ТИПОМОРФИЗМ ГЛУБИННЫХ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЫМСКОЙ ГОРСТОВОЙ СТРУКТУРЫ (СРЕДНИЙ ТИМАН). ОЛИВИН, ПИРОПЫ

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

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

glukhov@geo.komisc.ru

Приводятся результаты минералогического изучения пиропов и оливина Вымской горст-антиклинорной структуры (Кыввожское золотороссыпное поле, Средний Тиман), обнаруженных при шлиховом опробовании. При проведении исследований использовалась оптическая микроскопия, электронный микрозонд и сканирующий электронный микроскоп. Продемонстрирована высокая сохранность эндогенной поверхности у части пироповых индивидов и оливина, указывающая на близость их магматического источника. Установлена принадлежность изученных пироповых гранатов к лерцолитовому парагенезису. В составе некоторых гранатов обнаруживались микровключения хромшпинелей и ортопироксена (энстатита). В одном пироповом индивиде из верховий р. Белая Кедва были выявлены многочисленные микровключения высокобарного и высокотемпературного титаноциркониевого минерала шриланкита (первая находка на Тимане). Установлено, что изученные пиропы идентичны по составу пироповым гранатам из Умбинского кимберлитового поля (Средний Тиман). Это, очевидно, указывает на то, что магматические породы трубок взрыва Умбинского поля являются аналогами источников пиропов Кыввожского золотороссыпного района. Не исключено также, что эти трубки сами являются источниками данных пиропов.

Ключевые слова: алмазность, минералы алмазной ассоциации, пироп, оливин, Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман.

TYPOMORPHISM OF HYPOGENE ACCESSORY MINERALS OF THE VYMSKY HORST STRUCTURE (MIDDLE TIMAN). OLIVINE, PYROPE

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

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

The results of mineralogical study of pyropes and olivine from the Vymskaya horst-anticline structure (Kyvvozh goldbearing placer field, Middle Timan), that found during the heavy mineral concentrate sampling, are presented. Optical microscopy, electron microprobe, and scanning electron microscope were used in the research. High preservation of the endogenous surface of some pyrope individuals and olivine is demonstrated, indicating the closeness of their magmatic sources. The studied pyrope garnets belong to the lherzolite paragenesis of mantle minerals. Microinclusions of chrome spinels and orthopyroxene (enstatite) were found in some garnet grains. Abundant microinclusions of the high-pressure and high-temperature titanium-zirconium mineral srilankite (the first find on Timan) were found in one pyrope individual from the headstream of Belaya Kedva river. Investigated pyropes are characterized by compositions, which are identical to the ones for pyrope garnets from Umba kimberlite field (Middle Timan). It seems that magmatic rocks from the Umba pipes field are analogues of parent rock sources of pyropes from Kyvvozh goldbearing area and (or) themselves are sources for these pyropes.

Keywords: diamondferosity, kimberlite indicator minerals, pyrope, olivine, Vol'sko-Vymsky ridge, Middle Timan.

Введение

Вымская структура представляет собой горст-антиклинорий, геоморфологически выраженный в рельефе Среднего Тимана возвышенностями Вольско-Вымской гряды, тянущейся в северо-западном (тиманском) направлении и прорезаемой на западе и востоке притоками рек Выми и Белой Кедвы [10]. В ядре Вымского горст-антиклинория находятся метаморфические комплексы пород докембрия (рис. 1). С востока и запада Вымский горст ограничен крупными тектоническими нарушениями, а также расчленён субширотными разломами. В целом данная структура имеет блоковый (блоково-надвиговый) характер. Круто залегающее западное и более пологое восточное крылья Вымской структуры перекрыты фанерозойским платформенным чехлом осадочных отложений.

На северном замыкании докембрийского ядра Вымской структуры размещается среднедевонская (эйфель-живетская) полиминеральная алмаз-золото-редкометалльная россыпь Ичетью. Источник её золота и алмазов всё ещё достоверно не установлен. Расположенные в ядре Вымской горст-антиклиналии и охватывающие притоки рек Выми и Кедвы золотороссыпные россыпи и россыпепроявления Кыввожского россыпного поля помимо самородного золота содержат разнообразные минералы платиноидов. Однако источники всей этой благороднометалльной минерализации также до сих пор не установлены. Общеизвестно, что определённую роль контроля оруденения могут играть проявления магматизма. Подобного рода выходы магматических пород были обнаружены в центральной части Вымской структуры, в их числе секущие дайковые

Для цитирования: 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—11. DOI: 10.19110/geov.2020.10.1.

For citation: Glukhov Yu. V., Makeev B. A., Sokerin M. Yu. 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.

Рис. 1. Геологическая карта-схема золотоносной Кыввожской площади (Вымский выступ) и сопредельных районов (составлена по материалам Д. Б. Соболева и Н. И. Тимонина) [8].

Условные сокращения: 1–8 — фанерозойские терригенные и морские отложения платформенного чехла; 9 — протерозойские метаморфические комплексы фундамента; 10 — позднедевонские субвулканические интрузии и покровные базальты; 11 — вендские дайки долеритов; 12 — тектонические нарушения; 13 — надвиги (а — установленные, b — предполагаемые); 14 — находки пиропов в аллювии; 15 — находка оливина в аллювии; 16 — трубки взрыва (U — Умбинская, S — Средненская, V — Водораздельная); 17 — россыпные поля: I — Ичетьюское алмаз-золото-редкометальное палеороссыпное, K — Кыввожское золотороссыпное

Fig. 1. Geological schematic map of Kyvvozhskaya goldbearing area (Vymsky horst) and frontier terrains (based on the map materials of D. B. Sobolev and N. I. Timonin) [8].

Legend: 1–8 — Phanerozoic terrigenous and marine sediments of the platform cover; 9 — Proterozoic metamorphic complexes of the basement; 10 — Late Devonian subvolcanic intrusions and cover basalts; 11 — Vendian dykes of dolerites; 12 — discontinuous faults; 13 — overthrust faults (a — established, b — assumed); 14 — finds of pyrope in alluvium; 15 — finding of olivine in alluvium; 16 — Explosion pipes (U — Umbinskaya, S — Srednenskaya, V — Vodorazdel'naya); 17 — placer fields: I — Ichetyu diamond-gold-rare-metal paleoplacer area, K — Kyvvozhskaja gold placer area

тела метадолеритов руч. Лунвож. Примерно в 12-ти километрах на юго-восток от россыпного Ичетьюского поля были выявлены прорывающие докембрийские породы фундамента трубки взрыва Средненская и Водораздельная и перекрытая девонскими отложениями щелочная альнётитовая диатрема Умбинская [4, 5]. Все эти трубки Умбинского кимберлитового поля оказались неалмазоносными. Несмотря на то, что в вопросе связи магматизма и рудогенеза Тимана ещё многое остаётся неясным, поиск новых магматических тел и изучение связанных с ними акцессорных рудоиндикаторных минералов представляются перспективными исследовательскими направлениями.

В предшествующий период на Среднем Тимане усилиями ухтинских геологов и сотрудников Института геологии Коми НЦ РАН [1, 4, 5, 10] велась систематиче-

ская работа по изучению акцессорных минералов глубинных магматических комплексов пород, относящихся к группе минералов алмазной ассоциации. В данной работе приводятся новые сведения по пиропам и оливину, которые были обнаружены в шлиховых пробах Кыввожской золотоносной площади.

Методы исследования

Исследования проводились на базе ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Акцессорные минералы отбирались препаровательной иглой под бинокулярным микроскопом из электромагнитной фракции концентратов шлиховых проб (исходный объём ~ 0.01 м³). Фотоизображения пироповых гранатов получены при помощи оптического микроско-

Рис. 2. Район работ и локализация точек пробоотбора (лиловое — пиропы, жёлтое — оливин)

Fig. 2. The study area and localization of sampling points (lilac — pyroxenes, yellow — olivine)

па МБС-9 и цифрового фотоаппарата Sony Cyber-shot DSC-W830). Детали микрорельефа поверхности минеральных зёрен и их элементный состав изучались при помощи растрового электронного микроскопа Tescan VEGA 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 и приставкой EBSD (рабочее напряжение — 20 kV, напыление углеродом).

Результаты исследования

Оливин. Единственное зерно оливина (проба 505003) было обнаружено в грубообломочном современном аллювии примерно в 6 км выше устья р. Чёрная Кедва (рис. 2).

Оливин был представлен бледно-жёлтым, полупрозрачным, угловатым, без следов окатывания, брусковидным индивидом размером 0.2×0.3×0.5 мм. Первичная поверхность оливина (его разделивших при препарировании фрагментов) под электронным микроскопом имеет специфичный занозистый бугорчато-ямчатый микрорельеф (рис. 3). На сколотых поверхностях видны многочисленные треугольные устья дислокаций (рис. 3, b).

По химическому составу оливин относится к форстеритам (таблица). Содержание железа находится в интервале 9–10 мас. % FeO, соответствующий коэффициент магнезиальности ($Mg\# = MgO/(MgO+FeO)$) составляет 0.83–0.84. Имеются следы марганца (0.2 мас. % MnO) и никеля (0.3–0.4 мас. % NiO).

Пироп. Зёрна хромсодержащих мантийных пиропов в шлиховых пробах из современных аллювиальных псефитов обнаруживались в единичных экземплярах: обр. 504805 и обр. 503501 (среднее течение р. Чёрная Кедва), обр. 601401 (верховья притока руч. Киввож);

обр. 604601 (руч. Лунвож) и 605301 (руч. Войвож); обр. 2941а-ПЛК-19, обр. 2941в-ПЛК-19 (приток руч. Левый Киввож), обр. 207801 (верховья р. Белая Кедва).

Пиропы имеют характерный лиловый цвет различного насыщения и цветовых оттенков — от бледно-розовато-сиреневых до фиолетовых (рис. 4). Зёрна полупрозрачны, у многих видны внутренние трещины. У трёх индивидов присутствует бурый нацвет (все с южной части Киввожского района). По форме пиропы представляют собой угловато-округлые и округлые уплощённые тела. По максимальному размеру зёрна варьируют от 0.4 до 0.7 мм, и практически все обнаруживаются в гранулометрическом классе крупности +0.25–0.5 мм.

Пиропы обладают различной степенью окатанности, под которой мы здесь понимаем механическую изношенность эндогенной (первичной) поверхности, отличая таким образом окатанность и округлость (последняя может возникать и в эндогенных обстановках вследствие растворения или оплавления зерна минерала). Практически неокатанными оказались округло-угловатое зерно пироба из пробы 504805, отобранной на р. Чёрная Кедва (рис. 4, a1–a6), рис. 5 (a–i) и округлое сильноуплощённое зерно из пробы 601401, взятой в верховьях левого притока руч. Киввож (рис. 4, b1–b4)

Рис. 3. Микрорельеф первичной (справа) и сколовой (слева) поверхностей фрагмента индивида оливина: а — общий вид, b — детализация. Электронный микроскоп Tescan VEGA 3 LMN, вторичные электроны

Fig. 3. Microrelief of the primary (right) and shear (left) surfaces of an individual olivine fragment. a — general view, b — detail. Tescan VEGA 3 LMN electron microscope, secondary electrons

Химический состав оливина, пиропов и микроминеральных включений в пиробах / The chemical composition of the olivine, pyrope and micromineral inclusions in pyrope

Номер спектра Spectrum No	Номер образца Sample No	Компонент / Component													Сумма Total	Минерал Mineral
		SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	ZnO	Na ₂ O		
1 ц	605301	41.19	0.12	—	22.46	1.65	—	12.54	0.57	16.30	6.12	—	—	—	100.94	пироп / pyrope Prp ₅₈ Alm ₂₅ Uv ₅ Grs ₁₀ Sps ₁ Adr ₁
2 к	605301	41.08	—	—	22.47	1.62	—	12.77	0.55	16.18	6.24	—	—	—	100.91	пироп / pyrope Prp ₅₈ Alm ₂₅ Uv ₅ Grs ₁₁ Sps ₁
3 вкл	605301	1.72	0.66	—	25.66	32.05	0.47	25.13	—	10.69	0.56	0.51	0.26	—	97.71	хромшпинель / chrome spinel (Mg _{0.50} Fe _{0.48} Ni _{0.01} Zn _{0.01})(Al _{0.96} Cr _{0.81} Fe _{0.19} Ti _{0.03} V _{0.01}) ₂ O ₄
4 вкл	605301	—	0.71	—	25.66	34.24	0.53	26.16	—	10.42	0.23	0.37	—	—	98.32	хромшпинель / chrome spinel (Fe _{0.51} Mg _{0.48} Ni _{0.01})(Al _{0.94} Cr _{0.84} Fe _{0.18} Ti _{0.03} V _{0.01}) ₂ O ₄
5 вкл	605301	2.62	0.85	—	25.98	32.17	0.39	25.80	—	11.37	0.37	0.40	0.64	0.22	100.81	хромшпинель / chrome spinel (Mg _{0.53} Fe _{0.45} Ni _{0.01} Zn _{0.01})(Al _{0.95} Cr _{0.79} Fe _{0.21} Ti _{0.04} V _{0.01}) ₂ O ₄
6 вкл	605301	39.43	—	—	26.37	—	—	13.36	0.17	0.51	0.62	—	—	—	80.46	алюмосиликат (каолинит?) / Aluminosilicate (kaolinite?)
7 вкл	605301	—	0.85	—	26.89	33.76	0.45	25.10	0	9.28	—	0.53	—	—	96.85	хромшпинель / chrome spinel (Fe _{0.55} Mg _{0.44} Ni _{0.01})(Al _{1.00} Cr _{0.84} Fe _{0.11} Ti _{0.04} V _{0.01}) ₂ O ₄
8 ц	604601	41.06	—	—	20.93	3.65	—	9.01	0.47	18.41	6.09	—	—	—	99.62	пироп / pyrope Prp ₆₆ Alm ₁₈ Uv ₁₀ Grs ₄ Sps ₁ Adr ₁
9 к	604601	41.49	—	—	21.30	3.51	—	8.98	0.50	18.52	6.08	—	—	—	100.39	пироп / pyrope Prp ₆₆ Alm ₁₈ Uv ₁₀ Grs ₅ Sps ₁
10 вкл	604601	1.06	—	—	29.15	44.74	0.40	12.70	0	12.63	—	—	0.54	—	101.21	хромшпинель / chrome spinel (Mg _{0.64} Fe _{0.35} Zn _{0.01})(Cr _{1.01} Al _{0.98} V _{0.01}) ₂ O ₄
11 ц	207801	41.93	0.22	—	22.58	2.46	—	6.45	0.22	20.73	5.53	—	—	—	100.12	пироп / pyrope Prp ₇₃ Alm ₁₃ Uv ₇ Grs ₆ Adr ₁
12 к	207801	42.19	0.15	—	22.51	2.24	—	6.44	0.29	21.03	5.47	—	—	—	100.33	пироп / pyrope Prp ₇₃ Alm ₁₂ Uv ₆ Grs ₇ Sps ₁ Adr ₁
13 вкл	207801	5.96	46.54	37.73	3.67	0.29	0.51	1.12	—	3.68	1.06	—	—	—	100.56	ширланит / srilankite (Zr _{0.33} Ti _{0.67})O ₂
14 вкл	207801	4.62	46.34	37.72	2.52	0.39	0.72	1.22	—	1.88	1.07	—	—	—	96.48	ширланит / srilankite (Zr _{0.33} Ti _{0.67})O ₂
15 вкл	207801	6.98	79.38	3.39	4.46	1.33	—	1.04	—	4.63	1.25	—	—	—	102.46	рутилоподобный / rutile-like TiO ₂
16 вкл	207801	6.79	50.11	31.94	4.84	0.65	—	1.24	—	5.30	0.87	—	—	—	101.74	ширланит / srilankite (Zr _{0.33} Ti _{0.67})O ₂
17 вкл	207801	3.52	47.35	32.76	5.07	1.81	0.58	1.17	—	3.28	0.67	—	—	—	96.20	ширланит / srilankite (Zr _{0.33} Ti _{0.67})O ₂
18 ц	601401	41.92	—	—	21.81	3.12	—	8.89	0.37	20.09	4.60	—	—	—	100.81	пироп / pyrope Prp ₇₀ Alm ₁₇ Uv ₉ Grs ₂ Sps ₁ Adr ₁
19 к	601401	41.28	—	—	21.70	3.05	—	8.70	0.48	19.78	4.40	—	—	—	99.40	пироп / pyrope Prp ₇₀ Alm ₁₇ Uv ₉ Grs ₃ Sps ₁
20 ц	503501	41.90	—	—	22.33	2.64	—	6.60	0.44	21.33	4.92	—	—	—	100.16	пироп / pyrope Prp ₇₄ Alm ₁₂ Uv ₇ Grs ₅ Sps ₁ Adr ₁
21 к	503501	42.07	—	—	22.14	2.64	—	6.58	0.27	21.40	4.95	—	—	—	100.04	пироп / pyrope Prp ₇₅ Alm ₁₂ Uv ₇ Grs ₄ Sps ₁ Adr ₁
22 ц	504805	41.52	—	—	21.83	2.90	—	8.31	0.52	19.39	5.75	—	—	—	100.22	пироп / pyrope Prp ₆₈ Alm ₁₆ Uv ₈ Grs ₆ Sps ₁ Adr ₁
23 к	504805	41.96	—	—	21.79	3.05	—	8.46	0.48	19.43	5.64	—	—	—	100.81	пироп / pyrope Prp ₆₈ Alm ₁₆ Uv ₉ Grs ₅ Sps ₁ Adr ₁
24 ц	505003	40.42	—	—	—	—	—	9.71	0.15	49.16	—	0.29	—	—	99.73	оливин / olivine Fo ₉₀ Fa ₁₀
25 ц	505003	40.37	—	—	—	—	—	9.61	0.26	49.26	—	0.38	—	—	99.87	оливин / olivine Fo ₉₀ Fa ₁₀
26 ц	505003	40.60	—	—	—	—	—	9.85	0.48	48.82	—	0.41	—	—	99.67	оливин / olivine Fo ₉₀ Fa ₁₀
27 ц	2941a/11	42.03	—	—	22.38	2.50	—	7.83	0.56	20.20	5.42	—	—	—	100.92	пироп / pyrope Prp ₇₀ Alm ₁₅ Uv ₇ Grs ₆ Sps ₁ Adr ₁
28 к	2941a/11	41.13	—	—	21.65	2.79	—	7.85	0.50	19.80	5.42	—	—	—	99.14	пироп / pyrope Prp ₇₀ Alm ₁₅ Uv ₈ Grs ₅ Sps ₁ Adr ₁
29 ц	2941b/21	41.88	—	—	21.79	3.17	—	7.58	0.38	20.47	4.96	—	—	—	100.23	пироп / pyrope Prp ₇₂ Alm ₁₅ Uv ₉ Grs ₃ Sps ₁
30 к	2941b/21	41.90	—	—	21.82	3.15	—	7.30	0.40	20.46	4.79	—	—	—	99.82	пироп / pyrope Prp ₇₂ Alm ₁₅ Uv ₉ Grs ₃ Sps ₁
31 вкл	2941b/21	58.18	—	—	1.29	0.5	—	3.62	—	36.98	0.21	—	—	—	100.78	пироксен / pyroxene (Mg _{1.90} Fe _{0.10}) ₂ Si ₂ O ₆
32 вкл	2941b/21	4.48	0.10	—	23.85	43.42	0.36	12.13	—	17.84	0.17	—	—	—	102.35	хромшпинель / chrome spinel (Mg _{0.80} Fe _{0.20})(Cr _{1.02} Al _{0.85} Fe _{0.11} V _{0.01} Ti _{0.01}) ₂ O ₄
33 вкл	2941b/21	56.17	—	—	2.81	0.75	—	4.2	—	35.37	0.76	—	—	—	100.06	пироксен / pyroxene (Mg _{1.88} Fe _{0.12}) ₂ Si ₂ O ₆

Примечание: номера проб и точек микроанализа: 1–7 — пр. 605301 (Войвож); 8–10 — пр. 604601 (руч. Лунвож); 11–17 — пр. 207801 (верховья р. Белая Кедва); 18, 19 — пр. 601401 (левый приток Кыввожа); 20–26 — пр. 503501, 504805, 505003 (Чёрная Кедва); 27–33 — пр. 2941–ПЛК-19 (приток Левого Кыввожа). Используемые сокращения для обозначения места точки микроанализа: ц — центр, к — край (кайма), вкл — включение. Сокращённые названия минералов: Prp — пироп, Alm — альмандин, Uv — уваровит, Grs — гроссуляр, Sps — спессартин, Adr — андрадит, Fo — форстерит, Fa — фаялит.

Note: Numbers of samples and microanalysis points: 1–7 — sp. 605301 (Voivozh); 8–10 — sp. 604601 (Lunvozh); 11–17 — sp. 207801 (upper reaches of the Belaya Kedva river); 18, 19 — sp. 601401 (left tributary of Kyvvozh river); 20–26 — sp. 503501, 504805, 505003 (Chyornaya Kedva); 27–33 — sp. 2941–PLK-19 (tributary of Levyi Kyvvozh river). Abbreviations used to indicate the location of the microanalysis point: ц — center, к — edge (rim), вкл — inclusion. Abbreviation of minerals: Prp — pyrope, Alm — almandine, Uv — uvarovite, Grs — grossular, Sps — spessartine, Adr — andradite, Fo — forsterite, Fa — fayalite.

Рис. 4. Морфология и поверхность пиропов различных классов механического износа (оптический микроскоп МБС-9, цифровой фотоаппарат Sony Cyber-shot DSC-W830): a1–a6 — I класс, обр. 504805 (р. Чёрная Кедва); b1–b4 — I класс, обр. 601401 (верховья левого притока руч. Кыввож); c1–c4 — II класс, обр. 503501 (р. Чёрная Кедва); d1–e4 — II класс, d1–d4 — обр. 2941a-ПЛК-19, e1–e4 — обр. 2941b-ПЛК-19 (приток Левого Кыввожа); h1–h4 — II класс, обр. 604601 (руч. Лунвож), f1–f2 — III класс, обр. 207801 (верховья р. Белая Кедва); j1–j3 — III класс, обр. 605301 (руч. Войвож). Типоморфные элементы: a1–a3, b1–b4, d1–d4, f1 — бугорчатость (пузырчатость); a4, b4, c2–c4, d1, e2–e4, j1–j2, h1, h3 — зеркальный блеск; a4, a5, e2–e4 — свежий скол; a1, j1–j2, h1–h4 — старый скол; a1, a6 — неизношенное ребро; c1, d2, f1–f2, j1–j3, h2 — матировка изношенного ребра; f1, j2 — матировка поверхности; a1–a6, c1, c3, e3, f2 — внутренние трещины; h4 — железомарганцевая оксигидроксидная корка; f1–h4 — бурый нацвет

Fig. 4. Morphology and surface images of pyropes of various classes of mechanical wearing (MBS-9 optical microscope, Sony Cyber-shot DSC-W830 digital camera): a1–a6 — class I, sp. 504805 (Chjornaya Kedva); b1–b4 — I класс, обр. 601401 (headstream of left tributary stream of Kyvvozh); c1–c4 — — class II, sp. 503501 (Chjornaya Kedva); d1–e4 — II класс, d1–d4 — sp. 2941a-ПЛК-19, e1–e4 — sp. 2941b-ПЛК-19 (tributary stream of Levj Kyvvozh); h1–h4 — class II, sp. 604601 (Lunvozh), f1–f2 — III class, sp. 207801 (headstream of Belaya Kedva); j1–j3 — III class, sp. 605301 (Vojvozh). Typomorphic elements: a1–a3, b1–b4, d1–d4, f1 — tuberosity (blistering); a4, b4, c2–c4, d1, e2–e4, j1–j2, h1, h3 — mirror brilliance; a4, a5, e2–e4 — fresh cleavage; a1, j1–j2, h1–h4 — old-aged cleavage; a1, a6 — unworn edge; c1, d2, f1–f2, j1–j3, h2 — matting of the worn edge; f1, j2 — matting of the surface; a1–a6, c1, c3, e3, f2 — internal cracks; h4 — iron-manganese hydroxide crust; f1–h4 — brown pigmentation

Руководствуясь принципами типизации, предложенной Л. А. Зиминим [11], данные зерна можно отнести по степени механического износа к классу I. Характерные типоморфные особенности этих пироповых индивидов — отсутствие износа рёбер и сторон («псевдограней»), являющиеся признаком близости к их магматическим источникам. У этих пиропов также

присутствует специфичный бугорчатый (пузырчатый) микрорельеф (рис. 4, a1–a3, b1–b4) и глянцевый (стеклянный) блеск (рис. 4, a4, b4), обусловленный способностью этих эндогенных поверхностей зеркально отражать свет. У пироповых зерна из аллювия Чёрной Кедвы есть свежие и старые сколы. Поверхность сколов глянцевая и покрыта многочисленными однород-

ными кристаллографически упорядоченными («правильными») ямками растворения (рис. 5, h).

Округлое уплощённое зерно пробы 503501 из аллювия Чёрной Кедвы (рис. 3, b1–b4), округло-угловатое зерно пробы 2941a–ПЛК–19 и сколотое уплощённое округло-угловатое зерно пробы 2941в–ПЛК–19 из голоценовых псефитов притока Левого Кыввожа (соответственно рис. 4, e1–e4 и рис. 4, e1–e4), а также округло-угловатый индивид пробы 604601, отобранной на Лунвоже (рис. 4, e1–e4), являются полукатанными и относятся к классу II механического износа. Как и у пиропов класса I механического износа, у них есть специфические признаки недавнего пребывания в магматических телах, также имеются сколы. Отличие выражено механическим износом рёбер (рис. 5, l), которые округлены и выделяются характерной матовостью, обусловленной способностью данных участков поверхности пироповых зёрен эффективно рассеивать свет (диффузное отражение света). Под электронным микроскопом хорошо видно, что данные участки механического воздействия в отличие от реликтовых эндогенных поверхностей покрыты многочисленными хаотически расположенными разнородными ямками механических повреждений (рис. 5, j–o). Наконец, ещё два округлых, сильно уплощенных пироповых зерна из пробы 207801, отобранной в верховьях Белой Кедвы (рис. 4, f1–f2), и пробы 605301 с Войвожа (рис. 4, j1–j3) относятся к классу III механического износа. У данных пиропов механически затёрты не только рёбра, но и бока (рис. 5, o). На поверхности зёрен нет эндогенных бугорков, а изобилуют разнородные механические мелкие ямки и крупные выбоины.

По данным микрозондового анализа, концентрации хрома в лиловых пиропках невысокие и флуктуируют в весьма узком диапазоне значений — от 1.6 до 3.6 мас. % Cr_2O_3 (см. таблицу). Регистрируются повышенные содержания железа — 6.4–12.7 мас. % FeO. Содержания кальция варьируют в узком диапазоне — от 4.5 до 6.1 мас. % CaO. Во всех точках анализа зарегистрировано присутствие следов марганца до 0.57 мас. % MnO. В одном случае (обр. 605301, Войвож) зафиксированы следовые содержания титана — 0.12 % TiO_2 .

По составу гранатовых миналов хромсодержащие лиловые гранаты можно охарактеризовать как пиропы, включающие небольшое количество альмандиновых, уваровитовых и гроссуляровых компонентов (в сумме не превосходят первые десятки мас. %).

Включения в пиропках. Во внутренних частях зёрен пиропов из проб южной части района работ (Лунвож, Войвож, Левый Кыввож и верховья Белой Кедвы) обнаружены микроминеральные включения. У этих зёрен имеется характерный буроватый нацвет. На срезах пироповых индивидов из Лунвожа и Войвожа локально по периферийной области виднеются ламелевидные и овальные крошечные выделения хромшпинелей размерами в несколько единиц микрометров (максимальные размеры — до 10–12 мкм). В одном примере (обр. 605301) на срезе граната наблюдается вытянутый шестиугольник гетерофазного хромшпинель-силикатного включения размером 17×22 мкм. Основная (~ 90 %) часть камеры включения выполнена труднодиагностируемой (возможно, эпигенно-изменённой) алюмосиликатной фазой, похожей по составу (низкая сумма) на каолинит. Внутри по центру находится ксеноморф-

ное удлинённое выделение хромшпинели размером 6×10 мкм. Включения хромшпинелей войвожского пиропы из пробы 605301 характеризуются близким шпинелевым (субферрихромпикотитовым — по номенклатуре Н. В. Павлова [6]) составом и имеют практически один и тот же набор следовых примесей (десятые доли мас. %) титана, никеля, ванадия и цинка (натрия — в единственном микроанализе). Хромшпинелевое включение в другом войвожском пироповом зерне из пробы 604601 имеет хромитовый (алюмохромитовый — по номенклатуре Н. В. Павлова [6]) состав. В числе примесей (десятые доли мас. %) в этом зерне были обнаружены только ванадий и цинк.

В одном из двух зёрен, найденных в грубообломочном аллювии притока руч. Левый Кыввож (обр. 2941в–ПЛК–19/21), были обнаружены микровключения хромшпинели и ортопироксена (рис. 6, a, b).

Одно из включений размером 6×12 мкм, вытянутое, каплевидное, является двухфазным. Большая часть камеры (~ 75 %) заполнена пироксеновой фазой, остальное пространство (~ 25 %) занимает хромшпинель. Пироксеновая фаза по составу является энстатитом. Помимо магния (37 мас. % MgO) энстатитовая фаза содержит железо (3–4 мас. % FeO). Остальные следовые элементы (алюминий, кальций, хром), обнаруженные в микрозондовом спектре рентгенофлуоресценции, по-видимому, обусловлены перекрытием при микрозондовом анализе матрицы окружающего пиропового граната и соседствующей хромшпинели. Хромшпинель имеет хромитовый (алюмохромитовый — по номенклатуре Н. В. Павлова [6]) состав. В числе примесей (десятые доли мас. %), уверенно относящихся к выделению хромшпинели, обнаружен титан, а также ванадий, которых нет в гранатовой матрице и соседствующем пироксене.

На полированном срезе пиропового индивида из верховий Белой Кедвы (обр. 207801) выявлены десятки хаотически расположенных ламелевидных и субизометричных выделений оксидной фазы титан-циркониевого (ширланкитового) состава (рис. 5, c, d). Из примесей в составе данных включений уверенно определяется ванадий (до 0.7 мас. % V_2O_5), который отсутствует в пироповой матрице. Размеры данных выделений — от долей микрометров в поперечнике до нескольких единиц микрометров по удлинению. Среди включений были обнаружены также редкие, игольчатого облика выделения рутилоподобного TiO_2 . Размеры одного такого включения составляют 4×0.5 мкм.

Обсуждение результатов

Проведённое исследование оливина и пироповых гранатов из шлиховых проб аллювия Вольско-Вымской гряды указывает на присутствие среди них индивидов с относительно высокой сохранностью «первичных» эндогенных поверхностей (т. е. сформировавшихся непосредственно в коренном теле, из которого они впоследствии были вымыты). Дальность переноса для пиропов, обнаруженных в речном аллювии притока руч. Кыввож и на р. Чёрная Кедва, имеющих механический износ поверхности класса I, может составлять всего лишь первые километры. Такую же субкилометровую близость источника позволяет прогнозировать обнаружение крайне неустойчивого в механических потоках форстерито-

Рис. 5. Микрорельеф пиропов различной степени механического износа. Классы механического износа: а–і — I класс, обр. 504805 (р. Чёрная Кедва); j–l — II класс, обр. 503501 (р. Чёрная Кедва); m–o — III класс, обр. 207801 (верховья Белой Кедвы). Типоморфные элементы морфологии и поверхности: с–g — бугорчатость (пузырчатость); h — упорядоченные ямки растворения; l, o — экзогенные разнородные ямки механических повреждений; i — свежий скол; а–с, е — неизношенные рёбра; j–o — изношенные рёбра, изношенные стороны («псевдограницы») пироповых зёрен. Режим сканирования (электронный микроскоп Tescan VEGA 3 LMN): а, j, m — обратнорассеянные электроны; b–i, k, l, n, o — вторичные электроны

Fig. 5. Images of microrelief of pyrope of diverse degrees of mechanical abrasion (electron scanning microscope Tescan VEGA 3 LMN). Mechanical wear classes: a–i — class I, sp. 504805 (Chjornaya Kedva); j–l — class II, sp. 503501 (Chjornaya Kedva); m–o — class III, sp. 207801 (headstream of Belaya Kedva). Typomorphic elements of the morphology and the surface: c–g — blistering, h — ordered dissolution pits; l, o — exogenous heterogeneous pits of mechanical damages; i — fresh cleavage; a–c, e — unworn edges; j–o — worn edges, worn sides («pseudo-faces») of pyrope grains. Scanning mode (Tescan VEGA 3 LMN): a, j, m — backscattered electrons; b–i, k, l, n, o — secondary electrons

вого оливина, подобного тому, что был найден вблизи устья р. Чёрная Кедва. По нашему мнению, эти сведения позволяют прогнозировать существование выходов коренных магматических источников оливинов и пиропов на Вольско-Вымский гряде (по-видимому, где-то в центральной части Вымского выступа), которые в силу плохой оснащённости в регионе всё ещё не обна-

ружены. Для верификации данного прогноза целесообразно проведение в регионе более представительного слухового опробования.

Положение точек составов изученных среднететманских пиропов на дискриминационной диаграмме Н. В. Соболева [9] (рис. 7) показывает, что все изученные пиропы относятся к лерцолитовому парагенезису

Рис. 6. Внутреннее строение пироповых гранатов (a, c — общий вид) и минеральные микровключения (b, d — детализация). Условные сокращения включений минералов: Chr — хромшпинель, Px — пироксен, Sri — шриланкит, TiO_2 (рутилоподобная фаза). Электронный микроскоп Tescan VEGA 3 LMN; режим сканирования: обратнорассеянные электроны

Fig. 6. Internal structure of pyrope garnets (a, c — general view) and mineral microinclusions (b, d — detail). Abbreviations for mineral inclusions: Chr — chrome-spinel, Px — pyroxene, Sri — srilankite, TiO_2 (rutile-like phase). Electron microscope Tescan VEGA 3 LMN; scanning mode: back-scattered electrons

литосферной мантии. Данному парагенезису соответствуют и обнаруженные в пироповых микровключениях ортопироксена (энстатита), а также хромшпинелей, уступающих по содержанию хрома хромшпинелям из гарцбургитов и дунитов.

Также хорошо видно, что большая часть фигуративных точек данных пиропов локализована в контурах пироповых составов из трубок взрыва Умбинского кимберлитового поля, располагающегося в нескольких десятках километров к северу и северо-западу от точек находок исследованных пиропов. При этом чаще всего фигуративные точки оказывались внутри контуров Умбинской и Средненской трубок. Этот результат, очевидно, указывает на то, что магматические породы трубок взрыва Умбинского поля являются аналогами пород — источников пиропов, обнаруженных нами в голоценовых аллювиальных псефитах в бассейнах рек Белая и Черная Кедва, а также Выми. Поскольку большая часть исследованных пиропов всё же имеет заметный механический износ эндогенных поверхностей, не исключено, что трубки Умбинского поля могут и сами быть коренными источниками для этих пироповых гранатов.

Любопытно, что шриланкит, который обнаружен нами в виде микровключений в пироповом индивиде в одном из притоков Левого Кывожа, является достаточно редко встречающимся в земной коре оксидом циркония и титана [7] и ранее был замечен во включениях в гранате из лампрофировой трубки Ягодка на Тубук-Хатыстырском поле Южной Якутии [3]. Судя по неко-

Рис. 7. Составы пиропов Вольско-Вымской гряды в полях гранатов различных парагенезисов на диаграмме Н. В. Соболева [9]: W — верлиты, L — лерцолиты, Н — дуниты и гарцбургиты. Контур пироповых составов из трубок взрыва Среднего Тимана: U — Умбинская (по данным [5]); S — Средненская, V — Водораздельная (по данным [4])

Fig. 7. Compositions of pyrope of the Volsko-Vymskaya ridge in garnet fields of various parageneses on the N. V. Sobolev diagram [9]: W — verlites; L — lherzolites; N — dunites and harzburgites. Contours of pyrope compositions from explosion pipes of the Middle Timan: U — Umbinskaya (according to [5]); S — Srednenskaya, V — Vodorazdel'naya (according to [4])

торым опубликованным работам, шриланкит — минерал глубинный, условия его формирования высокотермические и высокобарические. В работе [2] приводятся сведения о формировании граната и сингенетичного ему шриланкита при температуре 800 °С и давлениях 15–20 кбар. В частности, предполагается [12], что он может образовываться при гранулитовом метаморфизме и является продуктом реакции между бадделейтом и ильменитом в среде, недосыщенной кремнезёмом.

Выводы

На Среднем Тимане в голоценовых аллювиальных псефитах различных водотоков верховий Белой Кедвы и Выми (Кыввожский золотороссыпной район), а также в среднем течении Чёрной Кедвы обнаружены признаки ореолов рассеяния пироповых гранатов. Гранаты принадлежат лерцолитовому парагенезису и по составу идентичны гранатам из Умбинского кимберлитового поля Среднего Тимана. Магматические породы трубок взрыва Умбинского поля, по-видимому, являются аналогами пока ещё не обнаруженных коренных источников пиропов Кывожского района и (или) сами являются источниками данных пиропов.

В пироповом индивиде верховий р. Белая Кедва обнаружены многочисленные микровключения шриланкита — высокобарного и высокотемпературного оксида циркония и титана (первая находка минерала на Тимане).

Авторы выражают благодарность работникам Сыктывкарского сектора ВСЕГЕИ (В. Н. Иванову,

Н. А. Васильченко, В. Г. Котельникову, В. А. Жаркову, А. А. Пархачёву), любезно предоставившим минералы шилловых концентратов для исследования. Авторы признательны работникам Института геологии ФИЦ Коми НЦ, осуществлявшим различные рутинные исследования: А. С. Шуйскому, Е. М. Тропникову (электронная микроскопия сканирующего типа, микрозондовый анализ), Н. Х. Хачатурян (поиск и выделение минералов тяжёлой фракции), а также В. И. Ракину за консультации по вопросам кристалломорфологии граната.

Литература

1. Бакулина Л. П. Типоморфизм минералов мантийных ассоциаций на Среднем Тимане: Автореф. дис. ... канд. г-м. наук. Свердловск, 1986. 18 с.
2. Кориневский В. Г., Блинов И. А. Первая находка минерала шриланкита на Урале // ДАН. 2016. Т. 470. № 2. С. 204–207.
3. Костровицкий С. И., Гаранин В. К., Варламов Д. А. Шриланкит — вторая находка в мире // ДАН. 1993. Т. 328. № 5. С. 601–604.
4. Макеев А. Б., Дудар В. А. Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.
5. Мальков Б. А., Холопова Е. Б. Трубки взрыва и алмазоносные россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 1995. 49 с.
6. 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.
7. Резвухин Д. И. Гранаты с минеральными включениями оксидов и сульфидов из кимберлитовой трубки Интернациональная: минералогия, геохимия и связь с процессами мантийного метасоматоза в литосферной мантии Мирнинского поля, Сибирский кратон: Автореф. канд. дис. Новосибирск, 2016. 17 с.
8. Соболев Д. Б., Тимонин Н. И. Геологическая карта. Атлас Республики Коми. М.: Фория, 2011, с. 44–45.
9. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–79.
10. Тиманский кряж : В 2 т. / Ред.-сост.: Л. П. Шилов, А. М. Плякин, В. И. Алексеев. Т. 1. История, география, жизнь: Монография. Ухта: УГТУ, 2010. 339 с.
11. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). Новосибирск: АРТА, 2008. 252 с.
12. Bingen B., Austrheim H., Whitehouse M. J. Ilmenite as a source for zirconium during high-grade metamorphism? Textural evidence from the Caledonides of western Norway and implications for zircon geochronology // Journal of Petrology, 2001. Vol. 42 (2). Pp. 355–375.

References

1. Bakulina L. P. *Tipomorfizm mineralov mantijnyh asociacij na Srednem Timane* (Typomorphism of minerals of mantle associations on the Middle Timan), author's abs. of dissert. of the cand. of geol. and mineral. sci., Sverdlovsk, 1986, 18 p.
2. Korinevsky V. G., Blinov I. A. *Pervaya nahodka minerala shrilankita na Urale* (First find of srilankite in the Urals). Doklady Earth Sciences, 2016, Moscow, 470, pp. 957–960.
3. Kostrovitsky S. I., Garanin V. K., Varlamov D. A. *Shrilankit — вторая находка в мире* (Srilankite — the second find in the world). Doklady Earth Sciences, 1993, V. 328, No. 5, pp. 601–604.
4. Makeyev A. B., Dudar V. A. *Mineralogiyaalmazov Timana* (Diamond Mineralogy of the Timan). St. Petersburg: Nauka, 2001, 336 p.
5. Malkov B. A., Kholopova E. B. *Trubki vzryva ialmazonosnye rossypi Srednego Timana* (Explosion pipes and diamond-bearing placers of the Middle Timan). Syktyvkar: Geoprint, 1995, 49 p.
6. Pavlov N. V. *Himicheskij sostav hromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ul'traosnovnyh 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.
7. Rezvukhin D. I. *Granaty s mineralnymi vklyucheniyami oksidov i sulfidov iz kimberlitovoj trubki Internatsionalnaya: mineralogiya, geohimiya i svyaz s processami mantijnogo metasomatoza v litosfernoj mantii Mirninskogo polya, Sibirskij kraton* (Garnets with mineral inclusions of oxides and sulfides from the Internatsionalnaya kimberlite pipe: mineralogy, geochemistry, and relation to mantle metasomatoses processes in the lithospheric mantle of the Mirny field, Siberian craton). Cand. degree thesis, Novosibirsk, 2016, 17 p.
8. Sobolev D. B., Timonin N. I. *Geologicheskaya karta* (Geological map). *Atlas Respubliki Komi* (Atlas of Komi Republic). Moscow: Foriya, 2011, pp. 44–45.
9. Sobolev N. V. *O mineralogicheskikh kriteriyakhalmazonosnosti kimberlitov* (On mineralogical criteria for the diamond content of kimberlites), *Geologiya i geofizika*, 1971, No 3, pp. 70–79.
10. *Timanskiy kryazh* (Timan ridge). Compiling editors: L. P. Shilov, A. M. Plyakin, V. I. Alekseev. Vol. 1. *Istoriya geografiya, zhizn' Monografiya* (History, geography, practice: monography). Ukhta, Ukhta State Techn. Univ., 2010, 339 p.
11. Khmelkov A. M. *Osnovnye mineraly kimberlitov i ih evolyuciya v processe oreolobrazovaniya (na primere Yakutskojalmazonosnoj provincii)* (Fundamental minerals of kimberlites and their evolution in the process of halo-forming (on the example of the Yakutia diamond-bearing province). Novosibirsk: ARTA, 2008, 252 p.
12. Bingen B., Austrheim H., Whitehouse M. J. Ilmenite as a source for zirconium during high-grade metamorphism? Textural evidence from the Caledonides of western Norway and implications for zircon geochronology. *Journal of Petrology*, 2001, V. 42 (2), pp. 355–375.

Поступила в редакцию / Received 08.10.2020