

АКЦЕССОРНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ХРОМИТИТАХ МАНТИЙНОГО РАЗРЕЗА ОФИОЛИТОВ КРАКА

- © **Д.Е. Савельев**,
доктор геолого-
минералогических наук,
профессор АН РБ,
ведущий научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа,
Российская Федерация,
эл. почта: sav171@mail.ru
- © **С.Н. Сергеев**,
младший научный сотрудник,
Институт проблем
сверхпластичности металлов РАН,
ул. Степана Халтурина, 39,
450001, Уфа,
Российская Федерация,
эл. почта: nikocem17@gmail.com
- © **И.А. Блинов**,
кандидат геолого-
минералогических наук,
научный сотрудник,
Институт минералогии,
Уральское отделение РАН,
Ильменский заповедник, 1,
456301, Миасс, Челябинская
область, Российская Федерация,
эл. почта: ivan_a_blinov@mail.ru

Приведены результаты изучения акцессорной минерализации в пяти хромитопоявлениях мантийного разреза массивов Крака – крупнейшего в Республике Башкортостан офиолитового комплекса. Изученные месторождения и рудопроявления хромититов приурочены к ультрамафитам мантийного разреза. Рудопроявление Верхне-Сарангинское расположено в центральной части массива Северного Крака и относится к типу подиформных залежей с маломощной дунитовой оторочкой. Остальные исследованные объекты расположены в западной части массива Южный Крака. Месторождение Лактыбаш представляет собой вкрапленный тип оруденения; месторождения Малый Башарт и им. Менжинского относятся к переходному типу от таблитчатых тел вкрапленного строения к подиформным. Абласовское месторождение представлено линзовидным телом преимущественно массивных хромититов в полностью серпентинизированных и интенсивно тектонизированных ультрамафитах.

В работе показано, что главными акцессорными минералами большинства изученных месторождений и рудопроявлений являются: интерметаллид никеля и железа – аваруит, сульфиды никеля и железа (пентландит, хизлевудит, миллерит) и продукты их замещения. Более редкими акцессорными минералами хромититов и вмещающих ультрамафитов являются сульфиды меди, самородная медь, арсенид никеля (орселит), а также собственные минералы элементов платиновой группы, из которых установлены лаурит ($(Ru,Os)S_2$), твёрдые растворы с никелем и железом ($(Ru-Ni-Fe-Os-Ir-Pd-Rh)$ и $(Fe-Co-Pt-Pd-Au)$ составов), арсениды и сульфосоли сложного состава ($(Ni-Fe-Cu-Ir-Pt-Au-Pd)$). Высказано предположение, что первичные неизменные сульфиды никеля являются одними из основных концентраторов платиновых металлов в мантийных хромититах и вмещающих ультрамафитах массивов Крака. Обоснована необходимость дальнейшего изучения акцессорной минерализации массивов, получение и исследование сульфидных концентратов из вкрапленных руд для оценки их платиноносности.

Ключевые слова: ультрамафиты, офиолиты, хромититы, платиноиды, сульфиды никеля, пентландит, хизлевудит, Крака

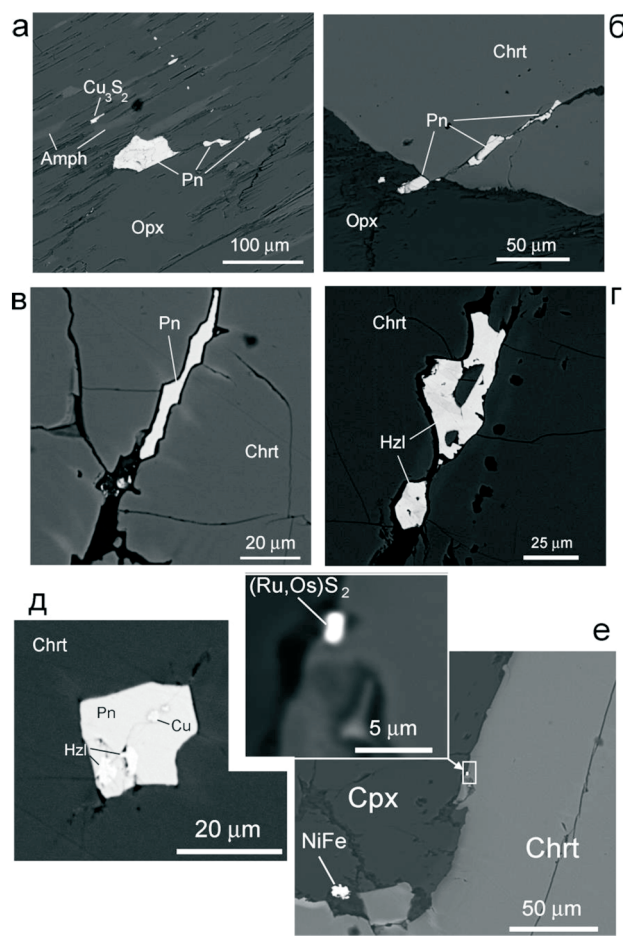


Рис. 1. Акцессорные минералы в хромитах рудопроявления Верхне-Сарангинское
Примечание – Снимки в обратно-рассеянных электронах. Chrt – хромит, Pn – пентландит, Hzl – хизлевудит, Crx – клинопироксен, Orpx – ортопироксен, Amph – амфибол

Морфология зерен изменяется от удлиненно-ксеноморфной (рис. 2 а–в) до гипидиоморфной (рис. 1 а) и идиоморфной (рис. 1 д). В некоторых случаях выделения сульфидов характеризуются каркасной морфологией, они частично или полностью окаймляют фрагменты силикатного матрикса, обычно – серпентин (рис. 1 г). В отдельных случаях внутри сростков пентландита и хизлевудита встречаются выделения самородной меди (рис. 1 д).

Наряду с пентландитом и хизлевудитом, в хромитах Верхне-Сарангинского рудопроявления обнаружены редкие выделения аваруита и сульфида меди, состав которого на-

иболее близок к формуле Cu_3S_2 . Упоминания о находках сульфида с подобным составом в массивах Полярного Урала встречаются в работах А.Б. Макеева [4; 5], хотя в базе данных MINDAT он отсутствует. Кроме описанных выше акцессорных минералов, на границе зерен клинопироксена и хромшпинелида найдено единственное выделение минерала платиновой группы, который представлен субмикронным сростком лаурита и пирротина (?) (рис. 1 е).

Абласовское месторождение. Хромиты данного месторождения сложены среднехромистыми шпинелидами, в ассоциации с которыми встречены обильные выделения ильменита. Акцессорная минерализация представлена преимущественно выделениями аваруита, который обычно образует «пылевидную вкрапленность» в серпентине, форма выделений варьирует от точечных до пластинчатых, преобладающий размер его частиц составляет первые микроны (до 10 мкм).

В некоторых случаях скопления аваруита пространственно связаны с участками замещения кристаллов хромшпинелидов хром-магнетитом, иногда отдельные выделения аваруита встречаются в «серпентиновых ловушках» внутри хромшпинелидов либо непосредственно в виде включений в зернах хромшпинелида. Помимо аваруита, в хромитах Абласовского месторождения встречаются единичные мелкие зёрна халькопирита.

Месторождение Лактыбаш. В густовкрапленных хромитах (рис. 2 а) довольно часто встречаются акцессорные сульфиды никеля, среди которых доминирует хизлевудит. Его выделения чаще всего приурочены к поперечным и диагональным трещинам в зернах хромшпинелида, характерных для структур типа «пулл-апарт». В большинстве случаев минерал характеризуется ксеноморфным габитусом, полностью или частично окаймляет участки силикатного матрикса, который в настоящее время представлен серпентином (рис. 2 б – д).

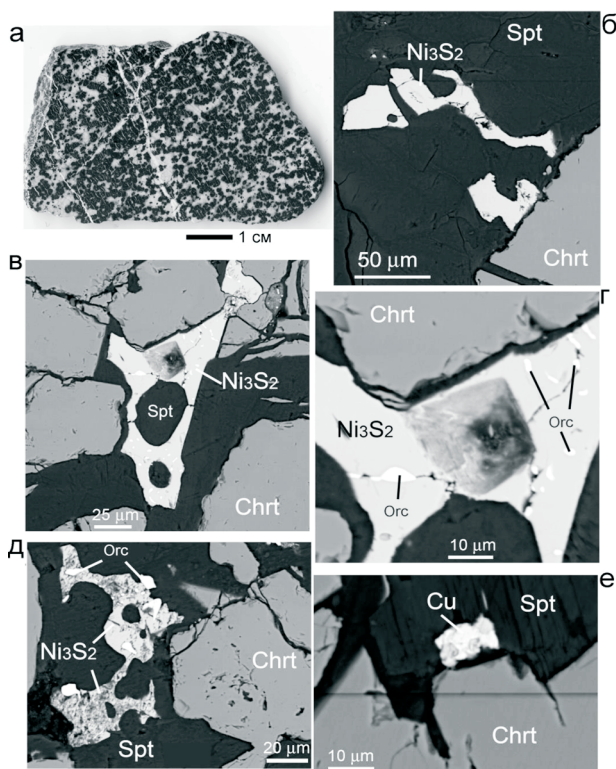


Рис.2. Акцессорные минералы в хромититах месторождения Лактыбаш
Примечание – Снимки в обратно-рассеянных электронах. Spt – серпентин, Chrt – хромит; Orc – орселит (Ni5As2)

В некоторых случаях включения имеют идиоморфные очертания, что позволяет предполагать первично оливиновый их состав. Размер зерен хизлевудита варьирует от первых до 100 мкм, состав достаточно однообразен и почти соответствует теоретической формуле минерала (табл. 1). Кроме никеля и серы в минерале очень редко встречаются примеси железа (до 1,1 мас. %) и хрома (до 2,09 мас. %). Высока вероятность того, что появление хрома обусловлено захватом материала матрикса. По соотношению металлов и серы, чаще отмечается незначительный дефицит последней.

В некоторых зернах хизлевудита наблюдается выделение арсенидов никеля (рис. 2 в – д).

Т А Б Л И Ц А 1 – Средние химические составы акцессорных минералов из хромититов массивов Крака

№ п/п	n	S	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	As	Ru	Rh	Pd	Sb	Os	Ir	Сумма
1	6	34,45	0,72*	0,74	–	64,10	–	–	–	–	–	–	–	–	100,00
2	22	28,64	0,84*	1,18	–	69,26	–	–	–	–	–	–	–	–	99,92
3	30	35,37	0,64*	27,45	0,02	36,45	0,05	–	–	–	–	–	–	–	99,99
4	5	26,35	3,41*	6,33	–	2,97	60,93	–	–	–	–	–	–	–	99,99
5	16	25,41	–	1,25	–	–	73,34	–	–	–	–	–	–	–	100,00
6	1	30,64	–	1,45	–	36,31	31,59	–	–	–	–	–	–	–	99,99
7	6	33,74	1,45*	21,37	–	27,32	16,11	–	–	–	–	–	–	–	99,99
8	4	–	2,07*	0,78	–	2,87	93,52	–	–	–	–	–	–	–	99,24
9	60	27,95	–	0,35	0,01	71,05	–	0,08	–	–	–	–	–	–	99,44
10	9	–	–	0,41	–	60,73	–	37,73	–	–	–	0,57	–	–	99,45
11	1	9,06	–	0,24	–	63,29	–	26,49	–	–	–	0,38	–	–	99,46
12	8	0,03	1,34*	24,29	0,34	73,98	–	–	–	–	–	–	–	–	99,97
13	1	–	3,13*	37,12	–	59,75	–	–	–	–	–	–	–	–	100,00
14	1	30,60	–	32,21	3,74	31,55	–	–	–	–	–	–	–	–	98,10
15	4	33,75	–	21,61	0,58	1,28	39,85	–	–	–	–	–	–	–	97,06
16	6	–	0,05*	20,56	1,14	77,84	0,30	–	–	–	–	–	–	–	99,88
17	2	1,90	–	1,93	–	1,73	93,89	–	–	–	–	–	–	–	99,43
18	1	–	2,40*	6,58	–	26,19	–	–	42,69	0,68	0,38	–	13,51	7,59	100,02
19	10	26,71	–	2,70	0,32	69,74	0,30	–	–	–	–	–	–	–	99,77
20	6	33,10	–	28,34	2,86	35,81	–	–	–	–	–	–	–	–	100,10
21	1	–	–	1,87	–	59,83	–	38,30	–	–	–	–	–	–	100,00
22	4	–	–	27,04	1,16	71,15	0,28	–	–	–	–	–	–	–	99,63
23	2	–	–	6,65	0,42	88,12	4,81	–	–	–	–	–	–	–	100,00
24	2	–	–	2,25	0,02	3,03	94,71	–	–	–	–	–	–	–	100,00
25	8	33,01	–	31,63	3,48	30,89	0,83	–	–	–	–	–	–	–	99,84
26	6	26,48	–	2,79	–	70,75	0,04	–	–	–	–	–	–	–	100,05

Т А Б Л И Ц А 1 – (окончание)

№ п/п	Минерал	Кристаллохимическая формула	Распространенность
1	миллерит	$(\text{Ni}_{1.009}\text{Fe}_{0.012})_{\Sigma 1.021}\text{S}_{1.00}$	++
2	хизлевудит	$(\text{Ni}_{2.624}\text{Fe}_{0.047}\text{Cr}_{0.037})_{\Sigma 2.708}\text{S}_{2.00}$	+++
3	пентландит	$(\text{Ni}_{4.472}\text{Fe}_{3.549}\text{Cr}_{0.091}\text{Cu}_{0.005})_{\Sigma 8.12}\text{S}_{8.00}$	+++
4	Cu-Fe-Ni-сульфид (?)	$(\text{Cu}_{1.138}\text{Fe}_{0.137}\text{Ni}_{0.061}\text{Cr}_{0.08})_{\Sigma 1.416}\text{S}_{1.00}$	++
5	Cu-сульфид (?)	$(\text{Cu}_{1.421}\text{Fe}_{0.028})_{\Sigma 1.449}\text{S}_{1.00}$	+++
6	Ni-Cu-сульфид (?)	$(\text{Ni}_{0.643}\text{Cu}_{0.508}\text{Fe}_{0.027})_{\Sigma 1.177}\text{S}_{1.00}$	+
7	Cu-пентландит (?)	$(\text{Ni}_{0.439}\text{Fe}_{0.362}\text{Cu}_{0.235}\text{Cr}_{0.026})_{\Sigma 1.063}\text{S}_{1.00}$	+
8	самородная медь	$\text{Cu}_{0.934}\text{Ni}_{0.032}\text{Cr}_{0.026}\text{Fe}_{0.009}$	++
9	хизлевудит	$(\text{Ni}_{2.773}\text{Fe}_{0.014})_{\Sigma 2.787}(\text{S}_{1.998}\text{As}_{0.002})_{\Sigma 2.00}$	+++
10	орселит(?)	$(\text{Ni}_{4.070}\text{Fe}_{0.029})_{\Sigma 4.099}(\text{As}_{1.982}\text{Sb}_{0.018})_{\Sigma 2.00}$	++
11	S-орселит(?)	$(\text{Ni}_{3.373}\text{Fe}_{0.013})_{\Sigma 3.386}(\text{As}_{1.106}\text{S}_{0.884})_{\Sigma 2.00}$	+
12	аваруит	$\text{Ni}_{0.730}\text{Fe}_{0.252}\text{Cr}_{0.015}\text{Co}_{0.003}$	+++
13	аваруит(?)	$\text{Ni}_{0.583}\text{Fe}_{0.382}\text{Cr}_{0.035}$	+
14	пентландит	$(\text{Fe}_{4.812}\text{Ni}_{4.474}\text{Co}_{0.530})_{\Sigma 9.816}\text{S}_{8.00}$	+
15	халькопирит	$(\text{Cu}_{1.164}\text{Fe}_{0.731}\text{Ni}_{0.041}\text{Co}_{0.019})_{\Sigma 1.955}\text{S}_{2.00}$	++
16	аваруит	$\text{Ni}_{0.771}\text{Fe}_{0.215}\text{Co}_{0.011}\text{Cu}_{0.003}\text{Cr}_{0.001}$	++
17	самородная медь	$\text{Cu}_{0.922}\text{S}_{0.038}\text{Fe}_{0.022}\text{Ni}_{0.019}$	+
18	интерметаллид ЭПГ	$(\text{Ni}_{0.386}\text{Fe}_{0.102}\text{Cr}_{0.040})_{\Sigma 0.528}(\text{Ru}_{0.367}\text{Os}_{0.062}\text{Ir}_{0.034}\text{Rh}_{0.006}\text{Pd}_{0.003})_{\Sigma 0.472}$	+
19	хизлевудит	$(\text{Ni}_{2.832}\text{Fe}_{0.116}\text{Co}_{0.013}\text{Cu}_{0.011})_{\Sigma 2.971}\text{S}_{2.00}$	+++
20	пентландит	$(\text{Ni}_{4.694}\text{Fe}_{3.914}\text{Co}_{0.374})_{\Sigma 8.982}\text{S}_{8.00}$	++
21	орселит	$(\text{Ni}_{3.972}\text{Fe}_{0.131})_{\Sigma 4.102}\text{As}_{2.00}$	+
22	аваруит	$\text{Ni}_{0.704}\text{Fe}_{0.282}\text{Co}_{0.011}\text{Cu}_{0.003}$	++
23	аваруит(?)	$\text{Ni}_{0.882}\text{Cu}_{0.044}\text{Fe}_{0.070}\text{Co}_{0.004}$	+
24	самородная медь	$\text{Cu}_{0.941}\text{Ni}_{0.033}\text{Fe}_{0.026}$	+
25	пентландит	$(\text{Fe}_{4.379}\text{Ni}_{4.060}\text{Co}_{0.457}\text{Cu}_{0.099})_{\Sigma 8.996}\text{S}_{8.00}$	++
26	хизлевудит	$(\text{Ni}_{2.898}\text{Fe}_{0.120}\text{Cu}_{0.001})_{\Sigma 3.02}\text{S}_{2.00}$	++

Примечание: 1 – 7 – Верхне-Сарангинское; 8 – 11 – Лактыбаш; 12 – 15 – Абласовское; 16 – 21 – Малый Башарт; 22 – 26 – им. Менжинского; прочерк означает, что содержание данного элемента не превышает предел обнаружения; n – количество анализов, * – возможно, подсветка матрицы хромшпинелидов; распространенность: +++ – типичный, ++ – редкий, + – единичные находки

Чаще всего они встречаются в виде точечных и шестоватых образований размером в первые микроны (длиной до 10 микрон). По составу арсениды близки к маухериту либо орселиту, типичные примеси – сурьма, железо, хром (табл.1). На нескольких участках встречены тонкие включения самородной меди размером первые микроны (рис.2 е). Основной примесью является никель (до 3,74 мас.%), также отмечается железо (до 0,99%). Присутствующий в анализах хром (до 2,46 мас.%) вероятнее всего захвачен из хромитовой матрицы.

Месторождение Малый Башарт. Хизлевудит и пентландит являются главными аксессуарными минералами, встречающимися в хромититах и вмещающих шпинелевых перидотитах данного месторождения (рис.3), иногда они образуют сростки (рис.3 б), часто отмечается замещение пентландита оксидом железа (рис.3 д), видимо, в этом же процессе происходит образование выделений хизлевудита (рис. 3 б–г).

В отдельных случаях отмечались также сростки пентландита с арсенидом никеля, близким к орселиту (рис.3 а). Размер зерен

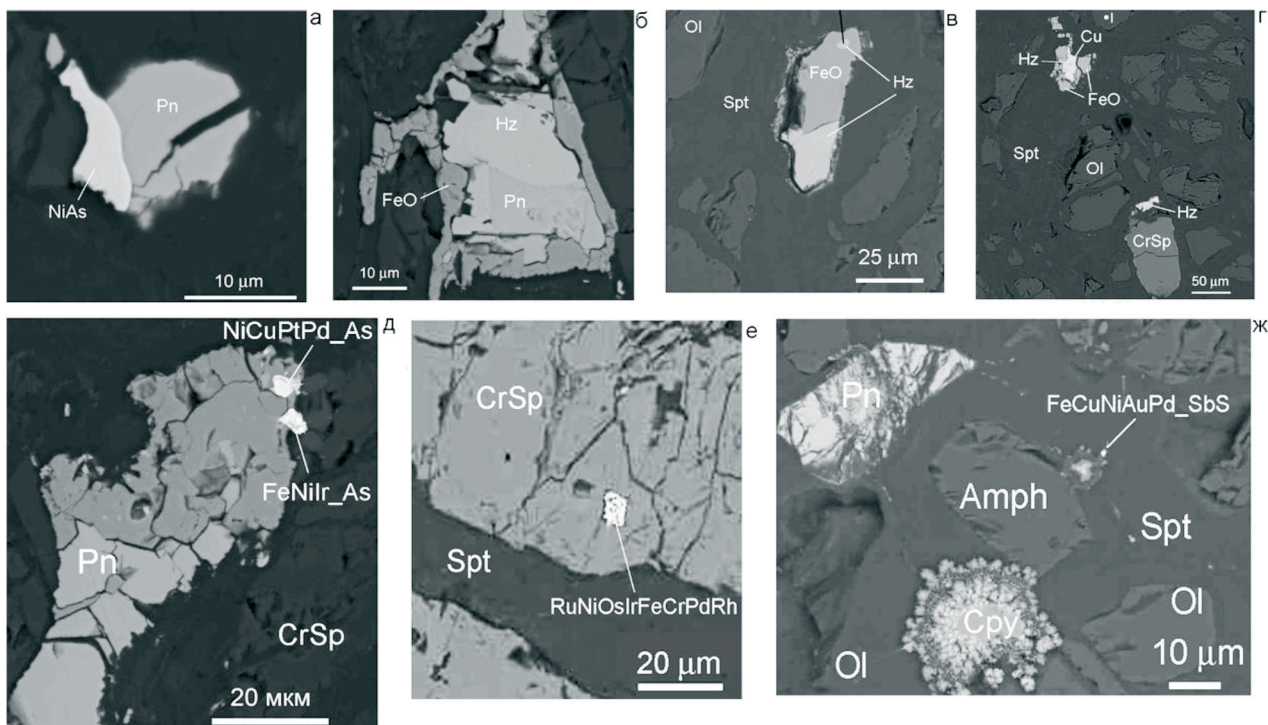


Рис.3. Акцессорные минералы в хромититах и вмещающих ультрамафитах месторождения Малый Башарт

Примечание – Снимки в обратно-рассеянных электронах. Ol – оливин, Amph – амфибол, Spt – серпентин, CrSp – хромшпинелид, Pn – пентландит, Hz – хизлевудит, Crpy – халькопирит

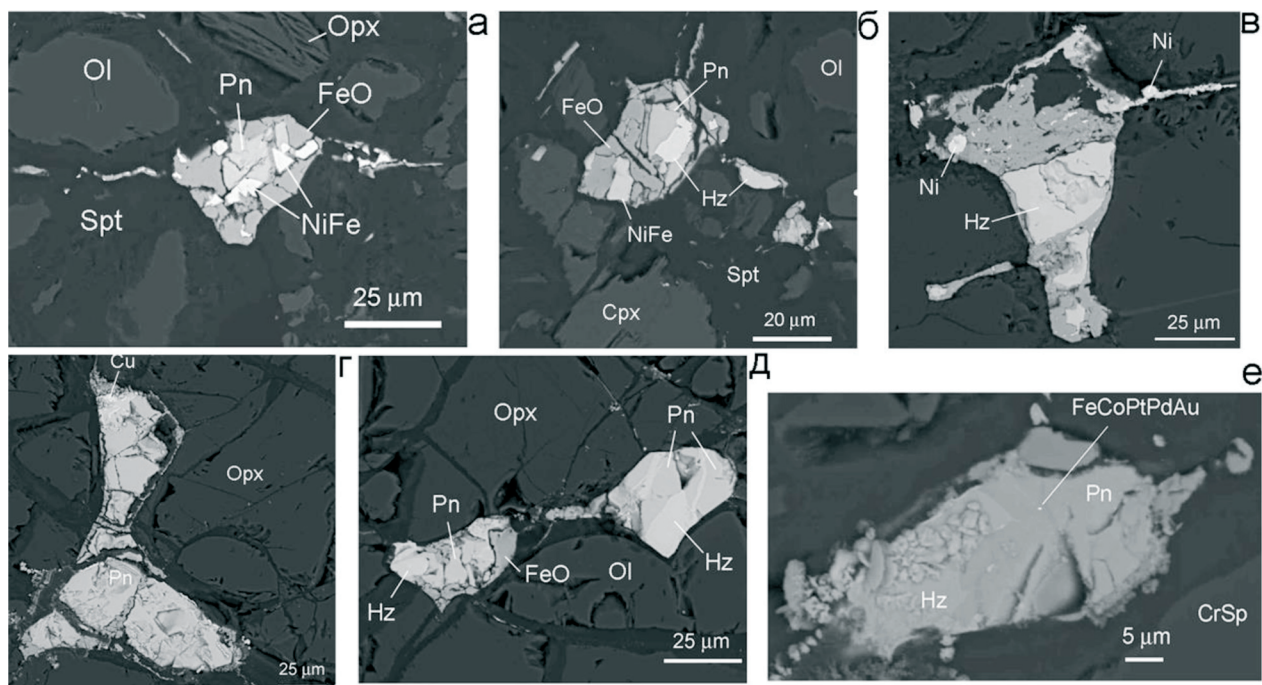


Рис. 4. Акцессорные минералы в хромититах и вмещающих ультрамафитах месторождения им. Менжинского

Примечание – Снимки в обратно-рассеянных электронах. Ol – оливин, Opх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, Spt – серпентин, CrSp – хромшпинелид, Pn – пентландит, Hz – хизлевудит

пентландита достигает 100 мкм, в одном из них, локализованном внутри хромитита, встречены выделения минералов платиновой группы, которые представлены арсенидами сложного состава (рис. 3 д). На снимке видно, что оба выделения приурочены к краевой части крупного частично замещенного зерна пентландита, к области, сложенной в настоящее время оксидами железа.

В хромититах также встречены единичные включения интерметаллидов сложного состава, содержащих ЭПГ (рис. 3 е). Размер выделений составляет 1–10 мкм, в их составе основная роль принадлежит Ni, Fe и тугоплавким платиноидам (Ru, Os, Ir), в виде примеси встречаются также Pd, Rh, Cr. Мельчайшие выделения сульфосолей благородных металлов встречены также в амфиболсодержащих перидотитах, их включения приурочены к оксидным ореолам вокруг зерен сульфидов, преимущественно халькопирита и пентландита (рис. 3 ж). В их составе определены Pd, Au, Cu, Ni, Fe. Количественный анализ данных минералов провести не удалось из-за очень малого размера частиц.

Месторождение им. Менжинского. На данном месторождении наибольшее количество зерен акцессорных минералов было выявлено не в хромититах, а в образцах вмещающих пород – массивных перидотитов. Также как в описанных выше объектах, наибольшим распространением здесь пользуются выделения сульфидов никеля – пентландита и хизлевудита (рис.4), при замещении которых происходит образование оксидов железа и аваруита (рис.4 а–д), а также самородного никеля и меди (рис. 4 в, г).

Обычно выделения сульфидов приурочены к участкам апооливинового серпентина, но иногда встречаются на контакте свежих зерен оливина и ортопироксена (рис. 4 г, д). Для них характерно формирование «лапчатых» кристаллов (рис.4 а–в), реже – выделений с округлыми очертаниями (рис. 4 г), иногда округлые зерна соединяются узкими проводниками (рис. 4 д). В отдельных срос-

тках пентландита и хизлевудита были обнаружены мельчайшие субмикронные выделения фаз сложного состава на основе железа, включающих благородные металлы – Pt, Pd, Au (рис. 4 е).

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Опыт изучения как офиолитов, так и расслоенных интрузий показывает, что акцессорные сульфиды никеля и меди могут являться одними из главных концентраторов элементов платиновой группы в ультрамафитах и хромовых рудах. В частности, в уникальном расслоенном комплексе Бушвельд платиноносность рифа UG-2 определяется наличием мелких выделений Ni-Cu-сульфидов (base metal sulfides, BMS) в цементе вкрапленных хромшпинелидов [6 и др.]. Аналогичные особенности локализации платиноидов предполагаются для хромититов Полярного Урала [5].

Перспективы офиолитовых ультрамафитовых массивов на благороднометальное оруденение связаны с двумя типами хромититовой минерализации: 1) приуроченной к дунитам мантийной части разреза и 2) приуроченной к верлит-пироксенитовой ассоциации переходного мантийно-корового комплекса. По масштабам залежей хромовых руд первый тип является преобладающим, с ним связаны все промышленно-значимые месторождения хрома в массивах офиолитовой ассоциации (так называемые подиформные месторождения), второй тип имеет подчиненное значение. Многочисленными предшествующими исследованиями установлено, что состав платинометальной минерализации варьирует в разрезе офиолитовых комплексов. Для месторождений первого типа характерно преобладание в рудах платиноидов тугоплавкой триады (Os-Ir-Ru), тогда как во втором основная роль принадлежит платине, а остальные ЭПГ имеют подчиненное значение [7, 8 и др.].

Проведенное ранее изучение содержащий ЭПГ в хромититах массивов Крака показало, что в месторождениях и рудопрояв-

лениях мантийного разреза примерно в равных количествах присутствуют платина и тугоплавкие платиноиды [9]. Это позволило выделить субхондритовый кракинский тип распределения платиноидов, отличающийся от более дифференцированного тугоплавкового типа массивов с существенно гарцбургитовым типом разреза [10; 11]. Вместе с тем, в хромититах переходного мантийно-корового комплекса резко преобладает платина, в меньших количествах присутствует палладий при минимальных концентрациях остальных платиноидов [9; 12], здесь выявлен ряд рудопроявлений хромититов с обильной платинометальной минерализацией [12; 13].

Как показано в работе [9], суммарное содержание ЭПГ в хромититах мантийного разреза массивов Крака в среднем составляет 200 мг/т. Приведенные выше данные о распределении акцессорной минерализации показывают, что сульфиды никеля, меди и железа часто могут концентрировать в себе металлы платиноидов в виде примесей. По данным работы [5], типичное содержание суммы ЭПГ в сульфидах Полярно-Уральских

массивов составляет порядка 0,1 мас. %. В этом случае, в неизмененных сульфидах с равномерным распределением платиноидов, энерго-дисперсионный анализ в растровом электронном микроскопе не позволит выявить их значимые содержания. Лишь в случае замещения первичных сульфидов вторичной минеральной ассоциацией примесные элементы могут выделиться в виде самостоятельных минеральных фаз, как это иллюстрируют снимки на рис. 3 д, ж, 4 е.

Таким образом, присутствие в измененных сульфидных выделениях мелких включений платиноидов позволяет предполагать, что первичные неизмененные сульфиды, главным образом – пентландит, являются одними из основных концентраторов ЭПГ в мантийных хромититах и вмещающих ультрамафитах массивов Крака. Представляется важным дальнейшее изучение акцессорной минерализации массивов, а также получение и исследование сульфидных концентратов из вкрапленных руд для оценки их платиноносности.

ЛИТЕРАТУРА

- Distler V.V., Kryachko V.V., Yudovskaya M.A. Ore petrology of chromite-PGE mineralization in the Kempirsai ophiolite complex // *Mineralogy and Petrology*. 2008. Vol. 92. P. 31–58. DOI 10.1007/s00710-007-0207-3
- Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhoffler A. Structural classification of chromite pods in Southern New Caledonia // *Economic Geol.* 1981. Vol. 76. P. 805–831.
- Hock M., Friedrich G., Plueger W.L., Wichowski A. Refractory- and metallurgical-type chromite ores, Zambales Ophiolite, Luzon, Philippines // *Mineralium Deposita*. 1986. Vol. 21. P. 190–199.
- Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука. 1992. 197 с.
- Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. С.-Пб.: Наука, 1999. 252 с.
- Naldrett A., Kinnaird J., Wilson A., Chunnet G., Yudovskaya M. Platinum group elements in the critical zone of the Bushveld complex. In: *Platinum-group elements of South Africa*. N.Q. Hammond, C. Hutton (eds). Council for Geoscience, South Africa. 2015.. Mineral Resources Series (2). P. 93–193.
- Gonzalez-Jimenez J.-M., Gervilla F., Proenza J.A., Auge T., Kerestedjian T. Distribution of platinum-group minerals in ophiolitic chromitites // *Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B)*. 2009. Vol. 118. No. 3/4. P. 101–110.
- Prichard H.M., Brough C. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits. In *New developments in magmatic Ni-Cu and PGE deposits*. Li C. and Ripley E.M. (Eds.) Geological publishing house Beijing. 2009. P. 277–290.
- Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В. Петрогеохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крака. Уфа, ИГ УНЦ РАН, 2001. 213 с.
- Волченко Ю.А., Неустроева И.И. Два типа распределения платиноидов в альпинотипных комплексах складчатых поясов // *Ежегодник–1987*. ИГГ УрО АН СССР: Свердловск, 1988. С.70–73.

11. Волченко Ю.А., Золоев К.К., Коротеев В.А., Мардиросьян А.Н. Типы платинометалльного оруденения и их генетическая сущность // Актуальные проблемы магматической геологии, петрологии и рудообразования. Екатеринбург, 1995. С.38–55.
12. Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Зайков В.В., Сначев В.И., Котляров В.А., Блинов И.А. Первые проявления платинометалльной минерализации в ультрамафитах массива Средний Крака (Южный Урал) // Доклады Академии наук, 2015. Т. 460. № 5. С. 566–569.
13. Савельев Д.Е., Калмукашев С.Р., Мусабилов И.И. Платинометалльное оруденение верлит-пироксенитового комплекса массива Средний Крака и перспективы его практического освоения // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Уфа. 2018. С. 300–306.

REFERENCES

1. Distler V.V., Kryachko V.V., Yudovskaya M.A. Ore petrology of chromite-PGE mineralization in the Kempirsai ophiolite complex. Mineralogy and Petrology, 2008, vol. 92, pp. 31–58. doi: 10.1007/s00710-007-0207-3
2. Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhofer A. Structural classification of chromite pods in Southern New Caledonia. Economic Geology, 1981, vol. 76, pp. 805–831.
3. Hock M., Friedrich G., Plueger W.L., Wichowski A. Refractory- and metallurgical-type chromite ores, Zambales Ophiolite, Luzon, Philippines. Mineralium Deposita, 1986, vol. 21, pp. 190–199.
4. Makeev A.B. Mineralogiya alpinotipnykh ultrabazitov Urala [Mineralogy of alpine-type ultrabasites of the Urals]. St. Petersburg, Nauka, 1992, 197 p. (In Russian).
5. Makeev A.B., Bryanchaninova N.I. Topomineralogiya ultrabazitov Polyarnogo Urala [Topomineralogy of the Polar Ural ultrabasites] St. Petersburg, Nauka, 1999, 252 p. (In Russian)
6. Naldrett A., Kinnaird J., Wilson A., Chunnet G., Yudovskaya M. Platinum group elements in the critical zone of the Bushveld complex. In: Platinum-group elements of South Africa. N.Q. Hammond, C. Hotton (eds). Council for Geoscience, South Africa, 2015, Mineral Resources Series (2), pp. 93–193.
7. Gonzalez-Jimenez J.-M., Gervilla F., Proenza J.A., Auge T., Kerestedjian T. Distribution of platinum-group minerals in ophiolitic chromitites. Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B), 2009, vol. 118, no. 3/4, pp. 101–110.
8. Prichard H.M., Brough C. Potential of ophiolite complexes to host PGE deposits. In: New developments in magmatic Ni-Cu and PGE deposits. C. Li, E.M. Ripley (eds.) Geological publishing house Beijing, 2009, pp. 277–290.
9. Snachev V.I., Saveliev D.E., Rykus M.V. Petrochimicheskie osobennosti porod i rud gabbrogiperbazitovykh massivov Kraka [Petrochemical features of rock and ores of Kraka gabbrogyperbasite massifs]. Ufa, BGU, 2001, 213 p. (In Russian).
10. Volchenko Yu.A., Neustroeva I.I. Dva tipa raspredeleniya ptatinoidov v alpinotipnykh kompleksakh skladchatykh pojasov [Two types of PGE distribution in the alpine-type complexes of folded belts] Ezhegodnik-1987 [Yearbook-1987]. Sverdlovsk, IGG UrO AN SSSR, 1988, pp. 70–73. (In Russian).
11. Volchenko Yu.A., Zoloev K.K., Koroteev V.A., Mardirosyan A.N. Tipy platinovometalnogo orudneniya i ikh geneticheskaya sushchnost [Types of PGE ores and their genetic essence] Aktualnye problemy magmaticheskoy geologii, petrologii and rudoobrazovaniya [Topical problems of magmatic geology, petrology and ore deposits formation]. Ekateringurg, 1995, pp. 38–55. (In Russian).
12. Saveliev D.E., Belogub E.V., Zaykov V.V., Snachev V.I., Kotlyarov V.A., Blinov I.A. First occurrences of PGE mineralization in the Sredny Kraka ultramafic rocks (the Southern Urals). Doklady Earth Sciences, 2015, vol. 460, part. 2, pp. 103–105.
13. Saveliev D.E., Kalmukashev S.R., Musabirov I.I. Platinometalnoe orudnenie verlit-piroksenitovogo kompleksa massiva Sredniy Kraka i perspektivy ego prakticheskogo ispolzovaniya [PGE mineralization of the werlite-pyroxenite complex in the Sredny Kraka massif and prospects for its use]. Geologiya, poleznye iskopaemye i problema okruzhayushchey sredy Bashkortostana i sopredelnykh territoriy [Geology, minerals and ecology problems of Bashkortostan and adjacent regions]. Ufa, 2018, pp. 300–306. (In Russian).

Работа выполнена в рамках Государственного задания по темам №0252–2017–0014 и №0246–2019–0078. Аналитические исследования проведены на базе ЦКП ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов» и ЦКП ИМин УрО РАН.