-Musur, Sinotvozsh, clinopyroxenites, harzbourgites, chromites, ore-presence.*