

УДК 549.75 (470.55)

DOI: 10.35597/2313-545X-2020-6-3-1

## МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ХЛОРИТОЛИТОВ НА ПЛОЩАДИ НЕПРЯХИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

**В.В. Мурзин<sup>1</sup>, Д.А. Варламов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. Академика Вонсовского 15, г. Екатеринбург, 620016  
Россия; murzin@igg.uran.ru

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии РАН, ул. Академика Осипьяна 4, г. Черноголовка,  
Московская обл., 142432 Россия; dima@iem.ac.ru

## MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF CHLORITOLITES FROM THE NEPRYAKHINO GOLD FIELD, SOUTH URALS

**V.V. Murzin<sup>1</sup>, D.A. Varlamov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, ul. Akademika Vonsovskogo 15, Yekaterinburg,  
620016 Russia; murzin@igg.uran.ru

<sup>2</sup>Institute of Experimental Mineralogy RAS, ul. Akademika Osip'yana 4, Chernogolovka, Moscow oblast,  
142432 Russia; dima@iem.ac.ru

Изучены хлоритовые породы, вскрытые в плотике золотоносной россыпи Моховое болото, залегающей на гипербазитах (Восточно-Уральская мегазона Южного Урала). К особенностям микроэлементного состава пород относятся повышенные содержания Mn, Ti, V (сотни граммов на тонну), Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Zr, Li, Sc (десятки граммов на тонну), а также W, Zr, Y и РЗЭ. Хлоритолиты содержат до 3 об. % вкрапленных магнетита, ильменита и аксессуарных минералов (рутил, ксенотим, монацит, циркон, апатит, шеелит, U-содержащий торит), принадлежащих к минеральному парагенезису, сокристаллизующемуся с хлоритом основной массы породы. Сравнительный анализ минералого-геохимических характеристик изученных хлоритолитов и золотоносных хлоритолитов Карабашского массива в зоне Главного Уральского разлома не выявил их полной идентичности. Специализация изученных хлоритолитов на Ti и P, уровень содержаний РЗЭ, соответствующий породам основного состава, и отсутствие реликтовых зерен хромшпинелида делают весьма вероятным их образование путем метасоматического замещения дайки долеритов, известных в пределах Чебаркульско-Казбаевского ультрамафитового комплекса.

Илл. 8. Табл. 7. Библ. 14.

**Ключевые слова:** хлоритолиты, серпентиниты, родингиты, редкоземельные элементы, монацит, ксенотим, ильменит, рутил.

The chlorite rocks (chloritolites) exposed in a bedrock of the Mokhovoe boloto (*Moss swamp*) gold placer (East Uralian Megazone, South Urals), which occurs on ultramafic rocks, are studied. The trace element composition of chloritolites is characterized by elevated contents of Mn, Ti, V (hundreds of ppm), Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Zr, Li, Sc (tens of ppm), W, Zr, Y and REE. Chloritolites contain up to 3 vol. % of disseminated magnetite, ilmenite and accessory minerals (rutile, xenotime, monazite, zircon, apatite, scheelite, U-bearing thorite) from a mineral assemblage, which cocrystallize with the main volume of chlorite. The mineralogical and geochemical features of the Mokhovoe boloto chloritolites and gold-bearing chloritolites of the Karabash massif in the Main Uralian Fault

zone are slightly similar. The elevated Ti and P contents of the studied chloritoides, the level of REE contents corresponding to mafic rocks, and the lack of relict chromite indicate their possible metasomatic formation after dolerite dikes known within Chebarkul-Kazbai ultramafic complex.

Figures 8. Tables 7. References 14.

*Key words:* chloritoides, serpentinite, rodingite, rare earth elements, monazite, xenotime, ilmenite, rutile.

### Введение

Породы, сложенные практически нацело хлоритом (хлоритолиты), встречаются в плотике золотоносной элювиальной россыпи Моховое болото на площади Непряхинской группы кварцевых жил на Южном Урале. Золотоносные кварцевые жилы локализуются в субмеридиональных зонах смятия в полосе силурийско-девонских метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород, зажатых среди линзовидных тел серпентинитов, принадлежащих к Чебаркульско-Казбаевскому ордовикскому интрузивному комплексу (рис. 1) (Петров и др., 2015). Зеленосланцевые породы прорваны дайками габбро-дolerитов, гранит-порфиров, альбитизированных риолитов, а серпентиниты рассланцованы, карбонатизированы и оталькованы (Сазонов и др., 2001). При размыве всех пород образуются россыпи с крупным металлом (до 80 % частиц золота крупнее 1 мм), в том числе россыпь Моховое болото. Основная масса золота поступала в россыпь из кварц-карбонат-сульфидных жил, сопровождающихся оклорудными березитами-лиственитами, о чем свидетельствуют срастания его с минералами этих жил (Сазонов и др., 2001; Попова и др., 2003). Химический состав этого золота отвечает Au-Ag твердым растворам (Попова и др., 2003).

Наше внимание привлекли данные В.И. Поповой с соавторами (2003) о наличии другого возможного источника золота в россыпи Моховое болото, к которому отнесены породы с медистым золотом, подобные хлорит-гранат-пироксеновым родингитам в Карабашском массиве гипербазитов на Южном Урале (Ложечкин, 1935; Переляев, 1948; Спиридонов, Плетнев, 2002; Мурзин и др., 2006; 2013). Данное предположение базируется на находках в россыпи обломков пород, сложенных гранатом (андрадит-гроссуляр), диопсидом, клинохлором, а также зерен медьсодержащего (до 3 мас. % Cu) золота и Au-Cu интерметаллидов ( $\text{Au}_3\text{Cu}$ ,  $\text{AuCu}$ ) с вростками Hg-содержащего электрума (Попова и др., 2003).

Жилообразные тела золотоносных родингитов в Карабашском массиве залегают в антигори-

товых серпентинитах и окаймляются оторочками хлоритолитов мощностью до нескольких метров. В этом же массиве среди серпентинитов известны зоны хлоритолитов с небольшими линзами магнетит-хлорит-карбонатных пород, несущих золото с повышенным содержанием меди (Мурзин и др., 2017; Murzin et al., 2019). Характерной чертой всех золотоносных пород Карабашского массива, в том числе хлоритолитов, является их специализация на редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы, проявляющаяся в присутствии в породах собственных минералов этих элементов.

В данной статье приводится сопоставительный минералого-геохимический анализ хлоритолитов россыпи Моховое болото и Карабашского массива, представляющий интерес в связи с их различным положением в геологических структурах Южного Урала в восточном и западном обрамлении полосы метаморфических и магматических пород Вишневогорско-Ильменогорского миаскит-карбонатитового комплекса с его редкоземельно-редкометалльной минерализацией.

### Образцы и методы для исследования

Образцы хлоритолитов отобраны из небольшого (1 × 2 м) обнажения, вскрытого в плотике россыпи Моховое болото при ее разведке ООО «Ингул» в 2004 г. Координаты точки отбора образцов: 55°3'48.49" с.ш., 60°25'52.29" в.д. (WGS). Минеральный состав хлоритолитов изучался микроскопически в прозрачных и непрозрачных полированных аншлифах, а также в тяжелом концентрате пробы, раздробленной до фракции –0.5 мм. Концентрат представлен ильменитом и кристаллами магнетита октаэдрической формы и их обломками, присутствующими примерно в равных количествах. Среди акцессорных минералов в концентрате обнаружены единичные кристаллики циркона, монацита и ксенотима во фракциях крупности менее 0.25 мм.

Химический состав породы определен в аналитическом центре «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН (ИГТ УрО РАН)

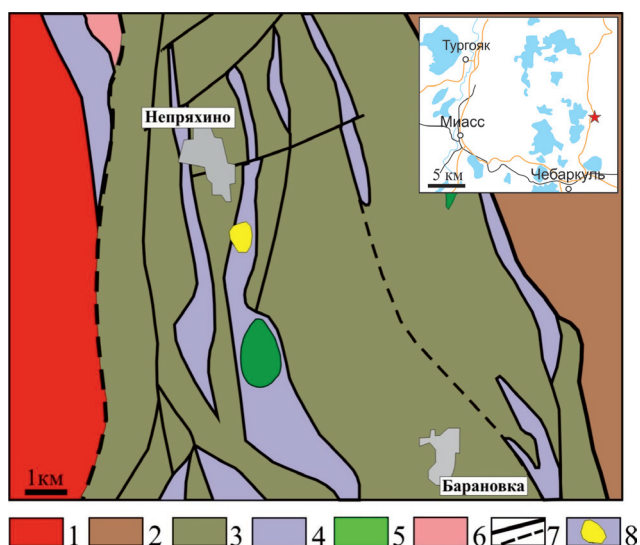


Рис. 1. Геологическое строение района Непряхинского месторождения и положение россыпи Моховое болото на основе геологической карты ГДП-200 (Петров и др., 2015).

1 – биотитовые граниты и лейкограниты Увильдинско-Кисегачского комплекса ( $P_1$ ); 2 – базальты, андезит-базальты, их туфы и метапесчаники кулуевской толщи ( $D_{1-2}$ ); 3 – углисто-кремнистые сланцы и метапесчаники булатовской толщи ( $S_1-D_1$ ); 4, 5 – серпентиниты (4) и габбро (5) Чебаркульско-Казбаевского комплекса ( $O_2$ ); 6 – плаггисланцы ( $RF_2$ ); 7 – тектонические нарушения; 8 – россыпь Моховое болото.

Fig. 1. Geological structure of the area of the Nepryakhino deposit and location of the Mokhovoe boloto gold placer after geological map GDP-200 (Petrov et al., 2015).

1 – biotite granite and leucogranite of the Lower Permian Uvildy-Kisegach complex; 2 – basalt, basaltic andesite, tuff and metasandstone of the Early–Middle Devonian Kuluevo Sequence; 3 – carbonaceous-siliceous shale and metasandstone of the Lower Silurian–Lower Devonian Bulatovo Sequence; 4, 5 – serpentinite (4) and gabbro (5) of the Middle Ordovician Chebarkul-Kazbaevo complex; 6 – Riphean plagioclase schist; 7 – faults; 8 – Mokhovoe boloto gold placer.

методами рентгеноспектрального флуоресцентного анализа РФА (CPM-35 и XRF-1800, основные компоненты) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS (ELAN 9000 и NexION 300S, микроэлементы). Электронно-зондовый микроанализ, включающий получение изображений исследуемых объектов во вторичных и обратно-рассеянных (BSE) электронах, а также рентгеноспектральный локальный микроанализ, выполнялся на электронных сканирующих микроскопах Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 и спектро-

метром с волновой дисперсией Oxford INCA Wave 700 (Институт экспериментальной минералогии РАН) и JSM-6390LV фирмы Jeol (ИГТ УрО РАН). Результаты рентгеноспектрального микроанализа рассчитывались в программе INCA Energy 300. Температура образования хлорита рассчитана по хлоритовому геотермометру, основанному на количестве тетраэдрического алюминия ( $Al^{IV}$ ) и мольной доле железа  $X(Fe)$  по формуле  $T, ^\circ C = 17.5 + 106.2 \times (Al^{IV} - 0.88 \times [X(Fe) - 0.34])$  (Zang, Fyfe, 1995).

### Результаты исследований

Химический состав породы близок к составу Mg-Fe хлорита. Для хлоритолита характерны низкие содержания щелочных элементов (Na, K), Ca, Cr и S (табл. 1). К особенностям микроэлементного состава относятся высокие содержания Mn, Ti, V (сотни граммов на тонну) и более низкие – Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Zr, Li, Sc (десятки граммов на тонну). Из благородных металлов в породе зафиксировано 11 г/т Ag и менее 60 мг/т Au. Концентрат пробы хлоритолита резко обогащен (в три раза и более) по сравнению с исходной породой Ti, Cr, Mn, Cu, Zn, Pb, Bi, As, Sb, Se, Y, Nb, Ta, U и Th. Напротив, валовая проба обогащена Li, Ga и Be, концентрирующимися, по-видимому, в хлорите. Величины отношений Th/U в концентрате и породе близки (2.4 и 2.7, соответственно), что свидетельствует о единых минеральных формах этих элементов. Суммарное содержание РЗЭ в пробе хлоритолита составило 20.2 г/т, а в концентрате – 37.5 г/т. Хондрит-нормализованные тренды распределения РЗЭ как в хлоритолите, так и в концентрате носят слабо дифференцированный субхондритовый характер, однако осложнены ярко выраженными отрицательными аномалиями Eu (рис. 2, тренды 1 и 2). Концентрат по отношению к породе в целом обогащен тяжелыми РЗЭ.

Макроскопически породы имеют зеленый цвет и сложены тонко-мелкозернистым агрегатом хлорита (97 об. %) с неравномерно рассеянной вкрапленностью ильменита и магнетита (2–3 об. %). Размер зерен магнетита и ильменита менее 0.5 мм, редко достигает 2–3 мм. Мелкозернистая масса хлоритолита рассекается редкими прожилками мощностью до 1 см крупнозернистого хлорита, иногда фестончатого строения (рис. 3). Эти прожилки рудной минерализации не несут. Акцессорные минералы представлены рутилом, ксенотимом, монацитом, цирконом, апатитом, шеелитом, U-содержащим то-

Таблица 1

**Химический состав пробы хлоритолита и тяжелого концентрата по данным рентгеноспектрального флуоресцентного и химического анализов**

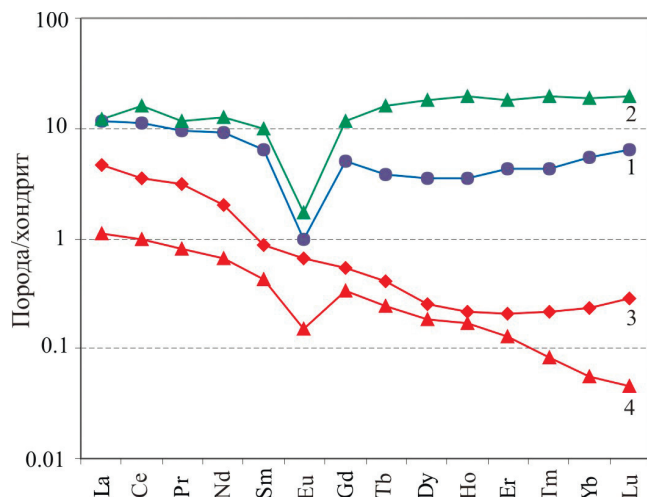
Table 1

**Chemical composition of chloritolite and heavy concentrate according to X-ray spectral fluorescence and chemical analyses**

Основные компоненты, мас. %		Микроэлементный состав породы / концентрата (ИСП-МС), г/т					
SiO <sub>2</sub>	24.65	Li	18/1.9	Zr	97/96	Gd	1.01/2.4
MgO	26.25	Be	0.07/0.014	Nb	0.8/60	Tb	0.14/0.6
FeO (хим)	11.70	Sc	33/35	Mo	0.15/0.37	Dy	0.9/4.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.73	Ti	500/40000	Ag	11/9.1	Er	0.7/3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.31	V	240/350	Au	0.06/0.07	Ho	0.2 /1.1
CaO	0.20	Cr	20/900	Cd	0.1/0.11	Tm	0.11/0.5
Na <sub>2</sub> O	0.10	Mn	1200/6000	Sn	0.48/0.5	Yb	0.9/3.1
K <sub>2</sub> O	0.03	Co	56/50	Sb	0.16/0.78	Lu	0.16/0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	Ni	60/33	Te	0.01/0.16	Hf	3/4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	Cu	14.5/290	Cs	0.011/0.008	Y	4/21
TiO <sub>2</sub>	0.28	Zn	100/600	Ba	5.6/3.3	Ta	0.1/3.3
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	Ga	12/5	La	2.8/3	W	0.9/13
MnO	0.24	Ge	0.7/1.5	Ce	7/10	Tl	0.008/0.008
S (хим)	0.02	As	0.77/5.3	Pr	0.9/1.1	Pb	0.6/1.9
ППП (хим)	12.1	Se	0.085/0.71	Nd	4.3/6	Bi	0.005/0.021
Сумма	99.3	Rb	0.07/0.25	Sm	1/1.5	Th	2.7/9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (общее)	20.74	Sr	0.6/1.2	Eu	0.056/0.1	U	1/3.7

*Примечание.* FeO, S и потери при прокаливании определены химическим методом. Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитано по формуле Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (общее) – 1.1114FeO (хим).

*Note.* FeO, S and losses on ignition are determined by chemical method. The Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content is calculated from formula: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (total) – 1.1114FeO (chemical).



*Рис. 2.* Хондрит-нормализованные спектры РЗЭ хлоритолитов россыпи Моховое болото (1 – порода, 2 – концентрат) и хлоритолитовой оторочки золотоносных родингитов Карабашского массива (3, 4).

*Fig. 2.* Chondrite-normalized REE patterns of chloritolites of the Mokhovoe boloto placer (1 – rock, 2 – concentrate) and chloritolite rims of gold-bearing rodingite of the Karabash massif (3, 4).



*Рис. 3.* Мелкозернистый хлоритолит (1) с прожилками крупнозернистого (2).

*Fig. 3.* Fine-grained chloritolite (1) with coarse-grained (2) chloritolite veins.



ритом. Все они, включая ильменит и магнетит, рассеяны в основной массе мелкозернистого хлорита.

*Хлорит.* Мелкозернистый хлорит основной массы и прожилков относится к Cr-содержащей (до 1.27 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) магнезиально-железистой разновидности с варьирующими содержаниями Mg и Fe (табл. 2). Неоднородность состава хлорита отражают изображения в режиме BSE, на которых наиболее железистые фазы выглядят светлее магнезиальных (рис. 4). Хлорит содержит  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (до 1.3 мас. %),  $\text{TiO}_2$  (до 0.3 мас. %) и MnO (до 0.4 мас. %).

*Ильменит и рутил.* В хлоритолите присутствуют два морфотипа ильменита: 1) ксеноморфный, насыщенный в центральных частях включениями рутила (рис. 5а), и 2) удлиненные таблитчатые кристаллы (рис. 5в, г) с редкими включениями ру-

тила. Второй морфотип характерен для участков породы, в которых ильмениту сопутствуют кристаллы магнетита. В виде включений в ильмените обоих морфотипов присутствуют хлорит, апатит, ксенотим, монацит, циркон, а также мельчайшие кристаллы шеелита.

Химический состав ильменита и рутила приведен в таблице 3. Содержание обычных для ильменита оксидов Mg и Mn низки (0.08–0.65 и 1.8–2.32 мас. %, соответственно). Наиболее существенно составы ильменита морфотипов 1 и 2 отличаются по содержанию W. Ильменит морфотипа 1 в основной массе выделений обогащен им (0.13–1.22 мас. %  $\text{WO}_3$ ), а участками содержание  $\text{WO}_3$  достигает 8.43 мас. %. К этим морфологически разнообразным участкам размером до 5–6 мкм

Таблица 2

**Представительные анализы хлорита из проявления Моховое болото и расчетные температуры его образования**

Table 2

**Representative analyses of chlorite from the Mokhovoe boloto occurrence and calculated temperatures of its formation**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\text{SiO}_2$	27.96	27.82	27.12	22.66	26.01	22.26	23.81	25.29	21.77	22.42	25.40
$\text{TiO}_2$	—	0.06	0.01	0.18	0.15	0.07	—	0.03	0.27	0.17	0.26
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.77	15.27	18.15	21.46	15.60	20.56	20.19	20.78	20.63	22.81	19.18
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0.25	0.03	0.15	0.19	0.38	1.27	—	0.04	0.74	0.25	0.28
FeO	10.52	11.38	11.39	18.56	12.35	16.35	16.16	16.56	14.78	20.67	15.54
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	—	—	—	—	—	3.76	0.24	—	1.76	0.60	0.86
MnO	0.00	0.08	0.19	0.32	—	0.73	0.08	0.02	0.15	0.40	0.12
MgO	24.45	23.96	23.66	15.39	21.30	15.06	18.89	18.65	16.68	15.00	20.36
Сумма	76.95	78.60	80.67	78.76	75.79	80.12	79.33	81.37	76.78	82.32	82.03
Сумма*	83.74	83.80	83.22	84.46	83.97	84.65	84.20	84.22	84.35	84.59	84.21
Число катионов, ф.е. (расчет на 20 катионов)											
Si	6.24	6.10	5.80	5.21	5.99	5.11	5.32	5.53	5.09	4.98	5.49
Ti	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.05	0.03	0.04
Al	3.62	3.95	4.57	5.82	4.23	5.56	5.32	5.35	5.68	5.97	4.89
Cr	0.04	0.01	0.03	0.03	0.07	0.23	0.00	0.01	0.14	0.04	0.05
$\text{Fe}^{3+}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.04	0.00	0.31	0.10	0.14
$\text{Fe}^{2+}$	1.96	2.08	2.03	3.57	2.37	3.14	3.02	3.02	2.89	3.84	2.81
Mn	0.00	0.01	0.03	0.06	0.00	0.14	0.02	0.00	0.03	0.08	0.02
Mg	8.13	7.83	7.53	5.27	7.31	5.15	6.29	6.08	5.81	4.96	6.56
$\text{Al}^{\text{IV}}$	1.76	1.90	2.20	2.79	2.01	2.89	2.68	2.47	2.91	3.02	2.51
$\text{Al}^{\text{VI}}$	1.86	2.05	2.37	3.03	2.22	2.67	2.64	2.89	2.77	2.95	2.38
X(Fe)	0.19	0.21	0.22	0.41	0.25	0.43	0.33	0.33	0.36	0.45	0.31
$T, ^\circ\text{C}$	218	231	263	307	240	316	303	280	325	328	286

*Примечание.* Анализы: 1–6 – мелкозернистый хлорит основной массы породы; 7–11 – крупнозернистый хлорит прожилков. X(Fe) – железистость хлорита  $(\text{Fe} + \text{Mn})/(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg})$ . Сумма\* – сумма компонентов с добавлением веса  $(\text{OH})_8$  согласно теоретической формуле хлорита. Здесь и далее, прочерк – не установлено. Пониженные суммы компонентов в анализах объясняются наличием в изученных хлоритах избыточной связанной воды в смектитовых слоях смешанно-слоистой хлоритовой матрицы.

Note. Analyses: 1–6 – small-grained chlorite of main rock; 7–11 – veined coarse-grained chlorite. X(Fe) – iron mole fraction of chlorite  $(\text{Fe} + \text{Mn})/(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg})$ . Сумма\* – sum of components including a weight of  $(\text{OH})_8$  according to the theoretical formula of chlorite. Hereinafter, dash – not determined. The lower analytical sums of components are explained by the presence of excess bonded water in smectite layers of the mixed-layered chlorite matrix.

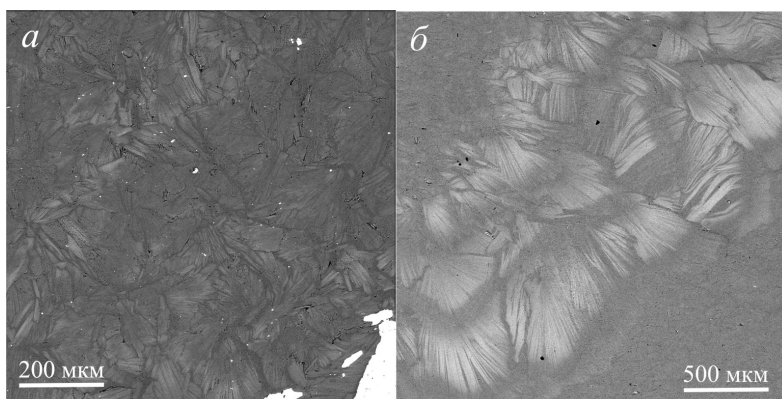


Рис. 4. Мелкозернистый хлоритолит с рассеянными мелкими кристаллами циркона (а) и рассекающий его прожилок фестончатого хлорита (б).

Здесь и на рис. 5–7 – изображения в обратно-рассеянных электронах.

Fig. 4. Fine-grained chloritoidite with small zircon crystals (a) and a vein of festoon chlorite (b).

Here and in Figs. 5–7 – BSE images.

Таблица 3

### Химический состав ильменита и рутила

Table 3

#### Chemical composition of ilmenite and rutile

№ ан.	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	WO <sub>3</sub>	Сумма
1	0.31	0.13	52.80	0.59	–	1.94	44.11	0.90	100.78
2	0.65	0.29	53.49	0.64	–	2.04	44.09	0.13	101.33
3	0.26	0.15	54.17	0.19	0.12	2.22	42.03	1.22	100.36
4	0.32	0.04	55.29	0.31	0.15	1.83	43.38	0.33	101.65
5	0.32	0.30	54.46	0.27	–	2.01	42.80	0.91	101.07
6	0.39	0.13	52.83	0.00	0.00	2.14	43.16	2.35	101.00
7	0.35	0.43	53.51	0.05	0.02	2.11	42.73	1.32	100.52
8	0.08	0.36	49.17	0.18	–	1.88	41.62	8.43	101.72
9	0.51	0.09	50.41	0.50	–	1.80	40.26	4.39	97.96
10	0.41	–	53.19	0.13	–	2.24	44.20	–	100.17
11	0.42	0.19	53.76	–	0.03	2.32	44.79	–	101.51
12	0.32	0.28	52.90	0.02	0.08	2.23	44.67	–	100.50
13	0.42	–	52.97	0.12	0.07	2.10	42.94	–	98.62
14	0.31	–	54.15	0.00	–	2.07	44.24	–	100.77
15	–	0.07	99.59	0.07	0.09	–	1.13	–	100.95
16	0.07	–	98.89	0.65	–	0.08	1.00	–	100.69
17	0.20	0.04	98.81	1.53	–	0.03	0.31	–	100.92
18	0.23	–	97.90	1.20	0.18	0.04	0.45	–	100.00
19	0.11	0.01	98.71	0.77	0.10	0.22	0.93	–	100.85
20	0.19	–	95.69	0.66	0.15	–	2.10	2.60	101.39
21	0.16	–	95.28	0.75	–	0.15	1.80	2.41	100.55
22	0.16	0.10	91.93	1.09	0.16	0.12	2.56	4.35	100.47
23	0.03	0.23	93.07	0.79	0.08	0.24	3.22	3.22	100.88
24	0.10	–	92.78	0.72	0.28	–	2.45	4.51	100.84
25	1.15	0.19	81.58	0.86	–	0.06	6.32	7.75	97.91
26	0.43	0.06	89.93	0.75	–	0.27	3.25	5.08	99.77

Примечание. Анализы: 1–5 – ильменит, морфотип 1; 6–9 – участки обогащения W ильменита морфотипа 1; 10–14 – ильменит, морфотип 2; 15–19 – включения рутила в ильмените морфотипа 1; 20–26 – участки обогащения рутила W.

Note. Analyses: 1–5 – ilmenite, morphological type 1; 6–9 – W-rich areas of ilmenite of morphological type 1; 10–14 – ilmenite, morphological type 2; 15–19 – rutile inclusions in ilmenite of morphological type 1; 20–26 – W-rich areas of rutile.

приурочены скопления частиц шеелита (рис. 5б). В ильмените морфотипа 2 содержание W ниже чувствительности микроанализа. Вольфрам не за-

фиксирован и в основной массе рутила, хотя в нем также обнаружены мелкие обогащенные W участки (2.45–7.75 мас. % WO<sub>3</sub>).

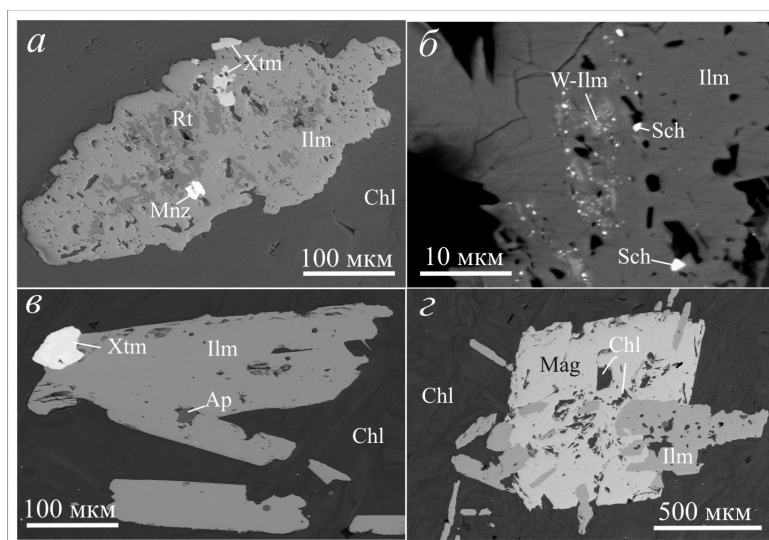


Рис. 5. Типичные выделения ильменита (Ilm) и магнетита (Mag) в мелкозернистом хлоритолите (Chl):

а – ксеноморфный ильменит с многочисленными включениями рутила (Rt) и редкими включениями ксенотима (Xtm) и монацита (Mnz); б – W-содержащие участки ильменита (W-Ilm) и приуроченные к ним скопления мельчайших зерен шеелита (Sch); в – кристаллы ильменита (Ilm) в сростании с ксенотимом и апатитом (Ap); г – кристалл магнетита в сростании с ильменитом и многочисленными включениями хлорита в центральной части.

Fig. 5. Typical ilmenite (Ilm) and magnetite (Mag) grains in fine-grained chloritilite (Chl):

а – anhedral ilmenite with numerous rutile (Rt) and rare xenotime (Xtm) and monazite (Mnz) inclusions; б – W-bearing areas of ilmenite (W-Ilm) and associated aggregates of tiny scheelite grains (Sch); в – ilmenite crystals (Ilm) intergrown with xenotime (Xtm) and apatite (Ap); г – magnetite crystal (Mag) intergrown with ilmenite (Ilm) and numerous inclusions of chlorite (Chl) in its central part.

**Магнетит** в виде октаэдрических кристаллов размером до 2 мм рассеян в хлорите, иногда он сростается с ильменитом и содержит многочисленные вроски хлорита (рис. 5г) и реже мелкие кристаллики циркона. В составе четырех изученных кристаллов магнетита обнаружены примеси (мас. %): 0.06–0.27 MgO; 0.02–0.35 MnO; 0.09–0.24 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и до 0.2 ZnO.

**Ксенотим** является наиболее распространенным аксессуарным минералом хлоритолита. Он образует кристаллы или ксеноморфные зерна в хлорите, часто в сростаниях с ильменитом (рис. 5а, в). Включения в нем представлены цирконом (рис. 6а, в), монацитом и мельчайшими Th и U фазами (рис. 6г).

Ксенотим обычно имеет отчетливо проявленную концентрическую или более сложную зональность (рис. 6б–г), обусловленную вариациями суммарных содержаний РЗЭ, замещающих Y. На BSE снимках зоны выглядят светлее по мере возрастания содержаний РЗЭ. Они отражают сильную изменчивость (иногда ритмическую) соотношений Y и РЗЭ во время роста кристаллов ксенотима. В таблице 4 показаны типичный состав ксенотима, отражающий весь диапазон вариаций Y и РЗЭ.

В его составе фиксируются примеси U (до 1.2 мас. % UO<sub>3</sub>) и Th (до 1.5 мас. % ThO<sub>2</sub>).

Монацит, апатит, циркон, шеелит и U-торит являются наименее распространенными аксессуарными минералами. **Монацит** образует мелкие (до 20 мкм) изометричные или клиновидные зерна в хлорите (рис. 7а, б). Он также часто сростается с ильменитом или образует в нем вроски (рис. 5а). Мелкие включения монацита встречаются также в ксенотиме. Некоторые зерна монацита имеют метамиктную кайму, для которой характерны повышенные содержания радиоактивных металлов (до 3.5 мас. % ThO<sub>2</sub> и до 0.6 мас. % UO<sub>3</sub>) и пониженное суммарное содержание всех элементов (табл. 5, ан. 5–7). Соотношения основных РЗЭ элементов в монаците (Ce ≥ Nd >> La) отвечает цериевой разновидности.

**Апатит** в виде мелких кристаллов размером до 50 мкм встречается в мелкозернистом хлорите или ильмените (рис. 7а, б). По химическому составу (табл. 6) минерал соответствует гидроксифторапатиту. Наибольшее содержание F (1.44 мас. %) зафиксировано в кристалле апатита в хлорите (табл. 6, ан. 3). Для этого зерна характерно также повышенное содержание Sr, La и Ce.

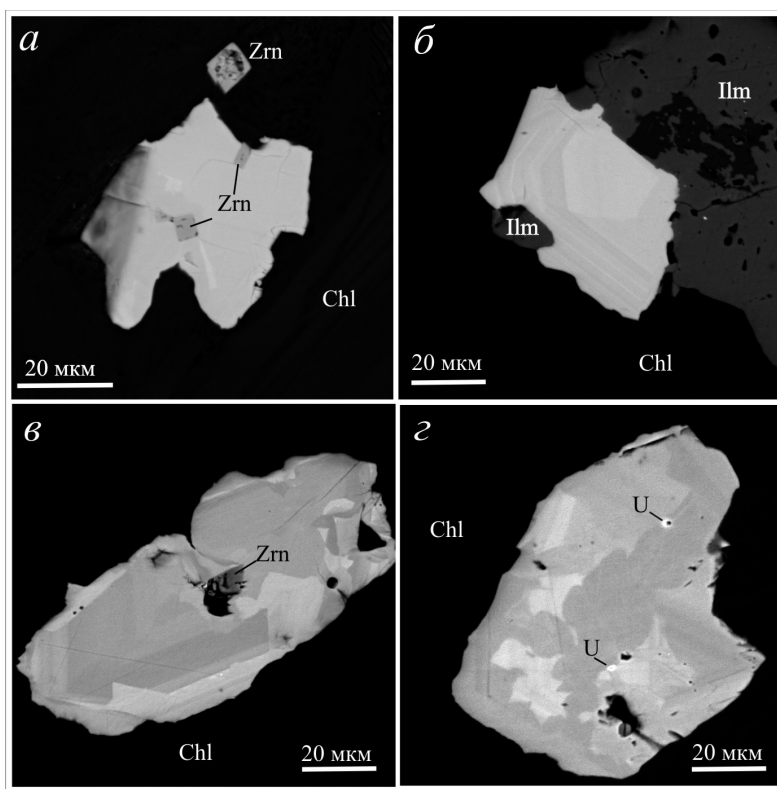


Рис. 6. Зональный ксенотим в мелкозернистом хлоритолите (Chl) с включениями циркона (Zrn), ильменита (Ilm) (рис. а–б) и неидентифицированных урановых фаз (U) (рис. г).

Fig. 6. Zonal xenotime in fine-grained chloritite (Chl) with inclusions of zircon (Zrn), ilmenite (Ilm) (a–б) and unidentified U phases (U) (г).

Таблица 4

Химический состав ксенотима, мас. %

Table 4

Chemical composition of xenotime, wt. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36.26	34.04	34.88	33.91	33.07	34.17	34.08	34.42	34.12
CaO	0.96	0.77	1.38	0.02	—	1.09	—	0.05	1.35
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.86	43.01	40.60	40.00	42.61	36.62	38.61	35.81	32.49
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.35	0.40	0.93	0.57	0.65	0.39	0.95	1.14
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0.19	—	0.69	0.48	—	1.18	2.11	—
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.82	1.65	2.85	0.82	0.35	5.86	0.95	0.44	8.84
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0.79	1.10	5.42	2.15	1.93	4.48	6.04	0.35
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	4.06	7.18	0.07	0.30	7.12	—	1.06	9.52
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67	1.58	2.00	6.53	5.35	1.01	5.71	6.09	1.99
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.35	5.11	4.56	1.46	2.74	4.20	2.32	1.08	2.79
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63	0.85	0.54	4.29	6.36	1.00	5.37	4.67	0.59
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17	5.34	3.76	0.55	1.17	3.29	1.16	0.28	3.20
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	2.42	0.04	3.26	3.84	0.01	4.10	4.96	1.00
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.38	0.37	1.48	0.32	1.02	0.59	0.07
ThO <sub>2</sub>	0.27	0.35	0.28	—	—	—	1.55	—	0.84
UO <sub>3</sub>	0.33	0.30	0.19	0.24	0.02	—	0.35	0.87	—
Сумма	98.97	100.81	100.14	98.56	100.49	97.27	101.27	99.42	98.29
ΣРЗЭ	17.29	22.34	22.81	24.39	24.79	25.39	26.68	28.27	29.49



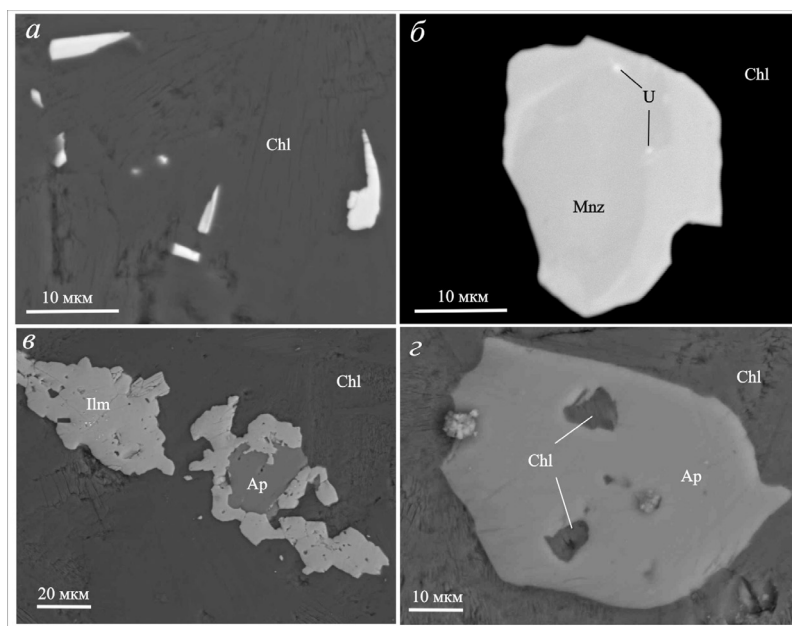


Рис. 7. Типичные выделения монацита (Mnz) и апатита (Ap) в мелкозернистом хлорите (Chl):

а – зерна монацита клиновидной формы; б – зональный кристалл монацита с метамиктной каймой и включениями U-Th фаз (U); в – срастание апатита с ильменитом (Ilm); г – кристалл апатита с включениями хлорита.

Fig. 7. Typical monazite (Mnz) and apatite (Ap) grains in fine-grained chlorite (Chl):

а – wedge-shaped monazite grains; б – zonal monazite crystal with metamict rim and inclusions of U-Th phases (U); в – aggregate of apatite and ilmenite (Ilm); г – apatite crystal with chlorite inclusions.

Таблица 5

#### Химический состав монацита, мас. %

Table 5

#### Chemical composition of monazite, wt. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	0.43	0.48	0.22	0.22	0.51	0.46	0.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26.28	26.69	26.83	28.40	28.61	27.42	27.11
CaO	0.11	—	—	0.05	0.28	0.15	0.51
MnO	0.61	0.46	0.50	0.02	—	—	0.06
FeO	0.53	0.68	0.98	0.42	1.03	1.05	1.10
SrO	0.22	0.30	—	0.62	0.19	0.10	0.01
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.75	11.69	4.09	8.34	10.49	12.14	9.08
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.37	30.52	22.92	25.11	27.62	28.41	25.34
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.84	4.23	4.59	3.33	2.98	3.43	4.05
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.32	18.74	23.11	21.70	16.29	16.25	17.04
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.30	2.39	6.85	4.91	3.42	4.62	3.06
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1.43	1.82	0.56	—	0.13
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.67	2.01	5.06	3.06	2.22	2.51	2.67
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.44	0.17	1.30	—	0.59	0.60	0.55
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.53	0.43	1.77	—	0.79	0.42	0.19
PbO	—	—	0.48	—	0.03	—	—
ThO <sub>2</sub>	0.33	—	0.11	0.34	1.48	0.48	3.52
UO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	0.18	0.56
Сумма	98.73	98.79	100.24	98.34	97.12	98.21	95.51

Примечание. Анализы 5–7 – метамиктный монацит.

Note. Analyses 5–7 – metamict monazite.

Циркон встречается в виде призматических кристаллов размером до 25 мкм, заключенных в хлорите или ксенотиме (рис. ба, в) и реже ильмените и магнетите. Химический состав циркона приведен

в табл. 7. Содержание наиболее характерной примеси широко варьирует: от 0.27 до 5.07 мас. % HfO<sub>2</sub>. В некоторых зернах обнаружен U (до 1.5 мас. % UO<sub>3</sub>).

Таблица 6

## Химический состав апатита, мас. %

Table 6

## Chemical composition of apatite, wt. %

Компонент	1	2	3
CaO	54.18	53.47	53.50
SiO <sub>2</sub>	—	0.48	0.83
TiO <sub>2</sub>	0.90	0.26	0.40
MnO	0.26	0.23	0.10
FeO	0.93	0.50	0.60
SrO	0.72	0.73	0.85
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.61
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.00	0.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	39.51	40.17	40.27
Cl	0.02	0.08	0.08
F	0.44	0.79	1.44
Сумма	97.16	96.71	99.06

Примечание. Включения апатита в ильмените (1, 2) и хлорите (3).

Note. Inclusions of apatite in ilmenite (1, 2) and chlorite (3).

Таблица 7

## Химический состав циркона, мас. %

Table 7

## Chemical composition of zircon, wt. %

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	31.22	31.09	31.48	31.49	31.45	31.56
CaO	0.00	0.06	0.17	0.00	0.26	0.10
FeO	1.19	2.16	0.48	0.80	1.25	0.76
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	65.99	63.46	67.09	63.07	66.12	65.17
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.42	0.00	0.00	0.62	0.00
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.19	0.00	0.01	0.24	0.08
HfO <sub>2</sub>	0.27	0.74	2.06	5.07	0.62	1.62
PbO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ThO <sub>2</sub>	0.02	0.30	0.00	0.00	0.05	0.00
UO <sub>3</sub>	0.29	0.02	0.00	0.38	0.00	1.48
Сумма	99.22	98.44	101.28	100.82	100.61	100.77

Примечание. Включение циркона в ильмените (1), ксенотиме (2) и хлорите (3–6).

Note. Inclusions of zircon in ilmenite (1), xenotime (2) and chlorite (3–6).

*Шеелит* в виде единичных кристаллов или их скоплений рассеян в ильмените (рис. 56). Размер кристаллов обычно менее 2 мкм, что исключило возможность определения его точного химического состава (измеренные составы близки к CaWO<sub>4</sub>).

*Торит* встречен в виде единичных зерен размером до 1–2 мкм в ильмените и лишь одно из них имело размер 15 мкм. Это зерно овальной формы приурочено к контакту включения ильменита в центральной части кристалла магнетита. Состав торита отвечает формуле (Th,U)SiO<sub>4</sub> (мас. %): 66.85 ThO<sub>2</sub>, 9.14 UO<sub>3</sub>, 16.35 SiO<sub>2</sub>, 4.04 FeO, 1.99 PbO, 98.37 сумма.

## Обсуждение результатов

Описанные выше взаимоотношения минералов в мелкозернистых хлоритолитах, характеризующиеся взаимными срастаниями друг с другом, позволяют отнести их к единому минеральному парагенезису, сокристаллизующемуся с мелкозернистым хлоритом основной массы породы. Крупнозернистый прожилковый хлорит, судя по идентичности его состава составу мелкозернистого хлорита, образовался путем последующей перекристаллизации мелкозернистого вдоль внутрискладчатых трещин.

До недавнего времени хлоритоциты, обогащенные Ti, P, редкими и РЗЭ элементами, выде-

лялись лишь в составе силачского лестиварит-карбонатит-хлоритолитового комплекса, синхронного и родственного вишневогорско-ильменогорскому миаскит-карбонатитовому комплексу с его редкоземельно-редкометалльной минерализацией (Левин и др., 1997). Магматические и метасоматические породы силачского комплекса локализуются в гипербазитовых массивах зоны Главного Уральского разлома (Уфалейский, Сугомакский, Каганский и др.). К этой же зоне приурочен и Карабашский массив, для хлоритолитов и сопровождающих их пород (родингиты, магнетит-хлорит-карбонатные метасоматиты) которого был обоснован апогипербазитовый гидротермально-метасоматический генезис и разработана физико-химическая модель их формирования (Мурзин и др., 2017; Murzin et al., 2019). В этой модели участвует глубинный хлоридно-натриевый углекислотный флюид, извлекающий рудные компоненты из смеси глубокозалегающих базит-гипербазитовых пород и разгружающийся в процессе тектонического выдвигания корово-мантийной смеси к поверхности.

Изученные хлоритолиты Непряхинской золотоносной площади с Ti-P-REE минерализацией находятся восточнее зоны Главного Уральского разлома в пределах Восточно-Уральской мегазоны, примыкая к полосе пород вишневогорско-ильменогорского комплекса с запада. Описания подобных хлоритолитов с Ti-P-REE минерализацией в массивах Восточно-Уральской мегазоны нам не известны и, возможно, имеют другое происхождение.

Помимо Ti-P-REE минерализации в некоторых типовых объектах силачского комплекса в хлоритолитах отмечались также участки с повышенным содержанием благородных металлов: Au (до 1 г/т) и Pd (до 40 мг/т) (Левин и др., 1997). В хлоритолитах Карабашского массива, особенно сопровождающих родингиты, часто обнаруживаются частицы золота, в том числе видимого. Напротив, зерна самородного золота в аншлифах хлоритолитов и изученных нами концентратов двух небольших по весу (до 1 кг) протолок проб Мохового болота обнаружены не были. Тем не менее, содержания Au и Ag в них относительно кларковых для основных и ультраосновных пород почти на порядок более высокие и достигают 11 г/т Ag и 70 мг/т Au (табл. 1).

Гидротермально-метасоматический генезис и гипербазитовый протолит хлоритолитов Карабашского массива не вызывает сомнений, поскольку в них присутствует реликтовый хромшпинелид и визуально наблюдается их постепенный пере-

ход через зону хлоритизированных серпентинитов в незатронутые хлоритизацией породы (Мурзин и др., 2013, 2017). В плотике россыпи Моховое болото контакты хлоритолита с какими-либо породами вскрыты не были. Не были в них обнаружены и реликтовые зерна хромшпинелида.

Отличия хлоритолитов сопоставляемых объектов проявляются и в особенностях распределения РЗЭ. Суммарное содержание РЗЭ в пробе хлоритолита Мохового болота составило 20.2 г/т, что, несмотря на присутствие в них собственных минералов РЗЭ, в целом соответствует уровню магматических пород основного состава. Для фоновых хлоритолитов Карабашского массива характерны более низкие суммарные содержания РЗЭ (1.5–5.1 г/т), хотя и превышающие таковые в серпентинитах ( $\Sigma$ РЗЭ 0.4–0.6 г/т), по которым они развиваются (Мурзин и др., 2013).

Характер хондрит-нормализованных трендов распределения РЗЭ в хлоритолитах в сравниваемых объектах также существенно отличается (рис. 2). Для хлоритолитов Мохового болота характерны слабо дифференцированные тренды с интенсивными отрицательными Eu аномалиями. В Карабашских хлоритолитах тренды РЗЭ сильно дифференцированы с резким преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми и значительно менее выраженной Eu аномалией или даже ее отсутствием (рис. 2, тренды 3 и 4).

Хлоритолиты Мохового болота, также как и хлоритолиты Карабашского массива, сложены клинохлором с широко варьирующим соотношениями Mg и Fe. Расчет температур образования хлорита Мохового болота по хлоритовому геотермометру (Zang, Fyfe, 1995) обозначил температурный диапазон 220–330 °C (табл. 2). На диаграмме T-X(Fe) (рис. 8) отчетливо видна прямая зависимость X(Fe) хлорита от температуры, что вполне объяснимо тем, что этот параметр входит в формулу расчета температуры. Хлорит из хлоритолитов Карабашского массива менее железистый ( $X(\text{Fe}) < 0.3$ ) и образовался при более низких температурах (160–260 °C). Однако и в этом случае направление линии корреляции совпадает с таковой для хлоритолитов Мохового болота.

Иной тренд вариаций состава имеет хлорит из золотоносных родингитов Карабашского массива. Его железистость не коррелирует с температурой, которая при возрастании железистости остается в диапазоне 200–260 °C (рис. 8). Этому же тренду соответствуют также анализы хлорита из обломков

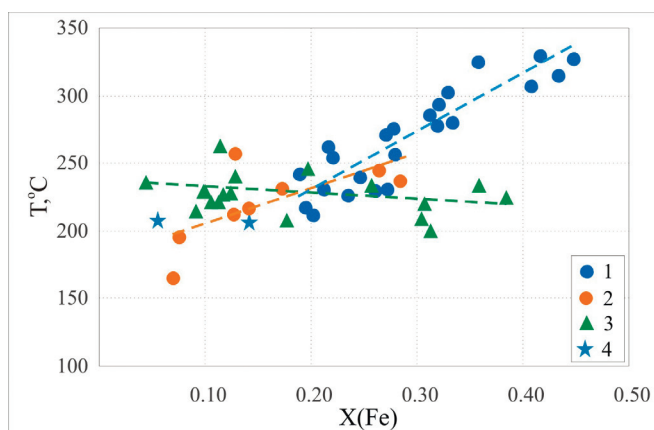


Рис. 8. Зависимость между железистостью и температурой образования хлорита.

1 – Хлоритолиты Мохового болота; 2, 3 – хлоритолиты (2) и родингиты (3) Карабашского массива; 4 – обломки родингита с медистым золотом из россыпи Моховое болото (Попова и др., 2003).

Fig. 8. Correlation between iron mole fraction and formation temperature of chlorite.

1 – Mokhovoe boloto chloritولite; 2, 3 – chloritولite (2) and rodingite (3) of the Karabash massif; 4 – fragments of rodingite with cupriferous gold from the Mokhovoe boloto placer (Popova et al., 2003).

родингита с медистым золотом из россыпи Моховое болото (Попова и др., 2003). Выявленные особенности эволюции состава хлорита при понижении температуры мы связываем с отличиями при формировании пород. Если родингиты являются гидротермальными жильными образованиями, то хлоритолиты развиваются метасоматически по серпентинитам (Мурзин и др., 2013, 2017).

Необычная черта ильменита и рутила изученных хлоритолитов Мохового болота – высокие содержания в них Fe и W (табл. 3). Подобные составы рутила на Урале описаны в шеелитоносных гумбейтах высокотемпературной фации Гумбейского и Шарташского рудных полей (Спиридонов и др., 1998; Филимонов, 2000). В Шарташском поле внутренние зоны кристаллов рутила обогащены W (до 4.2 мас.%  $WO_3$ ); в них проявлен гетеровалентный изоморфизм Fe и W, замещающих Ti (Филимонов, 2000). Примеси W в ильмените и рутиле из метасоматических пород Карабашского массива и пород силачского лестиварит-карбонатит-хлоритолитового комплекса установлены не были.

### Закключение

Описанные нами основные и акцессорные минералы Ti, P, W, Zr, Y, REE хлоритолитов россыпи

Моховое болото и их взаимоотношения, характеризующиеся взаимными срастаниями друг с другом, позволяют отнести их к единому минеральному парагенезису, сокристаллизующемуся с мелкозернистым хлоритом основной массы породы. Сравнительный анализ минералого-геохимических характеристик хлоритолитов россыпи Моховое болото и Карабашского массива, в том числе сопровождающих золотоносные родингиты месторождения Золотая Гора, не выявил полной их идентичности. Специализация изученных хлоритолитов на Ti, P, уровень содержаний РЗЭ, соответствующий породам основного состава, и отсутствие реликтовых зерен хромшпинелида делают весьма вероятным их образование путем метасоматического замещения дайки долеритов, распространенных в пределах гипербазитового массива, относящегося к Чебаркульско-Казбаевскому комплексу.

Авторы благодарны Н.П. Горбуновой, Л.А. Татариновой, Г.С. Неупкоевой, Г.А. Аввакумовой, Н.В. Чередниченко и Л.В. Леоновой за содействие в аналитических исследованиях.

Работа выполнена в рамках государственных заданий (№№ государственной регистрации АААА-А18-118052590028-9 и АААА-А18-118020590151-3).

### Литература

- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев И.С., Киселёв А.П. (1997) Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 274 с.
- Ложечкин М.П. (1935) Карабашское месторождение медистого золота. *Труды УФАИ СССР*, (4), 35–44.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Пальянова Г.А. (2017) Условия образования золотоносных магнетит-хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал). *Геология и геофизика*, **58**(7), 1006–1020.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А., Ронкин Ю.Л., Шанина С.Н. (2013) Происхождение золотоносных родингитов Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале. *Геология рудных месторождений*, **55**(4), 320–341.
- Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Варламов Д.А., Шанина С.Н. (2006) Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов. *Литосфера*, (1), 113–134.
- Перелаяев А.П. (1948) Месторождение Золотая Гора. *200 лет золотой промышленности Урала*. Свердловск, УФАИ СССР, 285–295.



- Петров В.И., Шалагинов А.Э., Пунегов Б.Н.** (2015) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-VII. Объяснительная записка. М., МФ ВСЕГЕИ, 167 с.
- Попова В.И., Попов В.А., Котляров В.А., Зазуляк И.А.** (2003) Минералогия россыпи золота Моховое болото (Непряхинское месторождение, Южный Урал). *Металлогения древних и современных океанов-2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах*. Миасс, ИМин УрО РАН, 183–193.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А.** (2001) Месторождения золота Урала. Екатеринбург, УГГГА, 622 с.
- Спиридонов Э.М., Плетнев П.А.** (2002) Месторождение медистого золота Золотая Гора. М., Научный мир, 216 с.
- Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Середкин М.В., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И., Филимонов С.В.** (1998) Гумбеиты Урала и сопряженная рудная минерализация, параметры их образования. *Геология рудных месторождений*, **40**(2), 171–190.
- Филимонов С.В.** (2000) W-рутил из гумбеитов Березовского золоторудного поля (Средний Урал). *Уральская летняя минералогическая школа-2000: под знаком уральских самоцветов*. Екатеринбург, УГГГА, 376–378.
- Murzin V., Chudnenko K., Palyanova G., Varlamov D.** (2019) Formation of Au-bearing antigorite serpentinites and magnetite ores at the massif of ophiolite ultramafic rocks: thermodynamic modeling. *Minerals*, (9), 758.
- Zang W., Fyfe W.S.** (1995) Chloritisation of the hydrothermally altered bedrock at the Igarape Bahia gold deposit, Carajas, Brazil. *Mineralium Deposita*, **30**, 30–38.
- Murzin V.V., Sazonov V.N., Varlamov D.A., Shani-na S.N.** (2006) [Gold mineralization in rodingite rocks of Alpine-type ultramafic massifs]. *Litosfera [Lithosphere]*, (1), 113–134. (in Russian)
- Murzin V.V., Varlamov D.A., Palyanova G.A.** (2017) Conditions of formation of gold-bearing magnetite-chlorite-carbonate rocks of the Karabash ultrabasic massif (South Urals). *Russian Geology and Geophysics*, **58**(7), 803–814.
- Murzin V.V., Varlamov D.A., Ronkin Yu.L., Shani-na S. N.** (2013) Origin of Au-bearing rodingite in the Karabash massif of Alpine-type ultramafic rocks in the southern Urals. *Geology of Ore Deposits*, **55**(4), 278–297.
- Perelyaev A.P.** (1948) [Zolotaya Gora deposit]. *200 let zolotoy promyshlennosti Urala [200 years of gold industry in the Urals]*. Sverdlovsk, UFAN USSR Academy of Science, 285–295. (in Russian)
- Petrov V.I., Shalaginov A.E., Punegov B.N.** (2015) [State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. Second edition. Series South Urals. Sheet N-41-VII. Explanatory letter]. Moscow, VSEGEI, 167 p. (in Russian)
- Popova V.I., Popov V.A., Kotlyarov V.A., Zazu-lyak I.A.** (2003) [Mineralogy of the Mokhovoe boloto gold placer (Nepryakhino deposit, South Urals)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2003. Formirovanie i osvoenie mestorozhdeny v ostrovoduzhnykh sistemakh [Metallogeny of ancient and modern oceans-2003. Formation and development of deposits in island-arc systems]*. Miass, IMin UrO RAN, 183–193. (in Russian)
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A.** (2001) [Gold deposits of the Urals]. Yekaterinburg, UGGGA, 622 p. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Pletnev P.A.** (2002) [Zolotaya Gora deposit of cupriferous gold]. Moscow, Nauchnyi mir, 220 p. (in Russian)
- Spiridonov E.M., Baksheev I.A., Seredkin M.V., Filimonov S.V., Prokof'ev V.Yu., Ustinov V.I.** (1998) Gumbaites and associated ore mineralization of the Urals (Russia). *Geologiya Rudnykh Mestorozhdeny [Geology of Ore Deposits]*, **40**(2), 171–190. (in Russian)
- Zang W., Fyfe W.S.** (1995) Chloritisation of the hydrothermally altered bedrock at the Igarape Bahia gold deposit, Carajas, Brazil. *Mineralium Deposita*, **30**, 30–38.

## References

Статья поступила в редакцию 28 апреля 2020 г.