Типоморфизм хромшпинелидов из голоценовых псефитов Кыввожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман)

Ю. В. Глухов, Б. А. Макеев, М. Ю. Сокерин

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
glukhov@geo.komisc.ru

Приводятся результаты изучения акцессорных хромшпинелидов из шлиховых проб золотоносных псефитов Кыввожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман). В результате изучения типохимизма хромшпинелидов обоснована их генетическая связь с породами преимущественно щелочно-ультраосновного состава — аналогами тиманских позднерифейско-вендских ультрамафитов и ранне-среднедевонских альнэитов. Формирование магматических источников хромшпинелидов происходило в широком диапазоне геотектонических обстановок — от пассивных (платформенных) до активных (островодужных зон субдукции), более характерных для основной массы хромшпинелидов. Кристаллизация хромшпинелидов, обнаруженных в качестве микровключений в лерцолитовых пиропсах в тех же самых шлиховых пробах Кыввожской золотоносной площади, увязывается с обстановкой рифтовых зон (спрединга морского дна). Сделано заключение о вероятном местном (внутридолинном) местонахождении основных магматических источников хромшпинелидов. Обнаруженные хромшпинелиды, содержащие микровключения сульфидов никеля и меди, являются, по мнению авторов, индикаторами магматических пород, содержащих минералы платиновой группы.

Ключевые слова: хромшпинелид, Кыввожское золотороссыпное поле, Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман.

Typomorphism of chromspinelides from the Holocene psephites of the Kyvvozhskoye gold-placer field (Volsko-Vymskaya ridge, Middle Timan)

Yu. V. Glukhov, B. A. Makeev, M. Yu. Sokerin

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The results of the study of accessory chrome spinels from heavy mineral concentrates of gold-bearing psephites of the Kyvvozhsky gold-placer field (Volsko-Vymskaya ridge, Middle Timan) are presented. As a result of the study of the typochemistry of chromspinelides, their genetic relationship with rocks of mainly alkaline-ultrabasic composition — analogues of Timanian Late-Riphean-Vendian ultramafites and Early-Middle Devonian alnoites is substantiated. The formation of magmatic sources of chrome spinels occurred in a wide range of geotectonic settings — from passive (platform) to active (island-arc subduction zones), which are more characteristic of the bulk of chrome spinels. The crystallization of chrome spinels, found as microinclusions in lherzolite pyropes in the same shlich samples of the Kyvvozhskaya gold-bearing area, is associated with the conditions of rift zones (spreading of the seabed). We made a conclusion about probable local (intra-valley) position of main magmatic sources of chrome spinels. The revealed chrome spinels, containing microinclusions of nickel and copper sulfides, are considered by the authors as indicators of igneous rocks containing platinum group minerals.

Keywords: chrome spinel, Kyvvozhsky gold-placer field, Volsko-Vymsky ridge, Middle Timan.

Введение

Помимо неизвестного местоположения коренного благороднометалльного оруденения Кыввожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда), есть ещё одна нерешённая задача региональной металлогении. Необходимо выяснить происхождение минералов платиновой группы, которые отмечаются в россыпях Среднего Тимана вместе с золотом. Прогнозирование и поиск магматических тел гипербазитового и базитового состава, с которыми могут быть связаны минералы платиновой группы, — перспективный путь решения этой задачи. Хромшпинелиды, встречающиеся в подобных магматитах, являются типичными ак-

цессорными минералами россыпей Кыввожского района. Кроме того, по мнению ряда авторов [11] хромшпинелиды (в частности, цинксоодержащие) на Среднем Тимане могут быть использованы при шлиховой съёмке как минералы — спутники алмаза.

Как известно, характеристики состава хромшпинелидов являются чувствительными петрогенетическими индикаторами [16, 19, 21], и изучение типохимизма хромшпинелидов позволит приблизиться к разгадке происхождения платины и других ценных минералов в россыпях региона.

В этой связи мы провели минералогическое изучение хромшпинелидов, отобранных из шлиховых проб золото-

Для цитирования: Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Сокерин М. Ю. Типоморфизм хромшпинелидов из голоценовых псефитов Кыввожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман) // Вестник геонаук. 2021. 8(320). С. 3–15. DOI: 10.19110/geov.2021.8.1.

For citation: Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Sokerin M. Yu. Typomorphism of chromspinelides from the Holocene psephites of the Kyvvozhskoye gold-placer field (Volsko-Vymskaya ridge, Middle Timan). Vestnik of Geosciences, 2021, 8(320), pp. 3–15, doi: 10.19110/geov.2021.8.1.

Рис. 1. Район работ и локализация точек пробоотбора
Fig. 1. The study area and localization of sampling points

носных псефитов ряда участков Кыввожского золотороссыпного поля — Димтэм'юльского, Кыввожского и Среднекыввожского (рис. 1). Ранее были опубликованы результаты изучения оливина и пиропов из этих же проб [5].

Методы исследования

Исследования проводились на базе ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Исходный объём шлиховых проб ~ 0.01 м³. Для получения фотоизображений хромшпинелидов использовался оптический микроскоп Nikon Eclipse LV100ND (цифровая камера DS-L3). Детали микрорельефа поверхности минеральных зёрен, их элементный состав и анатомия изучались при помощи растрового электронного микроскопа Tescan VEGA 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 (рабочее напряжение — 20 kV, напыление углеродом).

Результаты исследования

Встречаемость, морфология, granulometria. Зёрна хромшпинелидов обычно обнаруживались в концентратах шлиховых проб в количестве десятков знаков на 0.01 м³. Они выделялись своим чёрным, смолистым (иногда бурым) цветом (рис. 2, а, б). Типовая особенность хромшпинелидов — характерные комбинационные многогранники, чаще всего с ясно различимыми формами октаэдра и ромбододекаэдра (рис. 2, с). Встречаются и другие габитусные формы (рис. 2, d).

Рис. 2. Хромшпинелиды из голоценовых золотоносных псефитов Кыввожского района: а, с—d — руч. Средний Кыввож: а — индивид с корродированной поверхностью (обр. 5107-05), с — слабоокатанный индивид с фрагментарно сохранившейся магнетитовой оболочкой (обр. 5117-05), d — неокатанный гладкогранный индивид (обр. 5107-3); б — руч. Димтэм'юль, оскольчатый индивид (обр. 5130-01). а, б — оптический микроскоп Nikon Eclipse LV100ND; с—d — электронный микроскоп Tescan VEGA 3 LMN, с — обратнорассеянные электроны, d — вторичные электроны

Fig. 2. Chrome spinels from the Holocene gold-bearing psephtes of the Kyvvozh gold field: а, с—d — stream Sredniy Kyvvozh: а — individuals with corrosive surface (sp. 5107-05), с — subrounded individuals with fragmentary magnetitic rim (sp. 5117-05); d — non-rounded smooth-faced individuals (sp. 5107-3); б — stream Dimtem'yol': detrital individuals (spec. 5130-01). а, б — optical microscope Nikon Eclipse LV100ND; с—d — scanning electron microscope Tescan VEGA 3 LMN, с — back-scattered electrons, d — secondary electrons

Помимо эвгедральных угловатых индивидов, в изученной коллекции хромшпинелидов попадалось много оскольчатых (около 50 %) индивидов (рис. 2, б). Некоторые зёрна хромшпинелидов имели отчётливый коррозионный рельеф поверхности (рис. 2, а). По размеру зёрна данного минерала варьировались от 0.2 до 0.5 мм и были распределены в гранулометрических классах крупности +0.1—0.25 и +0.25—0.5 мм.

Внутреннее строение (анатомия). Изучение хромшпинелидов при помощи сканирующего электронного микроскопа показывает, что значительная их доля имеет практически однородное строение (распределение атомной плотности) или имеющиеся небольшие различия внутренних и внешних участков малоcontrastны. Вместе с тем встречаются индивиды с явным неоднородным строением, характеризующимся наличием каём (рис. 3, а, б). Атомная плотность каём, как правило, повышенная (светлый тон в режиме обратнорассеянных электронов). Границы каём часто диффузные (рис. 3, б), реже встречаются контрастные (рис. 3, а). Мощность каём варьируется от нескольких единиц до первых десятков микрометров. Наличие такого каёмчатого строения иногда видно и при осмотре непрепарированных поверхностей хромшпинелидов под электронным микроскопом. Так, на рис. 2, с видны фрагменты частично сохранившейся на кристаллическом индивиде хромшпинелида оболочки, имеющей иной состав (светлый тон).

Химический состав. По данным микрозондового анализа, хромшпинелиды изученной коллекции Кыввожского золотороссыпного поля с учётом «правила доминирующей составной части» [2] представлены чаще всего хромитами (табл. 1)*. Реже встречаются разновидности, в которых преобладает шпинелевый минал. Покрывающие хромшпинелиды новообразованные оболочки по составу относятся к хромитам с повышенным вкладом магнетитового минала. Каймы, в которых преобладает магнетитовый компонент, крайне редки. Согласно номенклатуре хромшпинелидов, разработанной Н. В. Павловым [16], среди изученных шпинелей имеются следующие разновидности: хромпикотит, субферрихромпикотит, алюмохромит, субферриалюмохромит, хромит, субферрихромит, феррихромит, субалюмоферрихромит, ферриалюмохромит.

Среди малых примесей в хромшпинелидах примерно в половине случаев отмечался титан, содержание которого варьировалось в диапазоне от 0.2 до 4.6 мас. % TiO_2 . Также примерно в четверти всех составов (преимущественно в каймах) содержался цинк — от 0.2 до 1.9 мас. % ZnO . В одном примере было зафиксировано содержание 23.6 мас. % ZnO . Около 10 % точек микроанализа показали наличие примесей марганца (от 0.4 до 1.2 мас. % MnO) и ванадия (от 0.2 до 0.4 мас. % V_2O_3).

Микровключения. Внутри зёрен хромшпинелидов обнаруживаются разнообразные минеральные включения субмикронного размера (рис. 3, с—f).

В некоторых индивидах (рис. 3, е) отмечались пойкилобласты клинопироксенов хромдиопсидового состава с размерами выделений от первых единиц до нескольких десятков микрометров. Содержание основных компонентов в данных хромдиопсидовых фазах характеризуется заметным разбросом значений (табл. 2), мас. %: SiO_2 — 43—57, Al_2O_3 — 6—13, MgO — 16—24,

Рис. 3. Внутреннее строение и микроминеральные включения в индивидах хромшпинелидов. а, б — хромшпинелиды с тонкой контрастирующей (а) и широкой диффузной (б) насыщенной магнетитовой компонентой каймой, с—f — хромшпинелиды с включениями. СЭМ Tescan VEGA 3LMN (режим обратнорассеянных электронов). Условные сокращения: Px — пироксены, Cu_2S — фаза халькозинового состава, $(\text{Ni}_{0.63}\text{Fe}_{0.37})\text{S}$ — фаза миллеритового состава. Место отбора образцов: а—d — руч. Димтэмъяль: а — обр. 5130-01, б — обр. 5138-03, с—d — обр. 5138-04; е—f — руч. Средний Кыввож, обр. 5107-05

Fig. 3. Internal structure and micromineral inclusions of chrome spinel individuals. а, б — chrome spinels with thin contrasting (а) and diffusive (b) rim, abounding of magnetite component, с—f — chrome spinels with minerals inclusions. SEM Tescan VEGA 3LMN (mode back-scattered electrons). Abbreviations: Px — pyroxene, Cu_2S — phase with chalcocine composition, $(\text{Ni}_{0.63}\text{Fe}_{0.37})\text{S}$ — phase of millerite (?) composition. Sampling locations: а—d — stream Dintem"yol": а — sp. 5130-01, б — sp. 5138-03, с—d — sp. 5138-04; е—f — stream Sredniy Kyvvozh, sp. 5107-05

* Данная таблица представляет собой сокращённый вариант массива данных микрозондового анализа. В неё помещены составы, наиболее полно характеризующие коллекцию хромшпинелидов из золотоносных псефитов Кыввожской площади.

Таблица 1. Химический состав и формульные коэффициенты хромшпинелидов / **Table 1.** Compound composition and formula coefficients of chromespinels

№ No.	Номер анализа Spectrum No.	Номер образца Sample No.	Компонент, мас. % / Component, wt. %								Сумма Total	Формульные коэффициенты / Formula coefficient									Т. ш. Type
			TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	ZnO		Ti ⁴⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	V ³⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	
1	1-1 Ц	CK-52	0.38	10.87	52.68	—	29.07	—	6.71	—	99.71	0.01	0.43	1.40	—	0.16	0.66	—	0.34	—	СФАХ
2	1-2 К	CK-52	0.35	0.76	44.49	—	49.11	0.79	2.76	—	98.26	0.01	0.03	1.28	—	0.67	0.83	0.02	0.15	—	ФХ
3	2-1 Ц	CK-52	0.27	23.22	43.78	0.30	23.51	—	10.27	—	101.35	0.01	0.84	1.07	0.01	0.08	0.53	—	0.47	—	АХ
4	2-2 К	CK-52	0.24	14.52	43.88	0.27	33.96	0.73	4.97	0.46	99.03	0.01	0.58	1.17	0.01	0.24	0.72	0.02	0.25	0.01	СФАХ
5	6-1 Ц	5100-02	—	9.32	57.59	—	25.86	—	7.58	—	100.35	—	0.37	1.53	—	0.10	0.62	—	0.38	—	Х
6	6-2 К	5100-02	0.19	1.72	53.29	—	38.91	0.63	3.98	—	98.72	0.01	0.07	1.52	—	0.40	0.77	0.02	0.21	—	Х
7	7-1 Ц	5100-02	—	8.13	57.02	—	29.11	—	5.72	0.34	100.32	—	0.33	1.54	—	0.13	0.70	—	0.29	0.01	СФХ
8	7-2 К	5100-02	—	—	15.32	—	76.82	—	1.10	—	93.24	—	—	0.47	—	1.53	0.94	—	0.06	—	Мгт
9	9-1 Ц	50401	—	31.57	36.69	—	17.61	—	14.63	0.26	100.76	—	1.08	0.85	—	0.07	0.36	—	0.64	0.01	ХП
10	9-2 К	50401	—	33.09	35.79	—	16.88	—	13.74	0.25	99.75	—	1.15	0.83	—	0.02	0.39	—	0.60	0.01	ХП
11	13-1 Ц	5107-3	0.32	10.20	53.25	—	31.05	—	6.11	0.25	101.18	0.01	0.40	1.41	—	0.18	0.69	—	0.30	0.01	СФХ
12	13-2 К	5107-3	0.31	1.39	47.20	—	45.88	—	2.75	—	97.53	0.01	0.06	1.37	—	0.56	0.85	—	0.15	—	ФХ
13	18-1 Ц	5100-04	—	18.15	43.47	—	29.89	—	8.61	—	100.12	—	0.69	1.10	—	0.21	0.59	—	0.41	—	СФАХ
14	18-3 К	5100-04	—	1.63	40.63	—	49.37	—	1.69	—	93.32	—	0.07	1.24	—	0.69	0.90	—	0.10	—	ФХ
15	20-2 К	5100-04	0.30	16.03	44.11	0.36	31.61	0.95	6.51	0.49	100.36	0.01	0.62	1.14	0.01	0.22	0.64	0.03	0.32	0.01	СФАХ
16	20-3 К	5100-04	—	13.55	45.77	—	32.26	1.15	6.23	0.39	99.35	—	0.53	1.21	—	0.26	0.65	0.03	0.31	0.01	СФАХ
17	22-1 Ц	5107-3	—	6.76	61.68	—	20.48	—	11.31	—	100.23	—	0.26	1.61	—	0.12	0.44	—	0.56	—	Х
18	22-2 К	5107-3	0.22	10.23	61.74	—	19.95	—	11.08	—	99.81	0.01	0.27	1.62	—	0.10	0.45	—	0.55	—	Х
19	24-1 Ц	5107-3	—	14.89	50.52	—	28.15	—	7.72	0.35	101.63	—	0.57	1.29	—	0.14	0.62	—	0.37	0.01	СФАХ
20	24-2 К	5107-3	0.39	2.09	40.08	—	53.26	—	2.56	—	98.38	0.01	0.09	1.15	—	0.75	0.86	—	0.14	—	ФХ
21	27-1 Ц	5107-05	0.25	10.12	54.13	—	28.06	—	7.23	—	99.79	0.01	0.40	1.44	—	0.15	0.64	—	0.36	—	СФХ
22	27-2 К	5107-05	—	1.63	48.90	—	43.20	—	3.03	—	96.76	—	0.07	1.43	—	0.50	0.83	—	0.17	—	ФХ
23	31-1 Ц	5125-01	—	34.99	32.78	—	19.01	—	14.16	0.26	101.20	—	1.19	0.75	—	0.07	0.39	—	0.61	0.01	ХП
24	31-2 К	5125-01	—	34.79	32.05	—	18.92	—	13.93	—	99.69	—	1.20	0.74	—	0.07	0.39	—	0.61	—	ХП
25	35-1 Ц	5124-01	1.11	21.79	41.44	—	20.72	—	14.32	—	99.38	0.03	0.79	1.00	—	0.18	0.35	—	0.65	—	СФАХ
26	35-2 К	5124-01	1.11	19.41	42.65	—	24.41	—	11.49	—	99.07	0.03	0.72	1.07	—	0.19	0.46	—	0.54	—	СФАХ
27	35-3 К	5124-01	3.47	14.00	30.81	0.32	24.41	—	—	22.50	95.51	0.10	0.61	0.91	0.01	0.38	0.38	—	—	0.62	-
28	47-1 Ц	5129-01	4.60	14.46	31.16	—	39.10	—	1.00	—	99.32	0.11	0.55	0.80	—	0.54	0.52	—	0.48	—	-
29	47-2 К	5129-01	4.58	14.27	31.07	—	39.32	—	10.12	—	99.36	0.11	0.54	0.79	—	0.55	0.51	—	0.49	—	-
30	48-1 Ц	5129-01	—	19.60	46.16	—	25.01	—	9.12	—	99.89	—	0.74	1.16	—	0.10	0.57	—	0.43	—	АХ
31	48-2 К	5129-01	0.33	1.30	38.52	—	54.21	—	1.72	—	96.08	0.01	0.06	1.14	—	0.79	0.90	—	0.10	—	ФХ
32	54-1 Ц	5137-01	—	11.85	52.38	—	27.83	—	7.88	—	99.94	—	0.46	1.37	—	0.16	0.61	—	0.39	—	СФАХ
33	54-2 К	5137-01	0.41	1.01	42.46	—	50.15	—	2.81	—	96.84	0.01	0.04	1.24	—	0.70	0.85	—	0.15	—	ФХ
34	66-1 Ц	5138-04	—	9.48	54.53	—	28.80	—	6.69	—	99.50	—	0.38	1.46	—	0.16	0.66	—	0.34	—	СФХ
35	66-2 К	5138-04	0.28	1.06	46.45	—	47.03	—	2.87	—	97.69	0.01	0.05	1.35	—	0.60	0.84	—	0.16	—	ФХ
36	67-1 Ц	5138-03	0.23	12.29	50.30	—	28.58	—	8.34	—	99.74	0.01	0.48	1.31	—	0.20	0.59	—	0.41	—	СФАХ
37	67-2 К	5138-03	0.66	1.54	37.02	—	52.06	—	2.70	—	93.98	0.02	0.07	1.11	—	0.80	0.85	—	0.15	—	ФХ

Примечание: Районы пробоотбора: 1—10, 13—16 — Кыввож; 11, 12, 17—22 — Средний Кыввож; 23—37 — Димтэмтэль. Используемые сокращения для обозначения места точки микроанализа: Ц — центр, К — кайма. Т. ш. — тип шпинели. Аббревиатура номенклатуры хромшпинелидов Н. В. Павлова [16]: АХ — алюмохромит, СФАХ — субферриалюмохромит, ХП — хромпикотит, СФХ — субферрихромит, ФХ — феррихромит, Х — хромит, Мгт — магнетит.

Note: The location of the sampling: 1—10, 13—16 — Kyvvozh; 11, 12, 17—22 — Srednij Kyvvozh; 23—37 — Dimtem"yol". Abbreviations used to mark the location of the point microanalysis: Ц — center, К — rim. Т. ш. — spinel type. The abbreviation by N. V. Pavlov [16]: АХ — aluminochromite, СФАХ — subferri-aluminochromite, ХП — chrompicotite, СФХ — subferrichromite, ФХ — ferrichromite, Х — chromite, Мгт — magnetite.

Таблица 2. Химический состав микровключений в хромшпинелидах, мас. %
Table 2. Compound composition of microinclusions in chrome spinels, wt. %

№ No.	Номер анализа Spectrum No.	Номер образца Sample No.	Компонент / Component										Сумма Total	Минерал / Mineral
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Sc ₂ O ₃		
1	11/3	50401	52.77	—	5.55	1.49	2.55	21.85	13.02	0.23	1.24	0.21	98.91	диопсид / diopside (Mg _{1.28} Ca _{0.55} Na _{0.09} Fe _{0.08}) ₂ (Si _{1.74} Al _{0.22} Cr _{0.04}) ₂ O ₆
2	11/4	50401	51.93	—	6.37	1.92	2.74	21.6	12.85	—	1.43	—	98.84	диопсид / diopside (Mg _{1.26} Ca _{0.54} Na _{0.11} Fe _{0.09}) ₂ (Si _{1.70} Al _{0.25} Cr _{0.05}) ₂ O ₆
3	11/5	50401	49.08	—	6.83	7.72	5.46	21.24	11.26	—	1.38	—	102.97	диопсид / diopside (Mg _{1.24} Ca _{0.47} Fe _{0.18} Na _{0.11}) ₂ (Si _{1.55} Al _{0.26} Cr _{0.19}) ₂ O ₆
4	14/3	5107-3	44.4	0.47	12.99	3.08	3.17	19.27	12.77	0.13	3.45	0.27	100.00	диопсид / diopside (Mg _{1.11} Ca _{0.53} Na _{0.26} Fe _{0.10}) ₂ (Si _{1.43} Al _{0.49} Cr _{0.08}) ₂ O ₆
5	14/4	5107-3	43.96	0.49	13.12	3.09	3.14	19.01	13.00	0.25	3.35	0.22	99.63	диопсид / diopside (Mg _{1.10} Ca _{0.55} Na _{0.25} Fe _{0.10}) ₂ (Si _{1.42} Al _{0.50} Cr _{0.08}) ₂ O ₆
6	15/3	5107-3	44.00	—	6.14	6.98	2.53	20.19	11.57	—	2.13	—	93.54	диопсид / diopside (Mg _{1.23} Ca _{0.51} Na _{0.17} Fe _{0.09}) ₂ (Si _{1.55} Al _{0.26} Cr _{0.19}) ₂ O ₆
7	22a/1	5107-3	32.47	—	14.91	4.79	1.28	34.34	—	—	—	—	87.79	пироксен? / pyroxene? (Mg _{1.96} Fe _{0.04}) ₂ (Si _{1.21} Al _{0.65} Cr _{0.14}) ₂ O ₆
8	26/3	5107-05	57.25	—	1.57	1.42	1.58	24.01	12.76	—	0.45	—	99.04	диопсид / diopside (Mg _{1.39} Ca _{0.53} Fe _{0.05} Na _{0.03}) ₂ (Si _{1.90} Al _{0.06} Cr _{0.04}) ₂ O ₆
9	28a/2	5107-05	45.01	0.58	11.56	2.97	2.79	19.18	12.81	0.26	2.85	—	98.01	диопсид / diopside (Mg _{1.14} Ca _{0.55} Na _{0.22} Fe _{0.09}) ₂ (Si _{1.47} Al _{0.45} Cr _{0.08}) ₂ O ₆
10	35/3	5124-01	46.3	1.09	32.20	1.79	3.05	1.07	—	10.01	0.84	—	96.35	мусковит / muscovite (K _{0.89} Na _{0.11})(Al _{1.55} Fe _{0.18} Mg _{0.11} Cr _{0.10} Ti _{0.06}) ₂ [(AlSi ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂
11	61/4	5134-01	43.31	—	12.71	2.69	3.93	18.22	12.84	0.31	3.40	—	97.41	диопсид / diopside (Mg _{1.07} Ca _{0.54} Na _{0.26} Fe _{0.13}) ₂ (Si _{1.43} Al _{0.50} Cr _{0.07}) ₂ O ₆
12	63a/1	5138-04	45.35	0.28	10.74	3.01	1.85	19.95	12.62	0.16	3.15	0.19	97.30	диопсид / diopside (Mg _{1.17} Ca _{0.53} Na _{0.24} Fe _{0.06}) ₂ (Si _{1.50} Al _{0.42} Cr _{0.08}) ₂ O ₆
13	64a/1	5138-04	48.56	1.90	7.23	1.04	7.69	16.37	17.68	—	0.41	—	100.88	диопсид / diopside (Mg _{0.97} Ca _{0.75} Fe _{0.25} Na _{0.03}) ₂ (Si _{1.68} Al _{0.29} Cr _{0.03}) ₂ O ₆
14	68/3	5138-03	44.99	0.43	11.96	2.91	3.37	19.12	13.00	0.29	3.05	—	99.12	диопсид / diopside (Mg _{1.12} Ca _{0.54} Na _{0.23} Fe _{0.11}) ₂ (Si _{1.47} Al _{0.46} Cr _{0.07}) ₂ O ₆

Примечание: Районы пробоотбора: 1—3 — Кыввож; 4—9 — Средний Кыввож; 10—14 — Димтэмъэль.

Note: The location of the sampling: 1—3 — Kyyvvozh; 4—9 — Sredniy Kyyvvozh; 10—14 — Dimtem"yol'.

Таблица 3. Элементный состав сульфидных микровключений в хромшпинелидах, мас. %

Table 3. Elemental composition of sulfide microinclusions in chrome spinels, wt. %

№ No.	Номер анализа Spectrum No.	Номер образца Sample No.	Компонент / Component											Сумма Total	Минерал Mineral
			O	Si	S	Al	Cr	Fe	Mg	Ca	Ni	Cu			
1	28a/1	5107-05	—	—	32.54	—	—	21.46	—	—	38.7	—	92.71	миллерит / millerite (Ni _{0.63} Fe _{0.37})S халькозин / chalcocite Cu ₂ S	
2	63a/2	5138-04	7.93*	1.45*	19.11	1.00*	3.91*	3.97*	3.57*	0.21*	—	65.00	106.15		

Примечание. Районы пробоотбора: 1 — Средний Кыввож, 2 — Димтэмъёль; * — элемент принадлежит кристаллической матрице минерала-хозяина (хромшпинелида).

Note: The location of the sampling: 1 — Sredniy Kyvvozh, 2 — Dimtem"yol"; * — the element belongs to the crystal matrix of the host mineral (chromespinel).

CaO — 11–18. Особым образом выделяется концентрация алюминия, по которому хромдиопсиды явно подразделяются на две группы (6–7 и 11–13 мас. % Al₂O₃). Содержания хрома (Cr₂O₃) и железа (FeO) варьируются в одном и том же интервале — от 1 до 8 мас. %. Среди малых примесей постоянно отмечается натрия (0.4–3.5 мас. % Na₂O), который положительно скоррелирован с содержаниями алюминия. Примерно в половине случаев фиксируется присутствие титана (0.3–2.0 мас. % TiO₂) и калия (0.1–0.3 мас. % K₂O). Спорадически обнаруживаются следы скандия (0.1–0.3 мас. % Sc₂O₃).

Среди найденных силикатных микровключений в хромшпинелидах есть единичные экземпляры слюды (мусковит) и фаза пироксеноподобного состава (табл. 3, обр. 5107-05, спектр 26/3)*. Последняя в сравнении с другими обнаруженными микрофазами хромдиопсидов имеет повышенное содержание магния (34 мас. % MgO), содержит примерно столько же алюминия (12 мас. % Al₂O₃), практически не имеет в составе кальция и характеризуется весьма низкой суммой анализируемых компонентов (88 мас. %). В составе также есть небольшая примесь железа (1.3 мас. % FeO) и хрома (4.8 мас. % Cr₂O₃).

Среди микровключений обнаружены также сульфиды никеля и меди (табл. 3). Единичный крошечный эвгедральный экземпляр никелевого сульфида миллеритового состава размером около 2 мкм был обнаружен в сростании с микрокристаллом пироксена (размер ~ 20 мкм). Миллеритовая фаза находилась на границе между пироксеновой фазой и хромшпинелидом, являющимся минералом-хозяином. Ещё в одном случае и тоже на границе между ксеноморфной фазой пироксена (размер ~ 40 мкм) и хромшпинелидом было выявлено мелкое выделение сульфида меди халькозинового состава размером 1–2 мкм**.

* Часть составов пироксеноподобных включений обнаруживает сходство с амфиболами (например, мало SiO₂ и много Al₂O₃), поэтому для более точной их минеральной диагностики необходимо проведение более детальных исследований.

** Ввиду плохих сумм и перекрытия соседних зёрен при микроанализе в примере с фазой халькозинового (в том числе миллеритового) состава для более точной минеральной диагностики целесообразно проведение дополнительных исследований при помощи структурно-чувствительных методов.

Обсуждение результатов

Накопленный опыт изучения хромшпинелидов [5, 6, 8] продемонстрировал возможность использования их составов для прогнозирования типов пород, с которыми связано их происхождение. Опираясь на эти сведения, можно сделать уверенное заключение о том, что размещение фигуративных точек составов хромшпинелидов Кыввожского района (рис. 4) в полях (2, 4–7) дискриминационной комбинированной тригонограммы Н. В. Павлова указывает на их связь с ультрабазитами. Часть этих точек локализуется в полях пироксен-оливиновых пород типа лерцолитов, гарцбургитов и верлитов (данные [16]), а также формально попадает в поля ксенолитов базальтоидов, щелочных и толеитовых базальтов (данные [19]). Судя по опубликованным работам [6, 15], на Среднем Тимане схожими составами (поля 2–5, 13, рис. 5) характеризуются хромшпинелиды (центральные неизменённые области индивидов) из позднерифейского четласского дайкового комплекса [14], сложенного субщелочными дайковыми ультрабазитами (пикритами и лампрофирами), которые пространственно, структурно и по времени формирования тесно ассоциируются с карбонатитами, редкометалльными щелочными метасоматитами (фенитами, слюдитами, полевошпатовыми метасоматитами) и жильными гидротермалитами. Группа фигуративных точек составов хромшпинелидов Кыввожского района перекрывает одну из частей гетерогенного облака составов хромшпинелидов (наиболее хромистых) из среднетиманских щелочных лампрофиров (альнётитов) трубки взрыва Умбинская одноименного кимберлитового поля (поля 4, 5, 13 рис. 5) [10].

Кроме того, значительное количество составов высокохромистых индивидов хромшпинелидов Кыввожского района локализуется в поле дунитов (поля 6, 7, рис. 4), причем преимущественно в этом поле оказывались хромшпинелиды из верховий Среднекыввожского участка. Эта особенность отличает данную группу от хромшпинелидов из известных на сегодня проявлений ультрамафитов Среднего Тимана. Иные объекты с такими же часто встречающимися высокохромистыми составами хромшпинелидов на Среднем Тимане пока не установлены.

Ещё одной отличительной чертой хромшпинелидов из золотоносных аллювиальных псефитов центральной части Вымского горст-антиклинария оказалась статистически редкая встречаемость хромшпинелидов

Рис. 4. Комбинированная тригонограмма ($\text{Al}^{3+}-\text{Cr}^{3+}-\text{Fe}^{3+}-\text{Mg}^{2+}-\text{Fe}^{2+}$) составов хромшпинелидов из золотосных псефитов различных участков Кыввожского россыпного поля: 1, 2 — Димтэмъёльский (верховья); 3, 4 — Кыввожский; 5, 6 — Среднекыввожский (верховья); 7 — включения в пиропе (данные [5]).

1, 3, 5, 7 — точки анализа в центре неизменённой области зерна (центр); 2, 4, 6 — точки анализа на неизменённой периферии зерна или в участках эпигенных преобразований (каймы); 8 — классификационные поля составов шпинелевых разновидностей в системе твёрдых растворов «хромит — пикотит — магнетит» по Н. В. Павлову [16]: 1 — пикотит, 2 — хромпикотит, 3 — субферрихромпикотит, 4 — алюмохромит, 5 — субферриалюмохромит, 6 — хромит, 7 — субферрихромит, 8 — феррихромит, 9 — субалюмоферрихромит, 10 — хроммагнетит, 11 — субалюмохроммагнетит, 12 — магнетит, 13 — ферриалюмохромит

Fig. 4. Combined trigonogram ($\text{Al}^{3+}-\text{Cr}^{3+}-\text{Fe}^{3+}-\text{Mg}^{2+}-\text{Fe}^{2+}$) of compositions of chrome spinels from auriferous psephits from different mining districts of Kyvvozhsky placer field: 1, 2 — Dimtem'yol'sky (upstream); 3, 4 — Kyvvozhsky; 5, 6 — Srednekyvvozhsky (upstream); 7 — inclusions in pyropes (data from [5]).

1, 3, 5, 7 — analyses points on the center of unaltered area of grains; 2, 4, 6 — analyses points on the unaltered periphery of grains or on zones of epigenic alterations (rims); 8 — classification fields of spinel composition varieties in the system of solid solutions of «chromite — picotite — magnetite» according to N. V. Pavlov [16]: 1 — picotite, 2 — chrompicotite, 3 — subferrichrompicotite, 4 — aluminochromite, 5 — subferrialluminochromite, 6 — chromite, 7 — subferrichromite, 8 — ferrichromite, 9 — subaluminoferrichromite, 10 — chrommagnetite, 11 — subaluminochrommagnetite, 12 — magnetite, 13 — ferrialluminochromite

лидов субферрихромпикотитового состава (поле 3, рис. 4). В выборке данной работы такие составы вообще не обнаружены. Единичные зёрна такого состава зафиксированы лишь в псефитах на промышленном участке Среднекыввожской россыпи [3]. Примечательно, что в это же самое поле субферрихромпикотитов попадает большая часть индивидуальных составов микровключений хромшпинелидов из лиловых хромсодержащих пиропов, найденных в совершенно разных местах на Вольско-Вымской гряде, в том числе в пределах Кыввожского золотороссыпного поля [5]. Судя по данным работы [5], указанные пиропы принадлежат лерцолитовому парагенезису и аналогичны по составу пиропам из Умбинского кимберлитового поля. Из числа ультрамафитовых объектов Среднего Тимана частое присутствие субферрихромпикотитовых составов весьма характерно для хромшпинелидов из диатремы Ан-4 (одно из трубчатых тел, обнаруженных при заверке геофизических аномалий редкоземельно-редкометалльного рудного поля «Исток Мезени»), расположенной в верховьях р. Мезень на Четласском поднятии (поле 3, рис. 5, данные [15]). Такие

же составы встречаются в одном из контуров хромшпинелидов трубки взрыва Умбинская (рис. 5, данные [10]), а также, хотя и в небольшом числе примеров, в других ультрамафитах Среднего Тимана (рис. 5, данные [6, 15]).

Специфика составов хромшпинелидов Кыввожской площади разных золотосных участков выражена в статистическом различии по расчётному соотношению двухвалентных ионов магния и железа. На рис. 4 (диаграммное крыло $\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$ слева) заметно, что точки составов из Димтэмъёльского и Кыввожского участков обособлены и создают два субпараллельных тренда. При этом группа хромшпинелидов Среднекыввожского участка также явно отличается от хромшпинелидов других участков своей компактностью состава и большими значениями содержания двухвалентного железа. Данные закономерности являются дополнительным аргументом в пользу того, что источники хромшпинелидов Кыввожского золотороссыпного поля (т. е. предполагаемые неуставленные тела магматитов) неоднородны, поэтому могут быть своими у каждого золотосного участка. В противном случае при наличии удалённых питающих источников хромшпинелидов мы

Рис. 5. Комбинированная тригонограмма (Al^{3+} – Cr^{3+} – Fe^{3+} – Mg^{2+} – Fe^{2+}) составов хромшпинелидов из ультрамафитов и россыпей Среднего Тимана: I, II — альнётиты Умбинской трубки взрыва (данные [10]): I — центр зерна, II — аналоги каём, насыщенных магнетитовым компонентом; III — алмаз-золото-редкометалльная палеороссыпь Ичетью (данные [4]): IIIa — центр зерна (данные приведены на рис. 6), IIIb — кайма; IV, V — щёлочно-ультраосновные породы Четласского поднятия (данные [15]), IV — обр. 232 (дайкавое тело р. Косью, «раздвиг А»), V — обр. An-4 (трубчатое тело, геофизическая аномалия); VI–X — ультрамафиты Четласского дайкового комплекса, скв. № 55, р. Косью (данные [6]): VI, VII — пироксенитовые ксенолиты, VI — центр зерна, VII — периферийная (реакционная) зона зерна, VIII–X — обломочные хромшпинелиды: VIII — центр и реакционная (внутренняя) кайма зёрен, IX — магнетитовая (внешняя) кайма зёрен, X — низкоглинозёмистые хромшпинелиды (аналоги каём, насыщенных магнетитовым компонентом). Обозначение классификационных полей составов разновидностей хромшпинелидов такие же, как на рис. 4

Fig. 5. Combined trigonogram (Al^{3+} – Cr^{3+} – Fe^{3+} – Mg^{2+} – Fe^{2+}) of compositions of chrome spinels from ultramafic rocks and placers of the Middle Timan: I, II — alnoites of Umbinskaya explosion pipe (data from [10]), I — grain center, II — analogues of rims saturated by magnetite component; III — Ichet'y diamond-gold-rare-metal paleoplacer (data from [4]): IIIa — grain center (the data are represented in Fig. 6), IIIb — grain rim; IV, V — alkaline-ultramafic rocks of the Chetlas uplift [15] (data from): IV — sample 232 (dyke body of the Kos'y River, «Swell A»), V — sp. An-4 (pipe-like body, geophysical anomaly); VI–X — ultramafic rocks of the Chetlas dyke complex, borehole № 55, Kos'y river (data from [6]): VI, VII — pyroxenite xenoliths: VI — grain center, VII — peripheral (reactional) grain zone; VIII–X — detrital chromspinelides: VIII — center and reactional (inner) grain rim, IX — magnetitic (outer) grain rim, X — low-alumina chrome spinels (analogues of rims saturated by magnetite component). Designation of classification fields of compositions of chrome spinel varieties is the same as in Fig. 4

бы не наблюдали таких различий составов хромшпинелидов (включая акцессорные минералы тяжёлой фракции) по разным долинам Кыввожского золотоносного района из-за значительного перемешивания транзитного обломочного материала.

Следует отметить, что продемонстрированное выше общее сходство составов хромшпинелидов Кыввожского и других районов Среднего Тимана, лежащих на один и тот же генеральный «ультрабазитовый тренд», является во многом отражением единства природы вмещающих глубинных перидотитовых пород. Как видно из работы [19], такими же составами характеризуются хромшпинелиды из ультрабазитов других районов мира. В вопросе же географии источников хромшпинелидов необходимы дополнительные сведения — некие региональные минерагенетические «метки», своего рода «эндемичные» типоморфные особенности. В данном случае, по нашему мнению, эту роль могут играть такие типоморфные характеристики хромшпинелидов, как состав и видовое разнообразие содержащихся в них минеральных микровключений, внутреннее (анатомическое) строение, и в особенности состав эпигенных каём хромшпинелидов,

который, как мы полагаем, должен быть чувствителен к региональному геохимическому фону и специфике региональных геологических процессов.

Так, данные по составам реакционных каём [6] хромшпинелидов из пироксенитовых ксенолитов в ультрамафитах четласского дайкового комплекса бассейна р. Косью (контур VII, примыкающий к полям 1, 2, а также контур IX, примыкающий к полям 10–12, рис. 5) позволяют нам предположить, что хромшпинелиды из магматитов этого района, по-видимому, нет на Кыввожской золотоносной площади или они являются минералогической редкостью. Данный вывод основан на том, что в этом районе Тимана пока не удалось обнаружить статистически значимой по встречаемости группы хромшпинелидов с такими высокими содержаниями шпинелевого или магнетитового миналов в реакционных каймах. Аналогичная ситуация характерна для хромшпинелидов, встречающихся в среднедевонской алмазо-золото-редкометалльной палеороссыпи Ичетью. Опубликованные данные [4] демонстрируют отсутствие тесного сходства составов их эпигенных каём (контур III, поле 7 на рис. 5) с таковыми у основной массы хромшпинели-

Рис. 6. Диаграммы $\text{TiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ (a) и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}\text{--Al}_2\text{O}_3$ (b) составов хромшпинелидов с разных участков золотороссыпного Киввожского поля и объектов сравнения — ультрамафитов и россыпей Среднего Тимана (данные работ [4, 6, 10, 15]) и вулканитов из различных геодинамических обстановок по данным [20]. ARC — островодужные вулканиты, SSZ peridotite — перидотиты супрасубдукционной зоны, OIB — базальты океанических островов, MORB — базальты срединно-океанических хребтов, LIP — обширные изверженные комплексы базальтов (платобазальты), Volcanic spinels — шпинели, сформировавшиеся в вулканических процессах в земной коре. Условные обозначения составов хромшпинелидов (символы и поля) с участков золотороссыпной Киввожской площади и объектов сравнения Среднего Тимана такие же, как на рис. 4, 5

Fig. 6. Diagrams $\text{TiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ (a) and $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}\text{--Al}_2\text{O}_3$ (b) of chrome spinel compositions from various mining districts of Kivvozh gold area and comparison objects —ultramafic rocks and placers of the Middle Timan (data from [4, 6, 10, 15]) and volcanites from various geodynamic settings (data from [20]). ARC — island-arc magmas, SSZ — supra-subduction zone peridotites, OIB — ocean-island basalts, MORB — mid-ocean ridge basalts, LIP — large igneous province of basalts (flood basalts), Volcanic spinels — chromespinels formed during volcanic processes in the earth's crust. Legends of chrome spinel compositions (symbols and fields) from mining districts of Kivvozh gold area and comparison objects of the Middle Timan are the same as in Fig. 4, 5

дов из Киввожского района (поля. 7—9 на рис. 4) [3]. Ещё заметнее ичетьюские хромшпинелиды выделяются по повышенному содержанию цинка в реакционных каймах. Исключение составляют лишь редкие единичные индивиды киввожских хромшпинелидов, фигуративные составы каём которых всё же оказываются в контурах составов аналогичных краевых участков хромшпинелидов из других объектов Среднего Тимана.

Задачу выявления источников хромшпинелидов определённо осложняет неполнота сведений по их составам из каём в некоторых опубликованных работах. Так, в работе [10], по-видимому, приводятся данные в основном по центральным областям индивидов. Кроме того, реакционных оболочек у минеральных зёрен может не быть вовсе. Так, отсутствие каких-либо каём у хромшпинелидов Киввожского района уверенно фиксировалось в более чем половине случаев (~ 60 %).

Согласно данным работ [19, 21], составы каём хромшпинелидов, характеризующихся повышенным вкладом магнетитового минала (поля 9, 12, 13 на рис. 4) ложатся на «тренд метаморфизации» и указывают на коровые обстановки эпигенного формирования таких каём в условиях повышенной фугитивности кислорода. В аналогичной коровой обстановке, судя по всему, формируются и микрокристаллические идиоморфные хромшпинелиды из связующей массы кимберлитов [1].

В связи с задачами поиска источников самородной минерализации (в особенности минералов платиновой группы) в Киввожском золотороссыпном районе, определённую типоморфную значимость имеют обнаруженные здесь хромшпинелиды с микровключениями никеля и меди. По нашему мнению, находки таких хромшпинелидов могут сигнализировать о присутствии на площади работ магматических пород, содержащих минералы платиновой группы [3]. К примеру, по данным работы Р. И. Шайбекова и его коллег [18], акцессорные сульфиды никеля и меди достаточно широко распространены в платиноносных хромовых рудах Лагортинско-Кершорской площади Войкаро-Сынинского ультрабазитового массива на Полярном Урале.

В данной выборке хромшпинелидов, как мы отметили выше, в нескольких примерах удалось найти микровключения клинопироксенов (хромдиопсидов), а также сульфидов никеля (миллерит) и меди (халькозин). Отметим, что находки подобных сульфидных микроминералов ранее делались при изучении магматических комплексов Среднего Тимана. Так, в частности, при изучении ультрамафитов Четласского дайкового комплекса р. Косью в метасоматических жилках кальцит-альбитового состава, богатых редкоземельными минералами, обнаруживались также и сульфиды, в числе которых были миллерит, пентландит и халькопирит, ассоциирующие со сфалеритом и молибденитом

[6]. Как видно из работы [15], богатые включениями хромшпинелиды, похожие на редкие экземпляры из Кыввожского района (рис. 3, е), встречаются в щёльно-ультраосновных породах Четласского поднятия (обр. 232, дайковое тело р. Косью, раздв. А).

Согласно выводам работы В. С. Каменецкого и его соавторов [20], состав хромшпинелидов удовлетворительно отражает особенности геотектонических обстановок, в которых могли формироваться вмещающие хромшпинелиды исходные магматические породы. Так, на дискриминационных диаграммах $TiO_2-Al_2O_3$ (рис. 6, а) и $Fe^{2+}/Fe^{3+}-Al_2O_3$ (рис. 6, б) отчётливо видно, что среднетиманские хромшпинелиды располагаются в полях самых различных геотектонических зон (фаций).

Формирование одной наиболее многочисленной группы хромшпинелидов Кыввожского золотороссыпного поля и соответствующих им исходных магматических пород могло быть связано с геотектонически активными обстановками в зонах спрединга и субдукции. Формирующиеся в этих условиях хромшпинелиды отличает пониженное в целом содержание титана и трёхвалентного железа (расчётного вклада магнетитового минала). Внутри этой многочисленной группы выделяется обширная подгруппа хромшпинелидов с относительно невысокой глинозёмистостью (низкоглинозёмистые хромшпинелиды), составы которой отвечают островодужным магматическим комплексам (поле ARC) и формально также входят в контур перидотитов зон субдукции (поле SSZ peridotite). В этом же поле ARC (рис. 6, а) обособлено и компактно локализуются точки составов, тоже низкоглинозёмистых, но несколько более титанистых хромшпинелидов из интрузивов щёльно-ультраосновных пород [15]: контур IV — дайковое тело, раздв. А на р. Косью [6]; контур XIIIb — все низкоглинозёмистые обломочные хромшпинелиды из ультрамафитов скв. № 55, р. Косью. В поле ARC также попадает и некоторое количество хромшпинелидов из альнётитов Умбинской трубки взрыва [10] (контур I). Причём большая часть хромшпинелидов из этого среднетиманского объекта локализуется в поле перидотитов зон субдукции (SSZ peridotite). Среди хромшпинелидов россыпи Ичетью есть крошечная компактная популяция низкоглинозёмистых и низкотитанистых индивидов минерала с составами [4] (контур IIIa), размещающимися в полях ARC и SSZ.

Как видно, для среднетиманских объектов данная подгруппа низкоглинозёмистых хромшпинелидов Кыввожского золотороссыпного поля является обособленной, а магматических проявлений хромшпинелидов с аналогичными характеристиками пока не установлено. Однако следует отметить, что это справедливо только в отношении положения точек составов данной подгруппы на дискриминационной диаграмме $TiO_2-Al_2O_3$ (рис. 6, а). На другой же диаграмме, $Fe^{2+}/Fe^{3+}-Al_2O_3$ (рис. 6, б), данная подгруппа практически совпадает с подгруппой низкоглинозёмистых хромшпинелидов из щёльно-ультраосновных пород интрузивов р. Косью Четласского поднятия [15] (пара контуров IV в левой части диаграммы), а также альнётитов Умбинской трубки взрыва [10] (контур I). На диаграмме рис. 6, б также видно, что значительная часть хромшпинелидов из разных районов Среднего Тимана вхо-

дит в контур перидотитов супрасубдукционной зоны (SSZ) как отражение сходства их происхождения.

Ещё одна, уже умеренно-глинозёмистая, подгруппа хромшпинелидов Кыввожского золотороссыпного поля, тоже с низкими содержаниями титана и трёхвалентного железа, но крайне редко встречающаяся (единичные зёрна из образцов Кыввожской россыпи), локализована в полях хромшпинелидов из базальтоидов (поле MORB) и перидотитов (поле MORB peridotite) срединно-океанических хребтов (рис. 6, а, б), имеющая, по-видимому, отношение к древним, формировавшимся в обстановках растяжения земной коры рифтовым зонам Тимана. Судя по составам включений хромшпинелидов в лерцолитовых пиропсах из Кыввожского района [5], их происхождение также может быть связано с магматитами, относящимися к областям активной спрединговой геотектоники (поле MORB) из тех же самых рифтовых зон. Среди умеренно-глинозёмистых хромшпинелидов из других среднетиманских объектов хромшпинелиды такого типа, локализующиеся в поле MORB, напротив, встречаются нередко. К таковым относятся хромшпинелиды из альнётитов Умбинской трубки взрыва [10] (контур I), среднедевонской палеороссыпи Ичетью [4] (контур IIIa), щёльно-ультраосновных пород Четласского поднятия [15] (контур IV — дайковое тело р. Косью, раздв. А и контур V — An-4, трубчатое тело, геофизическая аномалия), ультрамафитов Четласского дайкового комплекса [6] (контур VI и VIII — скв. № 55, р. Косью).

Очень редкими для среднетиманских хромшпинелидов вообще и хромшпинелидов Кыввожского золотороссыпного поля в частности оказались экземпляры с составами, локализующимися на диаграмме (рис. 6, а) в полях платформенных обстановок, отвечающих трапповому магматизму (поле LIP и OIB). Специфика составов данных хромшпинелидов — повышенная титанистость и доля магнетитового минала. Помимо редких зёрен хромшпинелидов из верхний Димтэмьельского участка Кыввожского золотороссыпного поля, в пространстве полей LIP и OIB оказались единичные индивиды из альнётитов Умбинской трубки [10] (контур I) и ультрамафитов Четласского дайкового комплекса [6] (контур VIII).

Несмотря на то, что использование выстроенных по составам хромшпинелидов дискриминационных диаграмм даёт в целом формальные результаты, требующие последующей верификации, выявленные при этом закономерности всё же представляются важными для объяснения происхождения хромшпинелидов.

Итак, учитывая размещение составов хромшпинелидов из золотоносных четвертичных псефитов Кыввожского золотороссыпного поля на различных дискриминационных диаграммах, мы пришли к заключению о вероятной петрогенетической связи изученных хромшпинелидов с гипербазитами. К последним среди известных на Тимане магматических пород могут относиться пикриты, лампрофиры и карбонатиты, подобные тем, что слагают позднерифейско-вендский щёльно-ультраосновной комплекс, установленный на Четласском поднятии и подробно описанный в различных работах [7, 11, 14, 17]. Вероятными источниками хромшпинелидов также могут быть щёльно-ультраосновные породы более молодого палеозойского возраста, подобные раннедевонским альнётитам [13] (описанным также как среднедевонские кимберлиты [11]),

тела которых расположены на Умбинском поле Среднего Тимана. Также в числе возможных источников хромшпинелидов могут быть магматические породы поздне-рифейского метадолеритового, а также позднедевонского долерито-базальтового комплексов, которые упоминаются здесь гипотетически, так как долериты и базальтоиды могут содержать ксенолиты глубинных пород, в которых есть хромшпинели. А ряд фигуративных точек составов изученных хромшпинелидов всё же формально попал в поля базальтоидов. Однако никаких сведений о хромшпинелидах в составе таких комплексов в изучаемом районе нами пока не найдено.

Обнаруженные разнообразные типы хромшпинелидов отчётливо указывают на многообразие глубинных магматитов на Среднем Тимане как отражение сложности его геотектонического строения и истории его формирования. При прогнозировании местонахождения полей магматитов и связанных с ними полезных ископаемых эти сведения ценны и также необходимы при прогнозировании возможных направлений массопереноса. В качестве показательного примера можно упомянуть дискуссию о происхождении алмазов Ичетьюской россыпи. В числе питающих областей и соответствующих возможных направлений массопереноса от различных коренных источников в разное время назывались Архангельская алмазоносная провинция, Четласский Камень, Северный Тиман и Вольско-Вымская гряда (т. е. южное направление массопереноса в отношении Ичетьюского россыпного поля, упомянутое в работе А. Б. Макеева и др. [9]).

В сложившихся современных представлениях Тиман геотектонически определяется как пассивная платформенная окраина [8, 17]. Вместе с тем полученный нами экспериментальный материал по хромшпинелидам Вольско-Вымской гряды позволяет предполагать наличие питающих источников, связанных с активным геотектоническим режимом. Их, очевидно, нельзя ожидать в рамках парадигмы геотектоники Тимана как пассивной платформенной окраины ни к западу, ни к северу, ни на самой Вольско-Вымской гряде. Хотя нами и изучались хромшпинелиды из голоценовых аллювиальных псефитов, контаминированных обломочным материалом из плейстоценовых осадков, в которых гипотетически могут оказаться минералы из областей активной геотектоники, думается всё же, что объяснить всё только ледниковым транзитом не удастся. Поэтому в вопросах прогнозирования массопереноса глубинных акцессорных минералов (включая ценные) целесообразно обратить внимание на их возможный источник, располагающийся к востоку и северо-востоку от современной территории Вольско-Вымской гряды, где, по данным работы Н. Б. Кузнецова и его соавторов [8], с рубежа венда и кембрия в результате столкновения двух палеоконтинентов, Балтики и Арктиды, возник коллизионный ороген протоуралид-тиманид. Для нашего случая очень важно отметить, что, по мнению Н. Б. Кузнецова и его коллег, формирование палеоорогена происходило с шарьированием комплексов окраин сталкивающихся континентов далеко в пределы этих континентов. Последнее помогает отчасти объяснить непонятное появление глубинных минералов геотектонически активных областей на территории тиманской платформенной окраины.

В настоящее время, по данным работы [8], ороген протоуралид-тиманид тектонически переработан и эродирован. Фрагменты этой реликтовой структуры сейчас располагаются к востоку от Тимана и погребены под осадками Печорской плиты.

В завершение отметим, что установленное многообразие хромшпинелидов может быть и отражением сложности (зональности) строения магматических тел (подробно описанной в работе [12]), с которыми они связаны. Этот вопрос мы здесь подробным образом не рассматриваем, так как пока у нас нет никаких сведений о соответствующих хромшпинелидсодержащих телах. Однако мы допускаем, что подобного рода сведения крайне важны для верификации прогнозов, сделанных на основе изучения составов хромшпинелидов, о которых мы говорили в настоящей работе, в особенности в связи с их прогнозируемым различием по геотектоническим режимам формирования.

Выводы

Хромшпинелиды, встречающиеся в золотоносных аллювиальных голоценовых псефитах Кыввожского золотороссыпного поля, генетически связаны с исходными материнскими породами преимущественно щелочно-ультраосновного состава. Аналогами данных пород на Среднем Тимане являются магматиты типа ультрамафитов Четласского позднерифейско-вендского комплекса, а также породы, аналогичные раннесреднедевонским альнётитам, обнаруженным в пределах Умбинского поля на Среднем Тимане. Небольшая группа хромшпинелидов гипотетически может быть связана с породами позднерифейского метадолеритового, а также позднедевонского долерито-базальтового комплексов.

Особенности химических составов хромшпинелидов из отдельных участков (водотоков) Кыввожской площади позволяют говорить об их в целом местном и вдобавок внутريدолинном происхождении. Основное отличие хромшпинелидов Кыввожской площади от хромшпинелидов из других районов Среднего Тимана заключено в специфике элементных составов их эпигенных реакционных оболочек. Отличие хромшпинелидов из разных долинных участков Кыввожской площади выражено в различии их усреднённых элементных составов.

Формирование пород, являющихся источниками хромшпинелидов Кыввожской площади, можно охарактеризовать как обстановки с различными геотектоническими режимами: от пассивных (платформенных) до активных (спрединга морского дна и островодужных зон субдукции). В этом данные хромшпинелиды близки хромшпинелидам из альнётитов диатрем Умбинского поля, прорывающих на севере Вымский антиклинорий. Формирование преобладающих типов хромшпинелидсодержащих пород Кыввожской площади тем не менее приурочено к зонам субдукции. В этом их основное отличие от ультрамафитов Четласского поднятия и вероятных источников Ичетьюской россыпи, происхождение которых, по-видимому, связано с рифтовыми зонами Тимана (геотектонический режим — спрединг морского дна).

Анализ составов микровключений хромшпинелидов, обнаруженных в лерцолитовых пиропсах Кыввожской золотоносной площади, указывает на воз-

можное образование пород, содержащих данный тип пироповых гранатов, в активной геотектонической обстановке рифтовых зон.

Сочетание пестроты прогнозируемых геотектонических обстановок формирования магматических источников хромшпинелидов и внутридолинного питания золотоносных псефитов различных участков Кыбвожской площади за счёт местных источников может быть объяснено сложным геотектоническим развитием и строением Тимана, являющегося, по-видимому, шарьяж-антиклинорной структурой. Как в случае формирования интрузивных магматических комплексов, когда в одном дайковом теле могут оказаться ксенолиты пород различной глубины формирования, так и в случае эрозионно-денудационных процессов, охвативших шарьяж-антиклинорную структуру, в одном и том же месте (и магматическом теле!) могут оказаться хромшпинелиды из различных геотектонических обстановок.

Среди хромшпинелидов встречаются специфические для данного региона индивиды, содержащие микровключения сульфидов никеля и меди. Они, по-видимому, генетически связаны с магматическими телами, содержащими минералы платиновой группы. Обнаружение последних может иметь важное значение для понимания природы благороднометалльного тиманского рудогенеза.

Авторы благодарны работникам Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН А. С. Шуйскому (электронная микроскопия сканирующего типа, микрозондовый анализ), Н. Х. Хачатурян (выделение минералов тяжёлой фракции).

Литература

1. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А., Кудрявцева Г. П., Васильева Е. Р., Вержак В. В., Веричев Е. М. Парсаданян К. С., Посухова Т. В. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О. А. Богатикова. М.: МГУ, 1999. 524 с.

2. Булах А. Г., Золотарёв А. А., Кривовичев В. Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб.: СПбГУ, 2014. 133 с.

3. Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Варламов Д. А., Шевчук С. С., Филиппов В. Н. Генетико-информативная значимость хромшпинелидов Среднекыбвожского золотоносного россыпе-проявления (Средний Тиман) // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2016): Материалы минер. семинара с межд. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С. 32—33.

4. Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Варламов Д. А., Шевчук С. С., Исаенко С. И. Хромшпинелиды с цинксо-держащими эпигенетическими каймами из девонских конглобрективных горизонтов россыпе-проявления Ичетью (Средний Тиман) // Литосфера. 2015. № 2. С. 103—120.

5. Глухов Ю. В., Макеев Б. А., Сокерин М. Ю. Типоморфизм глубинных акцессорных минералов Вымской горстовой структуры (Средний Тиман). Оливин, пиропы // Вестник геонаук. 2020. № 10 (310). С. 3—10.

6. Голубева И. И., Мокрушин А. В., Филиппов В. Н., Бурцев И. Н. Хромшпинелиды флюидо-эксплозивных даек Среднего Тимана // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 117—127.

7. Голубева И. И., Д. Н. Ремизов, Бурцев И. Н., Филиппов В. Н., Шуйский А. С. Флюидоэксплозивные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего Тимана и их парагенетическая связь с карбонатитами // Региональная геология и металлогения. 2019. № 80. С. 30—44.

8. Кузнецов Н. Б., Соболева А. А., Удоратина О. В., Герцева М. В., Андреичев В. Л., Дорохов Н. С. Доуральская тектоническая эволюция северо-восточного и восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Часть 2. Позднедокембрийско-кембрийская коллизия Балтики и Арктиды // Литосфера. 2007. № 1. С. 32—45.

9. Макеев А. Б., Дудар В. А., Лютоев В. П., Деревянко И. В., Глухов Ю. В., Исаенко С. И., Филиппов В. Н. Алмазы Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 1999. 80 с.

10. Макеев А. Б., Дудар В. А. Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.

11. Макеев А. Б., Лебедев В. А., Брянчанинова Н. И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург, 2008. 348 с.

12. Макеев А. Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука, 1992. 197 с.

13. Мальков Б. А., Холопова Е. Б. Трубки взрыва и алмазоносные россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 1995. 49 с.

14. Недосекова И. Л., Удоратина О. В., Владыкин Н. В., Прибавкин С. В., Гуляева Т. Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов Четласского комплекса (Средний Тиман): Ежегодник-2010, Труды ИГТ УрО РАН, 2011. Вып. 158. С. 122—130.

15. Никулова Н. Ю., Бурцев И. Н., Макеев Б. А., Филиппов В. Н. Хромшпинелиды из щелочно-ультраосновных пород Среднего Тимана // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVII Геол. съезда Республики Коми. 2019. Т. III. С. 222—225.

16. Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Труды института геологических наук. Серия рудных месторождений, 1949. Вып. 103 (13). 88 с.

17. Тиманский кряж: В 2 т. / Ред.-сост.: Л. П. Шилов, А. М. Плякин, В. И. Алексеев. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы. Ухта: УГТУ, 2010. 437 с.

18. Шайбеков Р. И., Кузнецов С. К., Гайкович М. М., Шевчук С. С. Сульфидная и благороднометалльная минерализация в хромовых рудах Лагортинско-Кершорской площади Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 75—85.

19. Barnes S. J., Roeder P. L. The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks // Journal of Petrology, 2001. V. 42. No. 12. P. 2279—2302. DOI: 10.1093/petrology/42.12.2279

20. Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S. Factors Controlling Chemistry of Magmatic Spinel: an Empirical Study of Associated Olivine, Cr-spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks // Journal of Petrology, 2001. Vol. 42. No. 4. P. 655—671. DOI: 10.1093/petrology/42.4.655

21. Roeder P. L., Schulze D. J. Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite // Journal of Petrology, 2008. Vol. 49. No. 8. P. 1473—1495. DOI:10.1093/petrology/egn034

References

1. Bogatikov O. A., Garanin V. K., Kononova V. A., Kudryavtseva G. P., Vasil'eva E. R., Verzhak V. V., Verichev E. M.

Parsadanyan K. S., Posukhova T. V. Arkhangel'skaya almazonosnaya provintsiya (geologiya, petrographiya, geokhimiya i mineralogiya) (Arkhangel'sk diamondiferous province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy)). Ed. O. A. Bogatkov. Moscow: Moscow State University Publ., 1999, 524 p.

2. Bulakh A. G., Zolotarev A. A., Krivovichev V. G. Struktura, izomorfizm, formuly, klassifikatsiya mineralov (Structures, isomorphism, formulas, classification of minerals). St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 2014, 133 p.

3. Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Varlamov D. A., Shevchuk S. S., Filippov V. N. Genetiko-informativnaya znachimost hromshpinelidov Srednekvvzhskogo zolotonosnogo rossy-peproyavleniya (Srednij Timan) (The genetically informative significance of chromespinelids of the Srednekvvzhskoye gold-bearing placer occurrence (Middle Timan)). Proceedings of conference «Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings — 2016)», Syktyvkar, Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, pp. 32–33.

4. Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Varlamov D. A., Shevchuk S. S., Isaenko S. I. Hromshpinelidy s tsinksoderzhashchimi ehpi-geneticheskimi kajmami iz devonskih konglobrekchievyh gorizontov rossy-peproyavleniya Ichet'yu (Srednij Timan) (Chromespinelides with zinc-bearing epigene rims from Devonian conglobreccia horizons of Ichet'yu placer-like occurrence (Middle Timan)). Litosfera, 2015, No. 2, pp. 103–120.

5. Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Sokerin M. Yu. Tipomorfizm glubinnnykh aktssessornykh mineralov Vymskoy gorstovoy struktury (Srednij Timan). Olivin, piropy (Typomorphism of hypogene accessory minerals of the Vymsky Horst structure (Middle Timan). Olivine, pyropes). Vestnik of Geosciences, 2020, 10(310), pp. 3–11. DOI: 10.19110/geov.2020.10.1.

6. Golubeva I. I., Mokrushin A. V., Philippov V. N., Burtsev I. N. Hromshpinelidy flyuido-eksplozivnykh daek Srednego Timana (Chromespinelides of fluid-explosive dykes of the Middle Timan), Proceedings of Fersman Scientific Session of Geol. Inst. Karelian SC. RAS, 2020, No. 17, pp. 117–127.

7. Golubeva I. I., Remizov D. N., Burtsev I. N., Filippov V. N., Shuyskiy A. S. Flyuidoeksplozivnye ultramafity dajkovogo kompleksa Srednego Timana i ih parageneticheskaya svyaz s karbonatitami (Fluid-explosion ultramafic rocks of the Middle Timan dyke complex and their paragenetic association with carbonatite). Regional Geology and Metallogeny, 2019. No. 80, pp. 30–44.

8. Kuznetsov N. B., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Hertseva M. V., Andreichev V. L., Dorokhov N. S. Douralskaya tektonicheskaya evolyuciya severo-vostochnogo i vostochnogo obramleniya Vostochno-Evropejskoj platformy. Chast 2. Pozdneedokembrijsko-kembrijskaya kolliziya Baltiki i Arktidy (Pre-Uralian tectonic evolution of the North-East and East frame of the East European craton. Part 2. Neo-Proterozoic-Cambrian Baltica-Arctida collision). Litosfera, 2007, No. 1, pp. 32–45.

9. Makeev A. B., Dudar V. A., Lyutoev V. P., Derevyanko I. V., Glukhov Yu. V., Isaenko S. I., Filippov V. N. Almazы Srednego Timana (Diamonds from the Middle Timan). Syktyvkar, Geoprint Publ., 1999, 80 p.

10. Makeyev A. B., Dudar V. A. Mineralogiya almazov Timana (Diamond Mineralogy of the Timan). St. Petersburg: Nauka, 2001, 336 p.

11. Makeev A. B., Lebedev V. A., Bryanchaninova N. I. Magmatity Srednego Timana (Magmatites of the Middle Timan). Ekaterinburg. 2008, 348 p.

12. Makeev A. B. Mineralogiya alpinotipnykh ultrabazitov Urala (Mineralogy of Alpine Ultrabasic Rocks of Urals). St. Petersburg: Nauka, 1992, 197 p.

13. Malkov B. A., Kholopova E. B. Trubki vzryva i almazonosnye rossypi Srednego Timana (Explosion pipes and diamond-bearing placers of the Middle Timan). Syktyvkar: Geoprint, 1995, 49 p.

14. Nedosekova I. L., Udoratina O. V., Vladykin N. V., Pribavkin S. V., Gulyaeva T. Ya. Petrokhimiya i geokhimiya dajkovykh ultrabazitov i karbonatitov Chetlaskogo kompleksa (Srednij Timan) (Petrochemistry and geochemistry of ultramafic dyke and carbonatite Chetlas complex (Middle Timan), Yearbook-2010 of Institute of geology and geochemistry UB RAS, 2011, 158, pp. 122–130.

15. Nikulova N. Yu., Burtsev I. N., Makeev B. A., Filippov V. N. Hromshpinelidy iz shchelochno-ultraosnovnykh porod Srednego Timana (Chromespinelides from alkaline-ultrabasic rocks of the Middle Timan). Geologiya i mineralnye resursy Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii (Geology and mineral resources of the European North-East of Russia), proc. of XVII Geol. Congress of Komi Republic, Apr. 16–18, 2019, V. III, pp. 222–225.

16. Pavlov N. V. Himicheskij sostav hromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultraosnovnykh intruzivov (Chemical composition of chrome-spinels in view of the petrographic composition of the rocks of the ultrabasic intrusions). Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Ore deposits series, 1949, 103(13), 88 p.

17. Timanskiy kryazh (Timan ridge). Compiling editors: L. P. Shilov, A. M. Plyakin, V. I. Alekseev. Vol. 2. Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya kharakteristika Zemnoy kory, tektonika, mineralno-syrevye resursy (Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth's crust, tectonics, mineral and raw material resources). Monography. Ukhta, Ukhta State Techn. Univ., 2010, 437 p.

18. Shaybekov R. I., Kuznetsov S. K., Gaikovich M. M., Shevchuk S. S. Sulfidnaya i blagorodnometalnaya mineralizatsiya v khromovykh rudakh Lagortinsko-Kershorskoy ploshchadi Voykaro-Syninskogo massiva (Polyarnyy Ural) (Sulfide and noble metals mineralization in chromium ores of Lagorta-Kershore area, Voikar-Synya massif (Polar Urals)). Litosfera, 2015, No. 1, pp. 75–85.

19. Barnes S. J., Roeder P. L. The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks. Journal of Petrology, 2001, V. 42, No. 12, pp. 2279–2302. DOI: 10.1093/petrology/42.12.2279

20. Kamenetsky V. S., Crawford A. J., Meffre S. Factors Controlling Chemistry of Magmatic Spinel: an Empirical Study of Associated Olivine, Cr-spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks. Journal of Petrology, 2001, V. 42, No. 4, pp. 655–671. DOI: 10.1093/petrology/42.4.655

21. Roeder P. L., Schulze D. J. Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite. Journal of Petrology, 2008, V. 49, No. 8, pp. 1473–1495. DOI:10.1093/petrology/egn034

Received / Поступила в редакцию 08.10.2020