

О ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ И ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ХРОМИТОВЫХ РУД В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

И. С. Чашухин, В. А. Чашухина, В. Г. Гмыра

Ранее на обширном оригинальном фактическом материале по ультрамафитам Среднего Урала (Алапаевский, Восточнотагильский, Первомайский массивы) было показано: а) составы хромитовых руд и вмещающих ультрамафитов между собой тесно связаны; б) ультрамафиты слагают разобщенные в пространстве комплексы – сильно дифференцированные дунит-гарцбургитовые серии с высокохромистыми рудами и слабо дифференцированные гарцбургиты с глиноземистыми рудами; в) поля составов хромитовых концентраций, как правило, образуют в координатах “железистость-хромистость” изолированные поля с различными и ясно выраженными трендами [4–6]. Так, Алапаевский и Восточнотагильский массивы сложены породами обоих комплексов и вмещают рудопроявления, соответственно, с высокохромистой и глиноземистой хромшпинелью. Эта разобщенность, а также различное окислительно-восстановительное состояние хромитов, позволили высказать предположение о том, что эти ультрамафиты гетерогенны, слагают разные блоки, а залегающие в них руды различаются не только по составу, но и по происхождению. Однако, в ряде месторождений и рудных тел зафиксировано чередование хромитов с варьирующимся от высокохромистого до глиноземистого составом рудной хромшпинели (рис. 1). Выяснение причин такого сонахождения являлось задачей исследования 2009 г. По нашему мнению, ключом для ее решения являются результаты изучения одного из рудных тел хромитового месторождения Поляков Камень в Алапаевском массиве.

Месторождение Поляков Камень расположено в пределах восточного блока массива, непосредственно к югу от р. Нейва. Блок сложен слабо дифференцированными гарцбургитами с телами и жилами апогарцбургитовых дунитов, к которым приурочены многочисленные мелкие хромитопоявления глиноземистых ($cr\# = 49–66\%$) руд (рис. 1). Петельчато серпентинизированные с поверхности на 60–80% породы претерпели интенсивный аллохимический метаморфизм, включающий многоэтапную серпентинизацию (хризотил-лизардитизацию и антигоритизацию) и тальк-карбонатизацию.

В правом скальном борту р. Нейва обнаружен выход рудного тела высотой 160 см, сложенного полосчатыми средневкрапленными хромититами с субгоризонтальной полосчатостью. Было проведено его

сплошное опробование по вертикали, вкост полочастости. Всего отобрано 22 образца. В каждом определена плотность для расчета количества хромшпинели. Затем образцы были распилены на плитки. Из части плиток изготовлены шлифы и полировки, из других выпилены микрообразцы (до 7 из каждой плитки) длиной 1.5–2 см. Микрообразцы были раздроблены в латунной ступке, в каждом методом магнитного насыщения определено содержание ферромагнитного компонента в расчете на магнетит и отобраны зерна шпинелидов для рентгеноспектрального анализа. Составы оливинов и хлоритов определены в полированных шлифах. Анализ минералов выполнен на микрозонде Cameca SX100 в Центре кол-

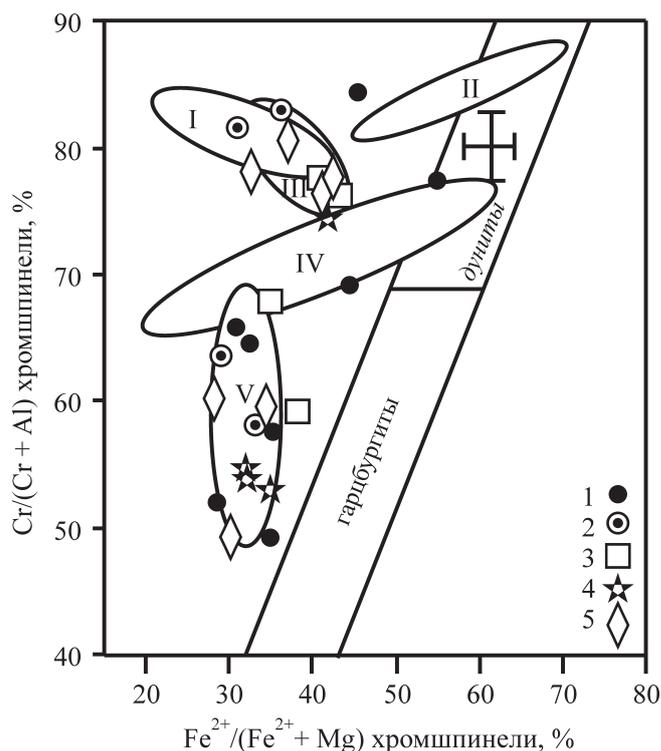


Рис. 1. Состав рудных хромшпинелей в месторождениях Урала.

1–2 – Восточнотагильский массив, м-я: 1 – Кузюзовское-1, 2 – Сионское-3; 3–5 – Первомайский массив, м-я: 3 – Новое Дело, 4 – Элен-3, 5 – Яичное. Эллипсы – поля составов рудных хромшпинелей: I–II – Кемпирсайский массив, I – ГРП, II – Западный Блактай; III–IV – массив Рай-Из: III – Центральное рудное поле (данные Е.П. Царицына), IV – Западное рудное поле [3]; V – м-я восточного блока Алапаевского массива.

Таблица 1. Химический состав хлорита из цемента хромитовых руд м-я Поляков Камень

Компоненты	7812_1	7812_2	7812_3
SiO ₂	31.69	32.09	30.91
TiO ₂	<0.01	<0.01	0.02
Al ₂ O ₃	19.36	18.6	19.75
Cr ₂ O ₃	0.09	0.08	0.19
FeO*	0.63	0.57	0.6
MnO	<0.01	<0.01	<0.01
MgO	33.52	34.12	32.84
NiO	0.27	0.26	0.26
CaO	0.01	0.02	0.03
Na ₂ O	0.04	0.05	0.04
Сумма	85.6	85.8	84.64
Количество ионов в расчете на 10 катионов			
Si	3.010	3.038	2.972
Al(IV)	0.990	0.962	1.028
Al(VI)	1.178	1.114	1.211
Cr	0.007	0.006	0.014
Fe ²⁺	0.050	0.045	0.048
Mn	0.000	0.000	0.000
Mg	4.744	4.815	4.707
Ni	0.021	0.020	0.020
OH	7.806	7.841	7.802

лективного пользования УрО РАН “Геоаналитик” (Институт геологии и геохимии УрО РАН).

Хромититы сложены изометричными ксеноморфными зернами хромшпинели размером око-

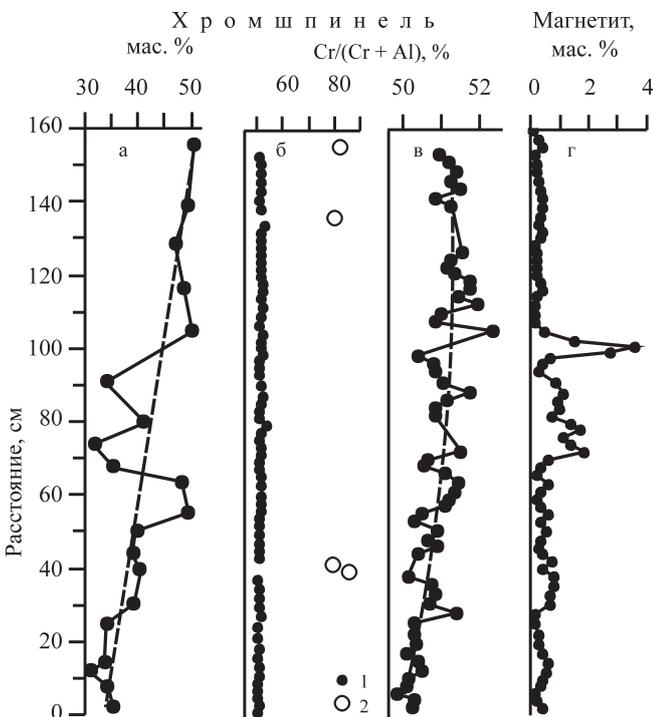


Рис. 2. Вариации количества и хромистости рудной хромшпинели в месторождении Поляков Камень. 1 – первичная хромшпинель, 2 – метаморфизованная хромшпинель. Фрагмент в – увеличенный участок фрагмента б.

ло 1 мм, образующими сростания до 2–3 мм. Разрез вскрыл границу свежих и метаморфизованных руд. Она фиксирует резкую смену серпентинового цемента хлоритовым. В неметаморфизованной части хромитит в отраженном свете – светло-серый, однородный, в проходящем – темно-коричневый; цемент практически нацело сложен петельчато серпентинизированным оливином железистостью 5.7–6.2% **Fa**. **В ядрах петель серпентина обнаружен апобруситовый (?) пироаурит.** В метаморфизованной части хромититов, вдали от непосредственной границы со свежими, рудный также однороден по строению и представлен исключительно хроммагнетитом с хлоритовым цементом, оливин не обнаружен. При этом различий в первичных текстуре и структуре хромититов обеих зон не отмечено. Можно различить две генерации хлорита – раннюю, мелкошуйчатую, и позднюю, крупнозернистую. С появлением последней степень преобразования хромшпинели в **Cr-магнетит возрастает.** **В целом, это преобразование усиливается в сторону от границы со свежими рудами.** Изредка хлорит замещает петельчатый серпентин. **Метаморфизм описывается реакцией: хромшпинель + петельчатый серпентин + брусит (+реликты оливина) → хлорит + Cr-магнетит.**

По-видимому, процесс метаморфизма руд был изохимическим, даже в отношении воды. Об этом свидетельствует исчезновение оливина в продуктах метаморфизма и сохранность его реликтов в неметаморфизованной зоне хромититов, которые компенсируют избыточное, против состава хлорита, содержание воды в продуктах его петельчатой серпентинизации – лизардита и брусита. Судя по интерференционной окраске и составу, хлорит представлен клинохлором (табл. 1). Обращает внимание дефицит конституционной воды, в то время как для раннего лизардита давно установлен ее избыток [1, 7]. Таким образом, есть основания предполагать, что метаморфизму были подвержены уже испытывавшие раннюю серпентинизацию руды.

На описанную выше зональность накладывает вторую стадию метаморфизма. Он выражен в развитии по цементу обеих зон гребенчатого антигорита, а по хромшпинели – прожилков магнетита. Появление магнетита фиксируется в увеличении доли ферромагнитного компонента с 0.3–0.6 мас. % в свежих и Cr-магнетит-содержащих рудах до 1–4 мас. % в антигорит-содержащих (табл. 2, рис. 2–4). Иногда вместе с антигоритом развивается карбонат.

Составы рудных минералов приведены в табл. 2 и на рис. 2. В вертикальном разрезе количество хромшпинели закономерно уменьшается с 50 до 30 мас. %, что исключает кристаллизацию руд из расплава (рис. 2а). Первичные хромшпинели имеют практически постоянный состав – $Cr/(Cr + Al) = 51 \pm 1$ мас. % (рис. 2б, в). Состав вторичной шпинели не постоянен (рис. 3), содержание Cr₂O₃ постепенно увеличивается с 41 до 57 мас. %

Таблица 2. Вариации состава и количеств шпинелидов (мас. %) по разрезу через рудное тело м-я Поляков Камень

№ обр.	7808(4)	7809(2)	7810(1)	7811(5)	7812(2)	7813(4)
Интервал, см	0–8	8–12	12–14	14.5–25	25–28	28–38
Шпинелид	Хромшпинель					
TiO ₂	0.16 ± 0.002	0.16	0.16	0.16 ± 0.01	0.17	0.17 ± 0.01
V ₂ O ₃	0.15 ± 0.01	0.15	0.15	0.16 ± 0.01	0.16	0.16 ± 0.03
Al ₂ O ₃	27.18 ± 0.18	27.32	27.16	27.25 ± 0.35	26.86	26.93 ± 0.19
Cr ₂ O ₃	40.76 ± 0.51	40.93	41.29	41.05 ± 0.15	41.40	41.14 ± 0.45
FeO*	15.19 ± 0.11	15.42	15.21	15.13 ± 0.15	15.02	14.92 ± 0.19
MnO	0.13 ± 0.01	0.12	0.12	0.12 ± 0.01	0.10	0.10 ± 0.02
MgO	15.09 ± 0.16	15.11	15.21	15.19 ± 0.14	15.26	15.34 ± 0.14
NiO	0.14 ± 0.02	0.15	0.17	0.15 ± 0.02	0.16	0.17 ± 0.03
ZnO	0.05 ± 0.01	0.03	0.04	0.04 ± 0.02	0.04	0.04 ± 0.01
Сумма	98.85	99.37	99.51	99.26	99.15	98.95
Хромшпинель	35	34	31	34	34	39
Магнетит	0.28	0.38	0.52	0.36	0.12	0.71
сг#, %	50.15	50.12	50.49	50.25	50.83	50.61
ф#, %	31.47	31.78	31.33	31.30	30.89	30.45
Fe ³⁺ /Fe, %	18.71	18.65	18.71	18.47	19.04	19.80
Плотность, г/см ³	3.10	3.08	3.03	3.07	3.08	3.16
№ обр.	7814(6)	7815(4)	7816(2)	7817(5)	7818(2)	7819(3)
Интервал, см	38–43	43–50	50.5–53	53–63	63.5–66	66–72
Шпинелид	Ст-магнетит	Хромшпинель				
TiO ₂	0.19 ± 0.03	0.17 ± 0.01	0.16	0.17 ± 0.01	0.190	0.16 ± 0.01
V ₂ O ₃	0.18 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.16	0.16 ± 0.01	0.16	0.15 ± 0.01
Al ₂ O ₃	7.51 ± 5.22	26.67 ± 0.42	26.86	26.61 ± 0.37	26.60	26.50 ± 0.28
Cr ₂ O ₃	50.84 ± 3.31	41.16 ± 0.19	41.06	41.38 ± 0.16	41.71	40.95 ± 0.43
FeO*	24.38 ± 6.61	15.02 ± 0.15	14.91	14.73 ± 0.17	14.60	15.56 ± 0.23
MnO	0.28 ± 0.16	0.10 ± 0.01	0.11	0.11 ± 0.02	0.09	0.11 ± 0.01
MgO	9.35 ± 10.56	15.23 ± 0.08	15.29	15.41 ± 0.11	15.37	15.06 ± 0.14
NiO	0.22 ± 0.05	0.17 ± 0.02	0.17	0.16 ± 0.02	0.18	0.15 ± 0.02
ZnO	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.05	0.07 ± 0.02	0.05	0.030
Сумма	93.06	98.71	98.76	98.81	98.93	98.68
Хромшпинель	40	39	39	49	48	35
Магнетит	0.64	0.30	0.40	0.34	0.40	0.90
сг#, %	82.79	50.87	50.62	51.06	51.26	50.90
ф#, %	49.96	30.69	30.49	29.90	30.18	31.38
Fe ³⁺ /Fe, %	35.13	20.01	19.82	20.48	18.95	21.12
Плотность, г/см ³	3.18	3.16	3.17	3.33	3.31	3.10
№ обр.	7820(3)	7822(5)	7823(2)	7824(2)	7825(3)	7826(5)
Интервал, см	72–76	80–91	91–95	96–98	98.5–102.5	103–114.5
Шпинелид	Хромшпинель					
TiO ₂	0.15 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.18	0.17	0.23 ± 0.01	0.17 ± 0.01
V ₂ O ₃	0.14 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.15	0.16	0.160	0.17 ± 0.01
Al ₂ O ₃	26.31 ± 0.46	26.17 ± 0.64	26.70	26.93	25.41 ± 1.05	26.25 ± 0.44
Cr ₂ O ₃	40.72 ± 0.42	41.60 ± 0.79	41.33	41.15	40.45 ± 1.21	41.61 ± 0.44
FeO*	16.70 ± 0.83	15.33 ± 0.31	15.76	15.62	19.06 ± 2.63	15.26 ± 0.29
MnO	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.11	0.12	0.16 ± 0.03	0.10 ± 0.02
MgO	14.24 ± 0.35	15.06 ± 0.14	14.90	15.02	13.57 ± 0.59	15.09 ± 0.16
NiO	0.14 ± 0.04	0.16 ± 0.01	0.17	0.15	0.12 ± 0.01	0.15 ± 0.02
ZnO	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.08	0.06	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Сумма	98.58	98.80	99.35	99.35	99.24	98.88
Хромшпинель	32	41	34	нет данных	нет данных	49
Магнетит	1.38	1.00	0.55	0.50	2.58	0.21
сг#, %	50.94	51.60	50.94	50.61	51.65	51.53
ф#, %	34.63	31.29	32.35	31.97	37.41	31.17
Fe ³⁺ /Fe, %	19.46	20.26	19.41	19.49	23.62	20.20
Плотность, г/см ³	3.04	3.19	3.08	2.59	2.52	3.34

Таблица 2. Продолжение

№ обр.	7827(6)	7828(4)	7828_5(1)	7829(7)	7830_1(1)	7830(2)
Интервал, см	115–128	128.5–134.5	135–138	138.5–152	152–155	155–160
Шпинелид	Хромшпинель		Cr-магнетит	Хромшпинель	Cr-магнетит	Хромшпинель
TiO ₂	0.27 ± 0.05	0.17 ± 0.01	0.24	0.20 ± 0.04	0.19	0.22
V ₂ O ₃	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.22	0.15 ± 0.01	0.2	0.19
Al ₂ O ₃	26.27 ± 0.17	26.44 ± 0.22	9.39	26.63 ± 0.18	7.73	25.70
Cr ₂ O ₃	41.54 ± 0.34	41.92 ± 0.63	57.5	41.65 ± 0.37	53.94	42.33
FeO*	15.22 ± 0.43	15.13 ± 0.42	20.98	15.01 ± 0.60	24.22	15.69
MnO	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.13	0.10 ± 0.01	0.29	0.13
MgO	14.99 ± 0.22	15.22 ± 0.24	10.51	15.26 ± 0.29	10.79	14.41
NiO	0.15 ± 0.03	0.16 ± 0.04	0.15	0.17 ± 0.02	0.12	0.15
ZnO	0.05 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.07	0.05 ± 0.02	0.07	0.04
Сумма	98.71	99.31	99.19	99.23	97.55	98.85
Хромшпинель	48	47	47	49	50	50
Магнетит	0.26	0.28	0.36	0.28	0.36	0.15
cr#, %	51.47	51.54	80.42	51.20	82.39	52.49
f#, %	31.46	31.04	46.88	30.77	44.36	33.74
Fe ³⁺ /Fe, %	19.40	19.31	21.23	19.48	36.72	16.74
Плотность, г/см ³	3.32	3.29	3.29	3.33	3.35	3.35

Примечание. Отбор образцов проведен по разрезу снизу вверх; цифры в скобках – количество микрообразцов; ± – квадратичные отклонения по интервалам; cr# = Cr/(Cr + Al), f# = Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg) в шпинелидах; расчет f# и Fe³⁺ проведен при допущении стехиометрии состава шпинелидов, количества ионов рассчитаны катионным методом.

и стремится к составу хроммагнетита. Неполное преобразование хромшпинели явилось причиной высокой дисперсии состава хромитовых руд в ря-

де уральских месторождений [2, 6] – (рис. 1). Это объясняет резкое увеличением величин квадратичного отклонения от средних в интервалах, сложен-

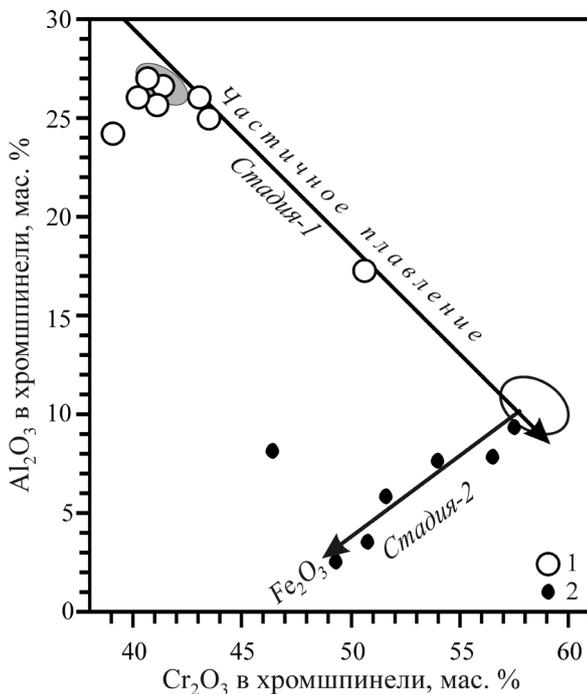


Рис. 3. Эволюция состава рудной хромшпинели месторождения Поляков Камень при метаморфизме в координатах Al₂O₃–Cr₂O₃.

1–2 – метаморфизованные шпинели: 1 – первой стадии, 2 – второй стадии. Серый эллипс – поле составов первичных хромшпинелей, Белый эллипс – состав высокохромистых хромшпинелей из руд ГРП Кемпирсайского массива.

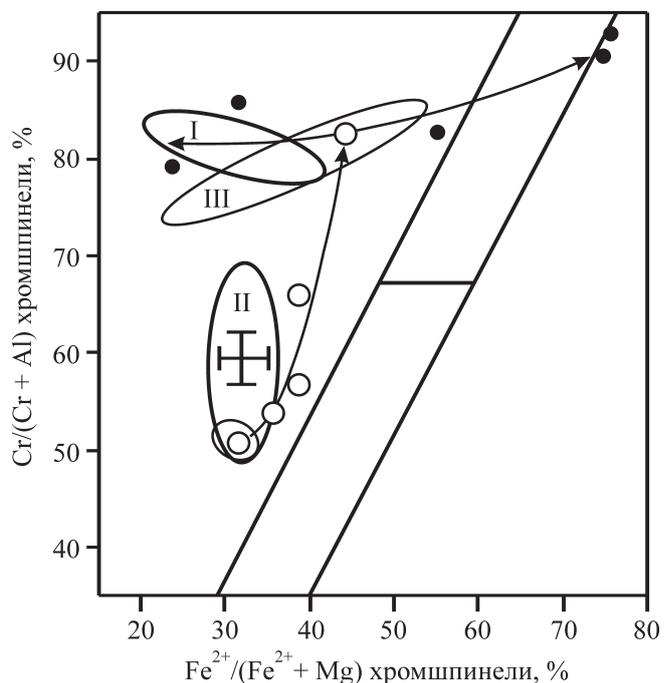


Рис. 4. Эволюция состава рудной хромшпинели месторождения Поляков Камень при метаморфизме в координатах “хромистость–железистость”.

Эллипсы – поля составов неметаморфизованных руд: I – высокохромистые руды ГРП Кемпирсайского массива; II – глиноземистые руды Алапаевского массива в целом; III – м-е Пьяноборское II, Ключевской массив. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 3.

ных Cr-магнетитовыми рудами (табл. 2, обр. 7814, 7828_5, 7630).

Эволюция состава рудной хромшпинели в ходе метаморфизма прослеживается по соотношению трехвалентных компонентов – Al_2O_3 , Cr_2O_3 и Fe_2O_3 (рис. 3). Первичный состав образует компактное поле с вариациями в пределах погрешности анализа. Можно выделить две стадии метаморфизма. На первой химизм хромшпинели эволюционирует вдоль линии частичного плавления, стремясь в сторону состава высокохромистых руд ГРП Кемпирсайского массива при незначительной роли трехвалентного железа. На второй стадии происходит вынос из структуры шпинелида двух главных компонентов – Al_2O_3 , Cr_2O_3 и увеличение Fe_2O_3 . В координатах “железистость–хромистость” на первой стадии отношение $Cr/(Cr + Al)$ **увеличивается от 50 до 80% при слабом** росте железистости от 30 до 40%, затем, на второй стадии, происходит крутой перелом в направлении эволюционной линии и при относительно слабых колебаниях хромистости резко возрастают вариации соотношений Fe^{2+} и Mg (рис. 4). Левая ветвь пересекает поле кемпирсайских хромитов, правая – стремится к составу Cr-магнетита.

В уральских массивах процессам метаморфизма подвержены руды разного первичного состава, но особенно отчетливо они обнаруживаются в глиноземистых разностях. В первично высокохромистых рудах метаморфизм фиксируется в изменении тренда химического состава рудной хромшпинели в координатах “железистость–хромистость” с обратного (“кемпирсайского”) на прямой. Примером такого месторождения может служить Пьяноборское II в Ключевском массиве (рис. 4).

Таким образом, сонахождение в пределах хромитовых месторождений руд с различным составом хромшпинели является следствием их метаморфизма.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23 “Научные основы инновацион-

ных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов” (Проект “Состав, структура и кристаллохимические особенности минералов ультрамафитов как отражение флюидного режима их формирования”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вотьяков С.Л., Чащухин И.С., Галахова О.Л., Гуляева Т.Я.* Кристаллохимия лизардита как индикатор процесса ранней серпентинизации ультрамафитов. I. Особенности состава и структуры минерала по спектроскопическим данным // *Геохимия*. 2005. № 9. С. 947–965.
2. *Малахов И.А.* Положение различных типов хромитового оруденения в разрезе ультрамафитов Урала, их состав и особенности метаморфизма // *Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез, полезные ископаемые: мат-лы науч. конф. (IX Чтения А.Н. Заварицкого)*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 185–189.
3. *Уханов А.В., Никольская Н.Е., Гужова А.В.* Следы кристаллизационной дифференциации в уральских хромитах // *Геохимия*. 1990. № 1. С. 61–72.
4. *Чащухин И.С., Сурганов А.В., Булыкин Л.Д. и др.* Закономерности состава аксессуарного и рудообразующего хромшпинелида в ультрамафитах Алапаевского массива // *Ежегодник-2001*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 281–289.
5. *Чащухин И.С., Сурганов А.В., Гмыра В.Г. и др.* Закономерности состава аксессуарной и рудообразующей хромшпинели в ультрамафитах Восточнотагильского массива // *Ежегодник-2002*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 281–289.
6. *Чащухин И.С., Мамина В.М., Сурганов А.В. и др.* Закономерности состава аксессуарной и рудообразующей хромшпинели в ультрамафитах Первомайского массива // *Ежегодник-2003*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 206–217.
7. *Штейнберг Д.С., Чащухин И.С.* Серпентинизация ультрабазитов. М.: Наука, 1977. 310 с.