

*М. Н. Анкушев<sup>1</sup>, В. В. Зайков<sup>1,2</sup>, В. А. Котляров<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

*<sup>2</sup> – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе  
ankushev\_maksim@mail.ru*

## **Скелетные хромшпинелиды и гейкилит месторождения Владимир (Варшавский гипербазитовый массив, Южный Урал)**

Варшавский гипербазитовый массив с месторождениями хромитовых руд расположен в 330 км к югу от г. Челябинска в юго-западной части Карталинского района Челябинской области. Среди рудных объектов массива исследовательский интерес представляет хромитовое месторождение Владимир. Целью работы является характеристика скелетных хромшпинелидов и сопутствующих им минералов в рудовмещающей толще месторождения Владимир. Основными задачами работы стали изучение морфологии и состава скелетных хромшпинелидов и ассоциирующих минералов.

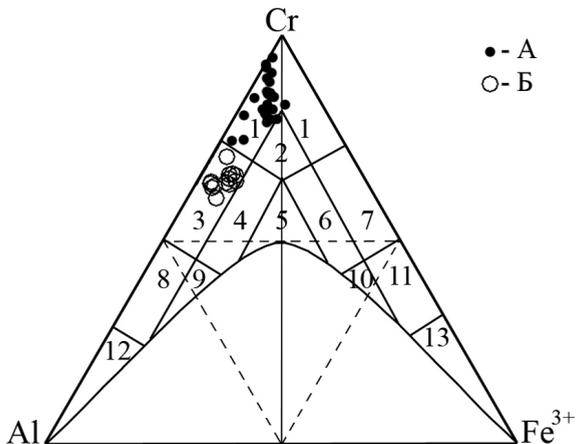
Материал для исследований был получен в ходе полевых работ 2013 г. В это время проводилось картирование карьера месторождения и детальная документация рудовмещающей толщи. Для исследования отбирались образцы гипербазитов различных типов, в том числе с вкрапленниками хромшпинелидов, полосчатые и жильные хромитовые руды. Оптические исследования проводились на микроскопе Axio-lab Carl Zeiss и Olympus BX-51, состав хромшпинелидов и минеральных включений установлен на электронном микроскопе Института минералогии УрО РАН РЭММА-202М (аналитик В. А. Котляров).

Варшавский гипербазитовый массив представляет собой вытянутое в широтном направлении тело размером 15 ? 7 км. Месторождение Владимир было открыто в 1929 г., разведывалось и разрабатывалось небольшими карьерами в 1929–31 гг. трестом «Башхромит», а в 1996–2000 гг. – ОАО «ЧЭМК» [Иванушкин, 2006ф]. Рудные тела находятся в сильно выветрелых бурых серпентинитах, рассеченных сетчатыми жилками магнезита, и вскрыты карьером удлиненной формы 45 ? 26 м и глубиной до 9 м. Фрагменты рудных тел находятся в северо-восточной стенке карьера. Руды массивные и полосчатые густовкрапленные. Рудовмещающие гипербазиты гидротермально преобразованы в тальк-карбонатные метасоматиты.

Ранее на месторождении изучен состав хромшпинелидов жильных и полосчатых руд, а также акцессорных хромшпинелидов из вмещающих гипербазитов [Анкушев и др., 2013]. Полосчатые руды сложены хромитами следующего состава (мас. %):

Рис 1. Составы хромшпинелидов месторождения Владимир на классификационной диаграмме [Павлов, 1949].

А – скелетные хромшпинелиды, Б – хромиты жильных и полосчатых рудных тел. Поля составов хромшпинелидов: 1 – хромит, 2 – субферрихромит, 3 – алюмохромит, 4 – субферриалюмохромит, 5 – ферриалюмохромит, 6 – субалюмоферрихромит, 7 – феррихромит, 8 – хромпикотит, 9 – субферрихропикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит.



$\text{Cr}_2\text{O}_3$  50–52;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14–15;  $\text{MgO}$  9–10;  $\text{FeO}$  24–26;  $\text{TiO}_2$  0.3–0.4;  $\text{MnO}$  0.2–0.4. Хромшпинелиды жильного тела имеют состав (мас. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  48–52;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14–18;  $\text{MgO}$  10–14;  $\text{FeO}$  18–23;  $\text{TiO}_2$  0.3–0.4;  $\text{MnO}$  0.2–0.3. Рудные хромшпинелиды на классификационной диаграмме Павлова соответствуют алюмохромиту (рис. 1). Состав аксессуарных хромшпинелидов (мас. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  39–43;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  20–25;  $\text{MgO}$  8–10;  $\text{FeO}$  25–30;  $\text{TiO}_2$  0.4–0.6;  $\text{MnO}$  0.4–0.7;  $\text{ZnO}$  0.1–0.5.

Скелетные хромшпинелиды встречаются намного реже. Это ксеноморфные или гипидиоморфные зерна, иногда с изъеденными границами. Зерна пронизаны вросками хлорита, вследствие чего проявляется графическая текстура. Такие хромшпинелиды являются весьма высокохромистыми, имеют пониженное содержание  $\text{MgO}$  и очень низкое –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Состав минерала следующий (мас. %):  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  57–67;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2–9 (редко до 12);  $\text{MgO}$  4–9 (редко до 11);  $\text{FeO}$  19–31;  $\text{TiO}_2$  до 1;  $\text{MnO}$  до 0.9 (табл. 1). Состав минерала соответствует хромиту.

Сходная генерация хромитов наблюдается в краевых частях жильных рудных тел и на контактах хромитовых прожилков и жил нефритоподобных серпентинитов. Часто скелетные агрегаты встречаются в виде единичных зерен и тонких оторочек, проходящих по контакту рудного прожилка и серпентинита. Также на месторождении зафиксированы рудные прожилки мощностью несколько сантиметров, целиком выполненные скелетными, высокохромистыми зернами. Такие прожилки характеризуются решетчатой или губчатой текстурой. В прожилках наблюдаются раздробленные участки, свидетельствующие об интенсивном катаклазе.

Хромсодержащий гейкилит присутствует в скелетных хромитах в виде гипидиоморфных зерен размером до 15 мкм (рис. 2). Содержание  $\text{Cr}$  в минерале колеблется от 1.6 до 2.5 %; примесь  $\text{V}_2\text{O}_5$  составляет 0.1–0.9 %. Гейкилит также образует ксеноморфные зерна размером до 100 мкм в межзерновом пространстве. Такой гейкилит отличается пониженной хромистостью (табл. 1, ан. 5). Ксеноморфные агрегаты гейкилита встречаются также внутри расплавных силикатных включений среди хромитов.

На Урале гейкилит впервые обнаружен С. А. Кашиным в Верблюжегорском серпентинитовом массиве в метаморфизованной хромитовой руде [Минералогия..., 2000]. Отмечена также ассоциация гейкилита с высокотитанистыми хромшпинелидами ( $\text{TiO}_2$  не менее 1 %) [Пушкарёв, 2000].

## Состав скелетных хромшпинелидов и гейкилита месторождения Владимир, мас. %

№ п/п	№ ан-шлифа	Кол-во анализов	TiO <sub>2</sub>	MgO	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Кристаллохимическая формула
Хромит											
1	5вл-49	22	0.57	6.80	25.16	62.23	0.22	–	4.62	99.61	(Mg <sub>0.35</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.63</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.99</sub> (Cr <sub>1.71</sub> Al <sub>0.19</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.09</sub> Ti <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
2	5вл-62	1	–	8.81	20.60	60.74	0.55	–	8.76	99.46	(Mg <sub>0.44</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.54</sub> Mn <sub>0.02</sub> )(Cr <sub>1.62</sub> Al <sub>0.35</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.03</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3	5вл-64	3	0.39	9.74	20.65	58.98	0.16	–	9.61	99.48	(Mg <sub>0.48</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.51</sub> ) <sub>0.99</sub> (Cr <sub>1.55</sub> Al <sub>0.38</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.06</sub> Ti <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
4	5вл-79	2	0.49	4.87	30.57	57.54	0.82	–	4.42	98.69	(Mg <sub>0.26</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0.71</sub> Mn <sub>0.02</sub> ) <sub>0.99</sub> (Cr <sub>1.62</sub> Al <sub>0.19</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.18</sub> Ti <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Гейкилит											
5	5вл-49	3	61.25	12.39	25.05	0.42	0.38	–	0.01	99.51	(Mg <sub>0.42</sub> Fe <sub>0.47</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.9</sub> (Ti <sub>1.04</sub> Cr <sub>0.01</sub> ) <sub>1.05</sub> O <sub>3</sub>
6		3	59.70	12.94	24.53	1.57	0.43	–	0.06	99.23	(Mg <sub>0.44</sub> Fe <sub>0.47</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.92</sub> (Ti <sub>1.02</sub> Cr <sub>0.03</sub> ) <sub>1.05</sub> O <sub>3</sub>
7		1	60.95	13.46	22.11	2.49	0.47	–	0.06	99.55	(Mg <sub>0.45</sub> Fe <sub>0.41</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.87</sub> (Ti <sub>1.03</sub> Cr <sub>0.04</sub> ) <sub>1.05</sub> O <sub>3</sub>
8		1	61.40	12.61	22.93	2.27	0.33	0.09	0.04	99.66	(Mg <sub>0.42</sub> Fe <sub>0.43</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.86</sub> (Ti <sub>1.04</sub> Cr <sub>0.04</sub> ) <sub>1.08</sub> O <sub>3</sub>
9		1	60.42	13.31	22.56	2.08	0.51	0.35	0.10	99.32	(Mg <sub>0.45</sub> Fe <sub>0.42</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.88</sub> (Ti <sub>1.02</sub> Cr <sub>0.04</sub> ) <sub>1.06</sub> O <sub>3</sub>
10		2	61.65	13.71	22.09	1.67	0.42	0.31	0.07	99.89	(Mg <sub>0.46</sub> Fe <sub>0.41</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.88</sub> (Ti <sub>1.03</sub> Cr <sub>0.03</sub> ) <sub>1.06</sub> O <sub>3</sub>
11		1	61.47	13.57	22.15	1.77	0.48	0.40	0.01	99.85	(Mg <sub>0.45</sub> Fe <sub>0.41</sub> Mn <sub>0.01</sub> ) <sub>0.87</sub> (Ti <sub>1.03</sub> Cr <sub>0.03</sub> ) <sub>1.06</sub> O <sub>3</sub>

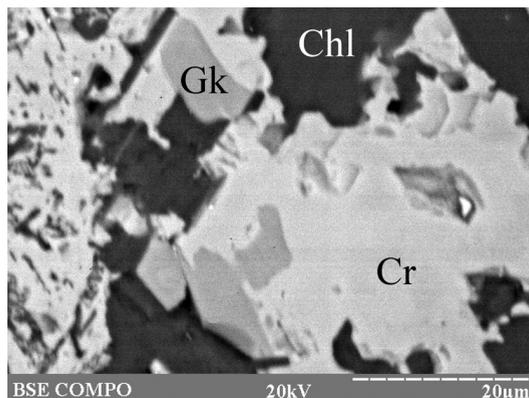
Примечание. Здесь и в таблице 2 анализы выполнены на электронном микроскопе РЭММА 202М с ЭДС (аналитик В. А. Котляров), прочерк – не обнаружено.

## Состав включений сульфидов и арсенидов в скелетных хромитах месторождения Владимир, мас. %

№ п/п	№ ан-шлифа	Кол-во анализов	Ni	Co	Fe	As	Pb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
Миллерит										
1	5вл-64	3	63.89	0.12	1.53	–	–	34.48	100.00	(Ni <sub>1.01</sub> Fe <sub>0.02</sub> ) <sub>1.03</sub> S
2	5вл-79	3	58.40	0.00	7.19	0.92	–	33.35	99.87	(Ni <sub>0.95</sub> Fe <sub>0.12</sub> ) <sub>1.07</sub> (S <sub>0.99</sub> As <sub>0.01</sub> )
Пентландит										
3	5вл-79	4	42.35	0.40	23.16	0.53	–	33.57	100.00	(Ni <sub>5.47</sub> Fe <sub>3.16</sub> Co <sub>0.02</sub> ) <sub>8.65</sub> (As <sub>0.06</sub> S <sub>7.94</sub> ) <sub>8</sub>
Ni-галенит										
4	5вл-64	1	7.35	–	–	2.03	74.28	14.75	99.18	(Pb <sub>0.74</sub> Ni <sub>0.26</sub> Cu <sub>0.02</sub> ) <sub>1.02</sub> (S <sub>0.94</sub> As <sub>0.06</sub> )
Маухерит										
5	5вл-49	1	49.15	–	1.76	48.36	–	–	99.28	(Ni <sub>10.38</sub> Fe <sub>0.39</sub> ) <sub>10.77</sub> As <sub>8</sub>
6	5вл-85	1	47.54	0.48	2.25	49.73	–	–	100.00	(Ni <sub>9.76</sub> Fe <sub>0.49</sub> Co <sub>0.1</sub> ) <sub>10.35</sub> As <sub>8</sub>
7		1	46.90	0.10	4.42	47.87	–	0.72	100.00	(Ni <sub>9.66</sub> Fe <sub>0.96</sub> Co <sub>0.02</sub> ) <sub>10.64</sub> (As <sub>7.73</sub> S <sub>0.27</sub> ) <sub>8</sub>

Примечание. В составе Ni-галенита присутствует примесь Cu 0.77 мас. %.

Рис. 2. Включения гейкилита в скелетном хромшпинелиде из месторождения Владимир, обр. 5вл-49.



На месторождении Владимир гейкилит обнаружен в скелетных хромшпинелидах с более низким содержанием  $\text{TiO}_2$  0,3–1 мас. %.

В скелетных зернах хромита, кроме гейкилита, присутствуют включения миллерита, пентландита, Ni-содержащего галенита и маухерита (табл. 2). Составы миллерита и пентландита аналогичны таковым в рядовых хромшпинелидах. Изометричное зерно Ni-галенита размером  $1 \times 3$  мкм найдено в сростании с минералом сложного состава Ni–As–Pb–Sb–S. Маухерит образует зерна удлиненной формы размером до 5 мкм и иногда характеризуется примесью Co.

По данным предшественников, изучавших гипербазитовые массивы Урала, высокохромистые (низкоглиноземистые, низкомагнезиальные) скелетные хромшпинелиды в ассоциации с хлоритом возникают при процессах высокоградного метаморфизма [Спиридонов и др., 1997]. Характеристика метаморфогенных хромшпинелидов Урала дана в статье [Толканов и др., 2005]. Ассоциация скелетных высокохромистых хромшпинелидов и гейкилита, описанная на месторождении Владимир, может являться следствием интенсивного преобразования рудных алюмохромитов под воздействием тальк-карбонатного метасоматоза. Этот процесс проявлен в рудовмещающих гипербазитах восточного фланга Варшавского массива. Нахождение гейкилита исключительно в скелетных хромшпинелидах свидетельствует о переходе соединений титана в самостоятельную минеральную фазу. В пользу такого предположения свидетельствуют мышьяксодержащие минералы, установленные в скелетных хромшпинелидах.

*Авторы благодарят М. Е. Романенко за помощь при проведении полевых работ. Работа поддержана молодежным проектом УрО РАН № 14-5-НП-249.*

## Литература

Анкушев М. Н., Зайков В. В., Котляров В. А. и др. Акцессорные хромшпинелиды и сульфиды в гипербазитах месторождения Владимир (Варшавский рудный район, Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканических комплексов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. С. 112–115.

Иванушкин А. Г. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ на хромовые руды в пределах Варшавского гипербазитового массива, проведенных Сосновским филиалом ГУП «Южуралгеологоразведка» в 1997–2000 гг. в Карталинском районе Челябинской области в 4 книгах и 1 папке. Челябинск, 2006.

Минералогия Урала. Оксиды и гидроксиды. В 2 ч. Часть I. Миасс–Екатеринбург, 2000.

Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Геологического института РАН. 1949. Вып. 103. 91 с.

*Пушкарев Е. В.* Петрология Уктусского дунит-гарцбургит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 291 с.

*Спиридонов Э. М., Барсукова Н. С., Бакшеев И. А. и др.* Процессы преобразования первичных хромшпинелидов гипербазитов Баженовского, Карабашского, Шабровского, Сарановского, Нуралинского массивов, мелких тел Березовского и Гумбейского месторождений Урала // Уральская летняя минералогическая школа–97. Екатеринбург, 1997. С. 23–27.

*Толканов В. Н., Чернобровин В. П., Ослоповских В. П. и др.* О явлениях метаморфизма хромшпинелида хромовых руд на примере Урала. Верхнеуфалейская группа месторождений и Качкинское месторождение // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Metallургия. 2005. № 3. С. 3–12.