

УДК 549. 517 (470.5)

**МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И СОСТАВ АКЦЕССОРНОГО МАГНЕТИТА
ВИШНЕВОГОРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ****В.А. Попов, В.И. Попова, И.А. Блинов***Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, popov@mineralogy.ru***MINERAL ASSEMBLAGES AND COMPOSITION OF ACCESSORY MAGNETITE
OF THE VISHNEVOGORSKY ALKALINE COMPLEX (SOUTH URALS)****V.A. Popov, V.I. Popova, I.A. Blinov***Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, popov@mineralogy.ru*

Акцессорный магнетит – распространённый минерал горных пород Вишневогорского щелочного комплекса на Южном Урале. Среди продуктов распада твёрдого раствора в магнетите установлены ильменит, пирофанит и ганит. Индивиды магнетита имеют индукционные поверхности одновременного роста с калишпатом, альбитом, нефелином, аннитом, эгирином, канкринитом, анальцимом, цирконом, кальцитом, пирохлором, ильменитом, пиритом, пирротином, сфалеритом, апатитом, пирофанитом, ганитом и кальциобурбанкитом. Парагенезисы магнетита в разных породах эвтектические. В большинстве случаев магнетит содержит небольшие примеси Ti, Mn, Zn, Al (входят в продукты распада), а также V.

Илл. 6. Табл. 3. Библ. 7.

Ключевые слова: магнетит, распад твёрдого раствора, парагенезис, Вишневогорский щелочной комплекс, Южный Урал.

Accessory magnetite is a common mineral of rocks of the Vishnevogorsky alkaline complex, South Urals. Inclusions of ilmenite, pyrophanite and gahnite in magnetite are the exsolution products. Individuals of magnetite are characterized by compromise growth surfaces with potassium feldspar, albite, nepheline, annite, aegirine, cancrinite, analcime, zircon, calcite, pyrochlore, ilmenite, pyrite, pyrrhotite, sphalerite, apatite, pyrophanite, gahnite and calcioburbankite. The assemblages of magnetite in different rocks are eutectic. In most cases, magnetite contains low contents of Ti, Mn, Zn, Al (exsolution products) and V.

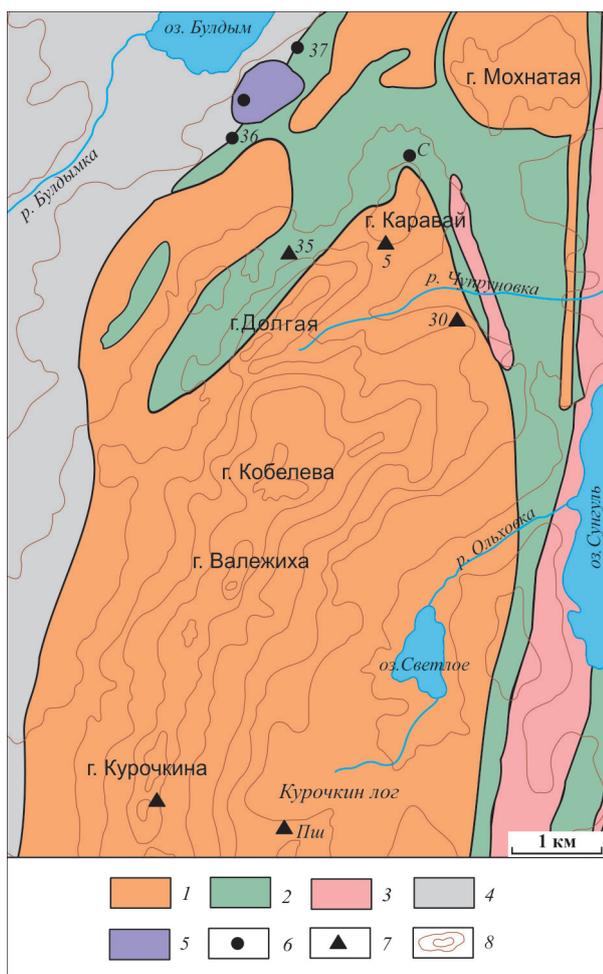
Figures 6. Tables 3. References 7.

Key words: magnetite, solid solution decay, assemblage, alkaline complex, Southern Urals.

Введение

Магнетит – широко распространённый минерал, встречающийся в различных типах пород и месторождений (Чернышёва, 1989). В Вишневогорском щелочном комплексе магнетит отмечен многими исследователями в различных горных породах и в пегматитовых телах (Бонштедт-Куплетская, 1951; Фоминых, Свяжин, 1964; Левин и др., 1997; и др.).

Минеральные ассоциации и генерации магнетита в щелочных пегматитах наиболее полно представлены в монографии Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951), где данных о составе магнетита ещё нет. Химический состав магнетита из сиенитов и миаскитов в обобщённом виде приведён В.Г. Фоминых и Н.В. Свяжиным (1964). Ими отмечено, что магнетит из сиенитов Вишнёвых гор содержит в среднем 0.6, а из миаскитов 0.7 мас. % TiO₂.



В аншлифах магнетит, по их данным, выглядит однородным или имеет редкие пластинки ильменита как продукта распада титаномагнетита.

В последние два десятилетия в Вишнёвых горах разрабатывается карьер только на нефелин-полевошпатовое сырьё. Минералогические исследования редкометалльных руд практически прекратились, но запасы руд ещё не исчерпаны, и спорадическое изучение минеральных объектов продолжается в рамках региональных программ. Наши исследования щелочных пегматитов проводились преимущественно на материалах минералогических коллекций, собранных нами в разное время из щелочных пегматитов жил № 1 и 2 (Курочкин Лог), № 5 (гора Каравай), жил без номеров из нового карьера на горе Долгой и Светлоозёрского участка Вишнёвых гор, а также жил в Буддымском серпентинитовом массиве (рис. 1). Применялась стандартная методика изучения минералов – в образцах и аншлифах с использованием оптических микроскопов исследованы ориентированные сечения магнетита, изучены поверхности и анатомическое устройство кристаллов. Состав минералов

Рис. 1. Месторасположение участков обследованных пегматитов на схеме по Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951) и О.А. Воробьёвой (1947).

1 – миаскиты, 2 – щелочные сиениты (фениты), 3 – гранито-гнейсы, 4 – амфиболиты, кристаллические сланцы, 5 – серпентиниты, 6 – пегматиты сиенитовые, 7 – пегматиты миаскитовые, 8 – изогипсы рельефа.

Fig. 1. Location of areas of studied pegmatites on a scheme after E.M. Bonshtedt-Kupletskaia (1951) and O.A. Vorob'eva (1947).

1 – miaskite, 2 – alkali syenite (phenite), 3 – granite gneiss, 4 – amphibolite, crystal schist, 5 – serpentinite, 6 – syenitic pegmatite, 7 – miaskitic pegmatite, 8 – relief isohypses.

исследован электронно-зондовым методом (SEM TESCAN Vega 3, аналитик И.А. Блинов).

Ниже в статье приводятся данные о магнетите ряда объектов Вишнёвых гор, частично дополняющие исследования щелочных пород комплекса.

Парагенезисы минералов и анатомия магнетита щелочных пегматитов Вишнёвых гор

Большинство жильных тел имеет сложный онтогенез – неоднократное отложение близких по минеральному составу парагенезисов, пластические и хрупкие внутриминерализационные деформации, смена во времени силикатных систем на карбонатные, а также явления метасоматоза. Магнетит, как и другие минералы, отлагался неоднократно в различных парагенезисах.

Жилы № 1 и 2 в Курочкином Логу. По данным Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951), общее простирание обеих субвертикальных нефелин-полевошпатовых жил 60–65°. Толщина (мощность) жилы № 1 до 12–25 м, жилы № 2 – до 6–8 м. Вмещающие породы – миаскиты субмеридионального простирания. Контактного воздействия пегматитов на вмещающие породы не отмечено. Контакты крупнозернистого пегматита с миаскитами резкие. Выделяются крупнозернистая и среднезернистая фации пегматитов в жильных телах. Вмещающие пегматит миаскиты и сами пегматитовые тела содержат большое количество жил биотититов (слюдитов) и биотитовых карбонатитов. Эти жильные породы сложены биотитом, альбитом, анальцитом, эгирином и кальцитом в разных количественных соотношениях. Крупные индивиды нефелина око-

ло этих жил канкринитизированы, но есть тела, где кристаллы первичного канкринита достигают метровой величины. На диаграмме последовательности выделения минералов, составленной Э.М. Бонштедт-Куплетской, магнетит представлен тремя генерациями, которые она отнесла к эпимагматической, пневматолитовой и гидротермальной стадиям.

В наших образцах ранний магнетит вырос на крупные кристаллы полевого шпата (рис. 2) и имеет поверхности одновременного роста с индивидами канкринита. Крупные кристаллы полевого шпата фактически являются синтаксическими сростками альбита и ортоклаза. Канкринит рос синхронно не только с магнетитом, но и с кальцитом, эгирином, биотитом (аннитом), а также с альбитом, анальцимом, пирохлором, цирконом. Эгирин нередко образует синтаксические сростания с биотитом, ранее считавшиеся как «замещение эгирина биотитом» (Бонштедт-Куплетская, 1951).

В виде включений в магнетите наблюдаются аннит, ильменит, пирофанит, сфалерит, галенит, альбит, калишпат, канкринит, гиббсит, анальцит, пирохлор, рутил, ганит, барит. Большинство из названных минералов сокристаллизовалось с магнетитом (рис. 3а–ж), а поздними являются распадывые ильменит, пирофанит и ганит (см. рис. 3з, и).

Картины распада твёрдого раствора в магнетитах щелочных пегматитов Курочкина Лога выглядят различно. Ранее по наблюдениям в оптическом микроскопе предполагалось, что отдельность по октаэдру {111} в магнетитах вызвана наличием распадывых пластинок ильменита (Бонштедт-Куплетская, 1951). Наши микронзондовые исследования показали, что состав пластинок может быть разным, практически от марганцовистого ильменита до железистого пирофанита (табл. 1, 2). Полнота распада твёрдого раствора варьирует, что видно по наличию Ti и Mn (а также Al и Zn) в некоторых участках индивидов магнетита (см. табл. 1). Алюминий и цинк входят в состав редких вростков ганита (см. рис. 3з; табл. 3), синхронных с магнетитом, и в большом количестве – в очень мелких изометричных распадывых зёрен ганита (см. рис. 3з, и). Эти мелкие выделения ганита отнесены к распадывым вследствие их приуроченности к распадывым пластинкам ильменита, с которыми они имеют частично индукционные поверхности одновременного роста (см. рис. 3и). Состав выделений ганита изменчив, с эмпирическими формулами от $(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.17}\text{Mg}_{0.01})(\text{Al}_{1.84}\text{Fe}_{0.15}\text{Mn}_{0.01})\text{O}_4$ до $(\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_{0.31}\text{Mg}_{0.01}\text{Mn}_{0.03})$

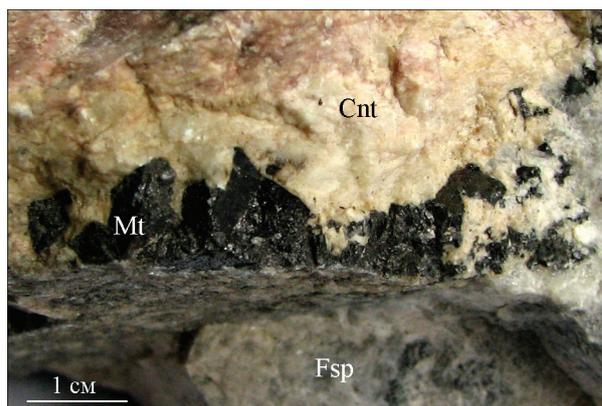


Рис. 2. Магнетит (Mt), выросший совместно с канкринитом (Cnt) на калиевый полевой шпат (Fsp).

Миаскитовый пегматит, Курочкин Лог.

Fig. 2. Magnetite (Mt) and cancrinite (Cnt) on the surface of the potassium feldspar crystals (Fsp).

Miaskitic pegmatite from the Kurochkin Log occurrence.

$(\text{Al}_{1.99}\text{Ti}_{0.01})\text{O}_4$. Кроме ганита, в магнетите иногда встречаются другие цинковые минералы – очень мелкие вростки сфалерита $\text{Zn}_{0.94}\text{Fe}_{0.05}\text{Mn}_{0.01}\text{S}$ (см. рис. 3г, д) и цинксоодержащего аннита $\text{K}_{0.96}(\text{Fe}_{1.44}\text{Mg}_{0.83}\text{Mn}_{0.28}\text{Ti}_{0.17}\text{Al}_{0.11}\text{Zn}_{0.03})(\text{Si}_{2.73}\text{Al}_{1.27})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (см. рис. 3а, е).

В магнетите пегматитов Курочкина Лога наблюдались вростки пирохлора (см. рис. 3е) до 2 мм, фторапатита $(\text{Ca}_{4.92}\text{Sr}_{0.07}\text{Ce}_{0.01})(\text{PO}_{4.3}\text{F}_{0.78}\text{OH}_{0.22})$ (см. рис. 3ж), двойников альбита (см. рис. 3в), зонального и секториального циркона. Некоторые минералы деформированы. Особенно это заметно на кристаллах пирохлора, нефелина и канкринита. В магнетите пластинки распада ильменита и пирофанита получили микросмещения, и в них заметно разделение на части с миграцией границ при изометризации отдельных фрагментов.

Серия жил № 5 миаскитовых пегматитов на горе Каравай знаменита находками весьма крупных (до 8 см) зональных и секториальных кристаллов циркона, а также крупных резко зональных кристаллов пирохлора до 2.5 см. В 80-х годах прошлого столетия в отвалах горных выработок можно было легко найти интересные графические сростания магнетита с анальцимом, нефелина с полевым шпатом, синтаксические сростки альбита с калишпатом. В настоящее время трудно сделать такие находки; возможно, они повторятся в будущем с подробным рассмотрением. Магнетит в сростаниях с анальцимом характеризуется преобладанием индукционных поверхностей с небольшими фрагментами октаэдра и ромбододекаэдра. В разных

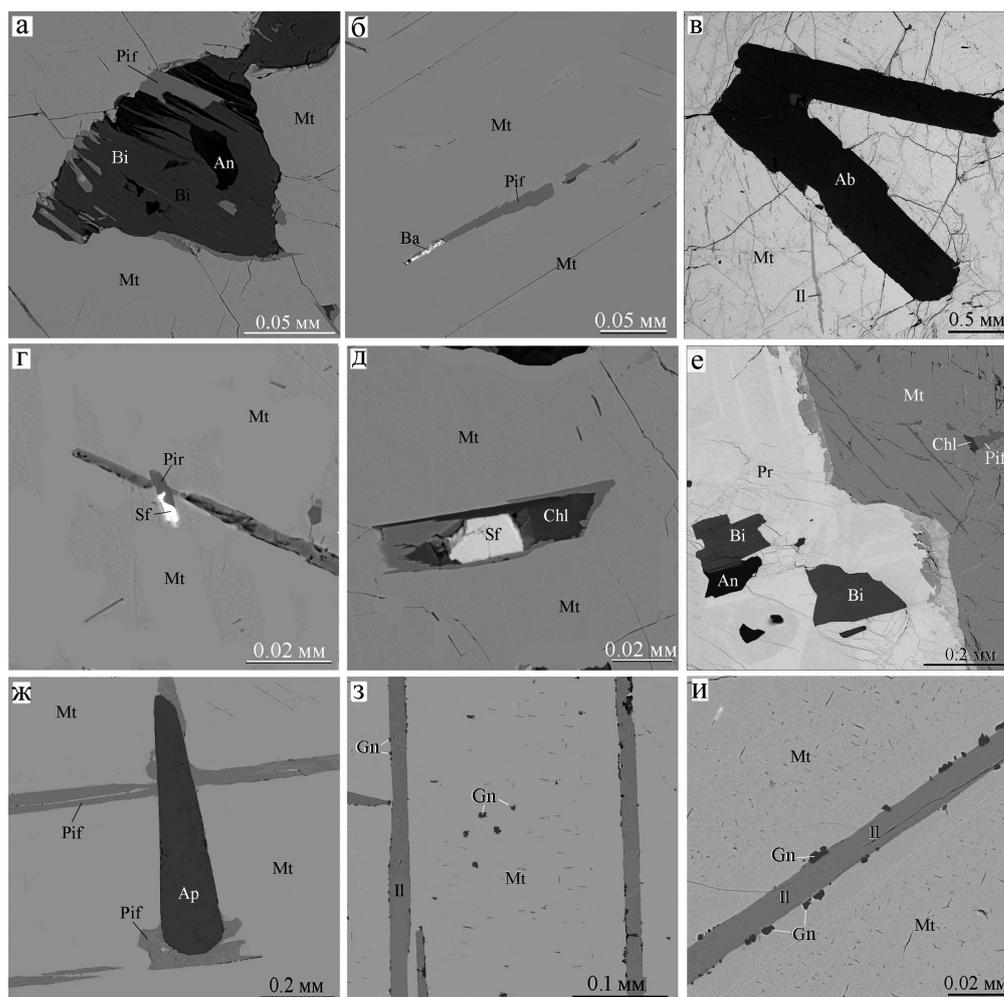


Рис. 3. Парагенезисы магнетита в пегматитах Курочкина Лога.

а–ж – вростики в магнетите: а – биотит (Bi) с пирофанитом (Pif) и анальцимом (An), б – пирофанит и барит (Ba), в – альбит (Ab), ильменит (Il), г – пирофанит со сфалеритом (Sf), д – пирофанит с хлоритом (Chl); е – сросток пирохлора (Pcl) с магнетитом, содержащий включения биотита, анальцима, пирофанита и хлорита; ж – фторапатит (Ap) в магнетите с пластинками ильменита; з, и – распадавые пластинки ильменита с вростками ганита (Gn).

Fig. 3. Assemblages of magnetite in pegmatites of the Kurochkin Log occurrence:

а–ж – ingrowths in magnetite: а – biotite (Bi) with pyrophanite (Pif) and analcime (An), б – pyrophanite and barite (Ba), в – albite (Ab) and ilmenite (Il), г – pyrophanite with sphalerite (Sf), д – pyrophanite with chlorite (Chl), е – intergrowth of pyrochlore (Pcl) with magnetite hosted inclusions of biotite, analcime, pyrophanite, and chlorite; ж – fluorapatite (Ap) in magnetite with ilmenite lamellae; з, и – exsolution lamellae of ilmenite with ingrowths of gahnite (Gn).

Состав магнетита (мас. %) в щелочных пегматитах жил Курочкина Лога

Composition of magnetite (wt. %) of alkaline pegmatite veins of the Kurochkin Log occurrence

Таблица 1

Table 1

№ обр.	№ ан.	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Сумма	Формулы (на 3 катиона)
B-1	60	31.05	65.30	1.66	1.38	0.50	–	99.89	Fe(Fe _{1.89} Mn _{0.05} Ti _{0.04} V _{0.01})O ₄
B-2a	59	30.90	67.09	0.93	0.40	0.45	0.10	99.87	Fe(Fe _{1.95} Mn _{0.03} Ti _{0.01} V _{0.01})O ₄
B-2б	98b	30.86	67.40	0.47	0.17	0.72	–	99.62	Fe(Fe _{1.96} Mn _{0.02} V _{0.02})O ₄
	98g	30.88	67.08	0.24	–	0.64	0.18	99.01	Fe(Fe _{1.96} Mn _{0.01} V _{0.02} Al _{0.01})O ₄
B-3	69j	31.04	67.63	0.23	–	0.75	0.26	99.91	Fe(Fe _{1.96} Mn _{0.01} V _{0.02} Al _{0.01})O ₄
	69p	31.26	67.58	–	–	0.92	0.37	100.19	Fe(Fe _{1.95} V _{0.03} Al _{0.02})O ₄
B-7	63a	31.10	67.30	0.34	–	1.01	0.22	99.97	Fe(Fe _{1.95} Mn _{0.01} V _{0.03} Al _{0.01})O ₄
	63j	31.15	67.52	0.31	–	1.03	–	100.01	Fe(Fe _{1.96} Mn _{0.01} V _{0.03})O ₄

Примечание. Здесь и далее: B-1, 2, 7 – из жилы № 1, B-3 – из жилы № 2. Прочерк – не обнаружено.

Note. Here and hereafter: samples B-1, 2, 7 – vein № 1, B-3 – vein № 2. Dash – below detection limit.

Таблица 2

Состав ильменита и пирофанита (мас. %) в магнетитах из жил щелочных пегматитов Курочкина Лога

Table 2

Composition of ilmenite and pyrophanite (wt. %) in magnetite from alkali pegmatite veins of the Kurochkin Log occurrence

№ обр.	№ ан.	TiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	ZnO	Сумма	Формулы (на 2 катиона)
Ильменит									
В-3	69e	50.81	31.54	14.99	2.17	–	–	99.52	(Fe _{0.66} Mn _{0.32} Al _{0.06})Ti _{0.96} O ₃
	69g	52.62	30.99	16.95	0.23	–	–	100.79	(Fe _{0.65} Mn _{0.36} Al _{0.01})Ti _{0.99} O ₃
	69o	50.62	38.49	10.54	–	0.40	–	100.06	(Fe _{0.81} Mn _{0.22} Nb _{0.005} Ti _{0.96})O ₃
В-7	63l	51.81	29.10	18.51	0.20	–	–	99.63	(Fe _{0.61} Mn _{0.40} Al _{0.01} Ti _{0.98})O ₃
Пирофанит									
В-1	60	51.42	12.92	34.23	–	–	0.73	99.30	(Mn _{0.73} Fe _{0.27} Zn _{0.02})Ti _{0.98} O ₃
В-2a	59	51.89	8.47	39.16	–	–	–	99.52	(Mn _{0.84} Fe _{0.18})Ti _{0.98} O ₃
	59h	52.27	7.10	40.07	–	–	–	99.44	(Mn _{0.86} Fe _{0.15})Ti _{0.99} O ₃
В-2б	98a	53.03	12.29	35.38	–	–	–	100.70	(Mn _{0.75} Fe _{0.25})Ti ₁ O ₃
	98f	52.69	13.39	34.73	–	–	–	100.81	(Mn _{0.72} Fe _{0.28})Ti ₁ O ₃
В-7	63b	51.56	19.97	27.62	–	–	–	99.15	(Mn _{0.59} Fe _{0.42})Ti _{0.99} O ₃

Таблица 3

Состав ганита (мас. %) в магнетите Вишнёвых гор

Table 3

Composition gahnite (wt. %) in magnetite of the Vishnevy Mountains

№ обр.	№ ан.	ZnO	FeO	MnO	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Сумма	Формулы (на 3 катиона)
В-3	69h	36.23	12.21	0.55	0.32	–	51.05	100.35	(Zn _{0.82} Fe _{0.17} Mg _{0.01})(Al _{1.84} Fe _{0.15} Mn _{0.01})O ₄
В-4	64c	35.46	6.56	0.53	–	0.83	55.86	99.25	(Zn _{0.81} Fe _{0.17} Mn _{0.02})(Al _{1.98} Ti _{0.02})O ₄
	64f	35.64	8.27	0.14	0.36	–	56.07	100.48	(Zn _{0.79} Fe _{0.19} Mg _{0.02})(Al _{1.98} Fe _{0.02})O ₄
	64l	35.63	7.38	0.34	0.36	–	56.34	100.05	(Zn _{0.79} Fe _{0.19} Mg _{0.02})(Al _{1.99} Mn _{0.01})O ₄
В-6	68o	29.28	12.45	1.21	0.30	0.54	56.89	100.67	(Zn _{0.65} Fe _{0.31} Mg _{0.01} Mn _{0.03})(Al _{1.99} Ti _{0.01})O ₄
В-8	62f	34.58	8.64	0.72	–	0.38	56.19	100.51	(Zn _{0.77} Fe _{0.22} Mn _{0.01})(Al _{1.99} Ti _{0.01})O ₄
	62g	32.78	10.19	0.79	0.40	–	56.25	100.41	(Zn _{0.73} Fe _{0.25} Mg _{0.02})(Al _{1.98} Mn _{0.02})O ₄
В-11б	29k	33.42	9.60	0.45	–	–	56.63	100.11	(Zn _{0.75} Fe _{0.24} Mn _{0.01})(Al _{2.00})O ₄

Примечание. В-3 – из жилы № 2 (Курочкин Лог); В-4, 6, 8, 11 – из карьера горы Долгой.

Note. Sample В-3 – vein № 2; В-4, 6, 8, 11 – quarry of Mountain Dolgaya.

случаях анализом в небольших миаролах ограничен тетрагонтриоктаэдром или комбинацией гексаэдра с тетрагонтриоктаэдром.

Продукты распада твёрдого раствора в магнетитах жилы № 5 подобны таковым в пегматитах Курочкина Лога: пластинки имеют состав марганцовистого ильменита Fe_{0.7}Mn_{0.3}TiO₃ при составе вмещающего магнетита Fe(Fe_{1.97}V_{0.02}Al_{0.01})O₄. Изометричные мелкие зёрна распадого ганита (Zn_{0.76}Fe_{0.21}Mn_{0.02}Ti_{0.01})Al₂O₄ также расположены совместно с ильменитом (см. рис. 3). Марганцовистый ильменит встречается в магнетите (рис. 4a) в виде синхронных вростков совместно с альби-

том (Na_{0.98}K_{0.01}Ca_{0.01})(Al_{1.07}Si_{2.93})O₈ и аннитом K_{0.98}(Fe_{1.74}Mg_{0.41}Al_{0.35}Ti_{0.2}Mn_{0.11}V_{0.02})(Al_{1.39}Si_{2.61})O₁₀(OH)₂. Вростки фторапатита состава (Ca_{4.9}Sr_{0.06}Ce_{0.03}La_{0.01})(PO₄)₃F характерны примесями стронция и редких земель.

Магнетит жил горы Долгой. Современный карьер горы Долгой разрабатывается преимущественно в блоке миаскитов для извлечения маложелезистых нефелина и полевого шпата, из которых можно получить бесцветное стекло. Однако избежать большого количества мелких жильных тел – разнообразных щелочных пегматитов, карбонатов и гидротермалитов – невозможно. В этих телах

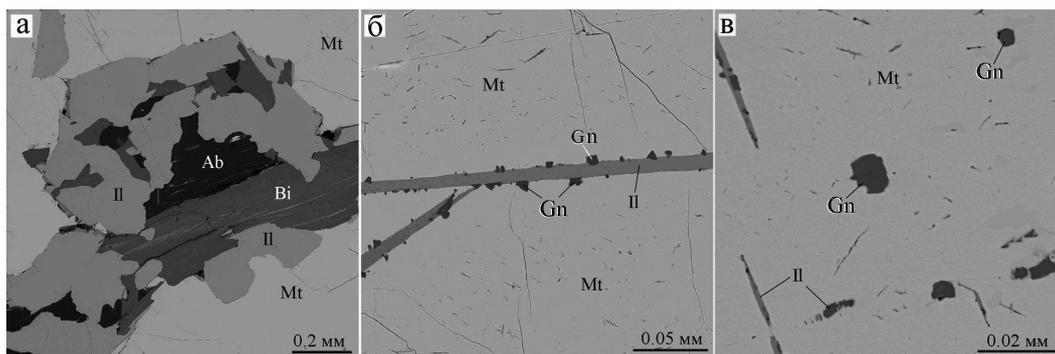


Рис. 4. Включения минералов в магнетите из пегматита жилы № 5 горы Каравай.

Обозначения см. рис. 2. Пояснения в тексте.

Fig. 4. Inclusions of minerals in magnetite from pegmatites of the vein № 5 of Mountain Karavay.

For symbols of minerals, see Fig. 2; for explanations, see text.

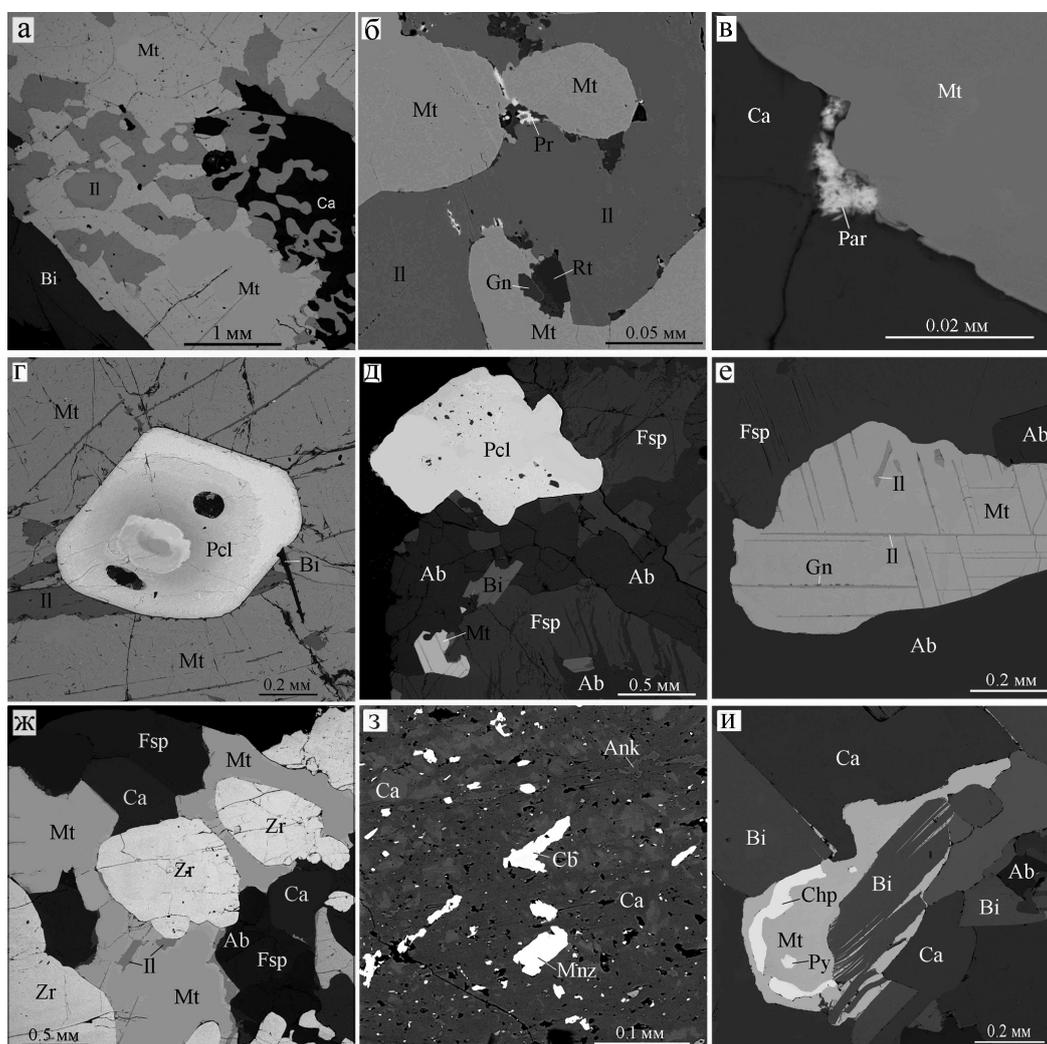


Рис. 5. Минеральные ассоциации магнетита в пегматитах, сиенитах и карбонатах горы Долгой (а-ж) и Светлоозёрского участка (з, и).

Ank – анкерит, Ca – кальцит, Cb – кальциобурбанкит, Chp – халькопирит, Par – агрегат паризита-(Ce,La), Py – пирит, Rt – рутил, Zr – циркон. Прочие обозначения минералов см. рис. 2. Пояснения в тексте.

Fig. 5. Assemblages of magnetite in pegmatites, syenites and carbonatites of Mountain Dolgaya (а-ж), and Svetloe Ozero area (з, и).

Ank – ankerite, Ca – calcite, Cb – calcioburbankite, Chp – chalcopyrite, Par – parasite-(Ce,La), Py – pyrite, Rt – rutile, Zr – zircon. For symbols of minerals, see Fig. 2; for explanations, see text.

и в миаскитах сокрыта генетическая и важная для технологии минерального сырья информация, которая в настоящее время теряется.

Магнетит здесь встречается совместно с ильменитом в собственно миаскитах, в карбонатах, щелочных пегматитах и натролитовых жилах. В содалит-канкринитовой жиле, недавно вскрытой на уступе горы Кобелева (Нишанбаев и др., 2016), магнетит в виде мелких включений в содалите выглядит однородным, но содержит небольшую примесь ванадия (по устному сообщению).

В нефелин-полевошпатовом пегматите магнетит $\text{Fe}(\text{Fe}_{1.97}\text{V}_{0.01}\text{Ti}_{0.01}\text{Al}_{0.01})\text{O}_4$ кристаллизовался частично одновременно с пироксеном (флюоркальциопироксеном) $\text{Na}_{0.81}\text{Ca}_{1.13}\text{La}_{0.01}\text{Ce}_{0.03}\text{Nd}_{0.01}\text{Th}_{0.01}(\text{Nb}_{1.73}\text{Ta}_{0.05}\text{Ti}_{0.22})\text{O}_6(\text{F}_{0.63}\text{OH}_{0.37})$, ильменитом $\text{Fe}_{0.8}\text{Mn}_{0.2}\text{TiO}_3$, аннитом $(\text{K}_{0.98}\text{Na}_{0.02})(\text{Fe}_{1.61}\text{Al}_{0.53}\text{Mg}_{0.35}\text{Ti}_{0.19}\text{Mn}_{0.09})(\text{Si}_{2.61}\text{Al}_{1.39})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ и кальцитом (см. рис. 4). Кальцит неоднородный, и в разных частях зерна имеет состав: $(\text{Ca}_{0.95}\text{Mn}_{0.03}\text{Fe}_{0.01}\text{Mg}_{0.01})\text{CO}_3$ и $(\text{Ca}_{0.98}\text{Mn}_{0.01}\text{Fe}_{0.01})\text{CO}_3$. В магнетите видна структура распада твёрдого раствора (см. рис. 5а, г, е) в виде пластинок марганцовистого ильменита $\text{Fe}_{0.64}\text{Mn}_{0.36}\text{TiO}_3$, расположенных по октаэдру магнетита, и изометричных зёрен ганита $(\text{Zn}_{0.64}\text{Fe}_{0.32}\text{Mn}_{0.03}\text{Mg}_{0.01})\text{Al}_2\text{O}_4$, находящихся совместно с распадным ильменитом. В магнетите обнаружены редкие вросстки железистого сфалерита и галенита с примесью Sb и Bi. Есть также редкие мелкие вросстки рутила, первичного ганита (см. рис. 5б) и редкоземельного фторкарбоната столбчатого облика – предположительно, паризита-(Ce) в агрегате с силикатами (рис. 6; см. рис. 5в).

В миаскитах карьера горы Долгой акцессорный магнетит сокристаллизовался со многими породообразующими и второстепенными минералами – альбитом, калишпатом, аннитом, нефелином, ильменитом, цирконом, пироксеном, кальцитом, ганитом и другими (см. рис. 5з). Зёрна магнетита $\text{Fe}(\text{Fe}_{1.96}\text{V}_{0.02}\text{Al}_{0.02})\text{O}_4$ содержат редкие пластинки марганцовистого ильменита $\text{Fe}_{0.75}\text{Mn}_{0.25}\text{TiO}_3$, расположенные по октаэдру магнетита, и мелкие изометричные распадковые выделения железистого ганита вдоль пластинок ильменита, подобные таковым в пегматите (см. рис. 5е). В калишпате определена значительная примесь натрия $(\text{K}_{0.8}\text{Na}_{0.2})\text{AlSi}_3\text{O}_8$, а альбит состава $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ практически не содержит Ca, несмотря на сокристаллизацию с кальцитом $(\text{Ca}_{0.96}\text{Mn}_{0.02}\text{Fe}_{0.01}\text{Sr}_{0.01})\text{CO}_3$. В изученном миаските слюда представлена железистым и титанистым аннитом $(\text{K}_{0.94}\text{Na}_{0.04})(\text{Fe}_{1.66}\text{Mg}_{0.46}\text{Ti}_{0.33}\text{Al}_{0.24}\text{Mn}_{0.07})$

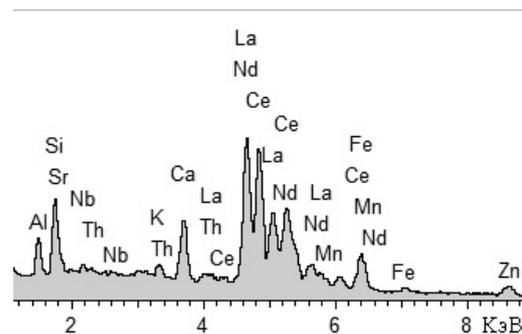


Рис. 6. Энергодисперсионный спектр агрегата паризита-(Ce).

Fig. 6. EDS of the parizite-(Ce) aggregate.

$(\text{Si}_{2.7}\text{Al}_{1.3})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Циркон выглядит бесцветным, прозрачным и имеет состав $\text{Zr}_{0.98}\text{Hf}_{0.02}\text{SiO}_4$. Альбит, калишпат и нефелин бесцветны, не имеют распадковых включений железистых минералов и не содержат в своём составе железа, что определяет получение бесцветного стекла из их концентрата. Эмпирическая формула нефелина $(\text{Na}_{3.13}\text{K}_{0.74}\text{Ca}_{0.02})(\text{Al}_{3.83}\text{Si}_{4.27})\text{O}_{16}$ близка идеализированной (в расчёте на $\text{Al} + \text{Si} = 8$). Минеральный состав миаскитов и химический состав их минералов близки составу некоторых миаскитовых пегматитов.

Карбонатитовые тела в карьере горы Долгой имеют небольшие размеры, но довольно разнообразны по минеральному составу – кальцитовые, доломит-кальцитовые и биотит-кальцитовые с разными оксидами, сульфидами, фосфатами, сульфатами и другими. Иногда они резко обогащены стронцием, барием и редкими землями с кристаллизацией соответствующих минералов – стронцианита, барита, монацита, кальциобурбанкита (см. рис. 5з) и других. Породообразующие минералы содержат примеси Sr, Ba и REE, что отражено в их эмпирических формулах: кальцит $(\text{Ca}_{0.91}\text{Sr}_{0.04}\text{Mn}_{0.03}\text{Fe}_{0.01}\text{Ce}_{0.005})\text{CO}_3$, анкерит $\text{Ca}_{1.08}(\text{Fe}_{0.38}\text{Mg}_{0.39}\text{Mn}_{0.15}\text{Sr}_{0.01})(\text{CO}_3)_2$, фторapatит $(\text{Ca}_{4.79}\text{Sr}_{0.17}\text{Ce}_{0.03}\text{La}_{0.01})(\text{PO}_4)_3\text{F}$, а также и акцессорные пироксен $(\text{Na}_{0.88}\text{Ca}_{0.82}\text{Sr}_{0.08}\text{Ce}_{0.06}\text{La}_{0.03}\text{Nd}_{0.03}\text{Pr}_{0.01}\text{U}_{0.01})(\text{Nb}_{1.78}\text{Ti}_{0.22})(\text{F}_{0.75}\text{OH}_{0.25})$, стронцианит $(\text{Sr}_{0.88}\text{Ca}_{0.12}\text{Ba}_{0.005})\text{CO}_3$, монацит-(Ce,La) $(\text{Ce}_{0.5}\text{La}_{0.42}\text{Nd}_{0.05}\text{Pr}_{0.02}\text{Ca}_{0.01})\text{PO}_4$ и кальциобурбанкит $(\text{Ca}_{2.32}\text{Na}_{0.76})(\text{Sr}_{1.77}\text{Ba}_{0.05}\text{Ce}_{0.59}\text{La}_{0.44})(\text{CO}_3)_5$.

Карбонатит-пегматиты Булдымского гипербазитового массива. На магнетит в карбонатах Булдымского массива обратил внимание В.Я. Левин с соавторами (Левин и др., 1997), возможно, в связи с тем, что встречались индивиды магнетита величиной до 20 см. По их данным, титаномагне-

тит является постоянным акцессорным минералом карбонатитов и экзоконтактных метасоматитов. В магнетите из керна скважины 3214 с глубины 147.6 м обнаружены тонкие пластинки магнетитового и высокомарганцевого ильменита, располагающегося по сетке распада твёрдого раствора. Отмечалось, что встречаются более крупные выделения ильменита. Содержания TiO_2 в магнетите меняются от 0.9 до 3.5 мас. %. В магнетитах Булдымского массива определено 6.06 мас. % Cr_2O_3 , причём на контакте с ильменитом выявлено повышенное его содержание (10.8 мас. % Cr_2O_3). Кроме хрома, в магнетите установлены заметные количества примесей V_2O_5 (0.33–0.37 мас. %) и MnO (0.6–1.36 мас. %), а в ильмените – 9.65 мас. % MnO и 3.02 мас. % MgO (Левин и др., 1987).

Карбонатиты и сиениты Светлоозёрского участка. В меланократовом биотит-кальцитовом карбонатите (скважина 3401) акцессорный магнетит встречен нами в парагенезисе с широким спектром минералов (см. рис. 53, и). Состав магнетита практически идеально соответствует формуле $FeFe_2O_4$. Синхронные с ним пирит и халькопирит тоже имеют чистый состав FeS_2 и $CuFeS_2$. В магнетите нет тел распада твёрдого раствора. Повидимому, встречен редкий случай беспримесного состава магнетита и пирита. Удивляют своей «чистотой» в этой породе и альбит $NaAlSi_3O_8$, и бесцветный циркон $Zr_{0.99}Hf_{0.01}SiO_4$. В то же время другие минералы имеют более сложный и неоднородный состав: кальцит $(Ca_{0.96}Mg_{0.01}Fe_{0.01}Mn_{0.01}Sr_{0.01})CO_3$, фторапатит $(Ca_{4.93}Sr_{0.07})(PO_4)_3(F_{0.8}OH_{0.2})$, ильменит $Fe_{0.94}Mn_{0.06}TiO_3$, аннит $K_{0.9}(Fe_{1.36}Mg_{1.24}Ti_{0.27}Al_{0.04})(Si_{2.8}Al_{1.2})O_{10}(OH)_2$ и флогопит $(K_{0.9}Na_{0.04})(Mg_{1.29}Fe_{1.27}Ti_{0.26}Al_{0.05}Mn_{0.02})(Si_{2.8}Al_{1.2})O_{10}(OH)_2$. Составы слюды биотитового ряда близки к «границе» раздела аннита и флогопита и встречаются в одном зерне.

В кальцит-биотитовом мезократовом сиените из керна этой же скважины парагенезис беспримесного магнетита ещё шире. Вместе с чистым альбитом (№ 1) находятся ильменит $Fe_{0.9}Mn_{0.1}TiO_3$, в котором встречаются мелкие вростки ферроколумбита, барита $Ba_{0.94}Sr_{0.06}SO_4$, фторапатита $Ca_{4.93}Sr_{0.07}(PO_4)_3F$, обогащённого лантаном монацита-(Ce) $(Ce_{0.49}La_{0.35}Nd_{0.08}Pr_{0.03}Ca_{0.05})PO_4$, кальцита $(Ca_{0.97}Sr_{0.02}Mn_{0.01})CO_3$, а также слоистых силикатов переменного состава – мусковита $(K_{0.92}Ba_{0.01})Al_{2.06}(Si_{3.07}Al_{0.93})O_{10}(OH)_2$, шамозита $(Fe_{3.63}Mg_{0.75}Mn_{0.08})Al_{1.55}(Si_{2.8}Al_{1.2})O_{10}(OH)_8$ и аннита $(K_{0.92}Na_{0.03})(Fe_{1.32}Mg_{1.13}Ti_{0.27}Al_{0.13}Mn_{0.01})(Si_{2.77}Al_{1.23})$

$O_{10}(OH)_2$, выросшие одновременно и, нередко, в ориентированных синтаксических сростаниях. Некоторые микронзондовые анализы (по составу «переходные» между шамозитом и аннитом) плохо рассчитываются на формулы; возможно, что в таких участках анализа встречаются субмикроскопические синтаксические сростки этих минералов.

Заключение

Акцессорный магнетит характерен для многих минеральных тел Вишневогорского щелочного комплекса – сиенитов, карбонатитов, слюдитов и их пегматитов. В приведённых примерах магнетит имеет индукционные поверхности одновременно-го роста со всеми минералами парагенезисов, т. е. принадлежит эвтектическим кристаллизационным системам. Если говорить о количестве магнетита, то его доля в объёме минерального (породного) тела обычно меньше 1 %.

В большинстве изученных объектов примесь TiO_2 в магнетите составляет менее 1 мас. % (вместе с распадным ильменитом и пирофанитом), что недостаточно для использования термина «титаномагнетит». В сокристаллизующейся с магнетитом слюде (анните) количество TiO_2 достигает 4–6 мас. %. При распаде исходного твёрдого раствора магнетита практически весь Ti и Mn переходят в распадовые пластинки ильменита и пирофанита, а Al и Zn – в состав изометричных зёрен ганита. В местах соприкосновения зёрен ганита с пластинками ильменита и пирофанита наблюдались индукционные поверхности их одновременного роста, что говорит о синхронности перемещения (диффузии) атомов Ti, Mn, Al и Zn в кристалле магнетита. Примесный V не выделился в самостоятельный распадковый минерал, его распределение в кристалле магнетита соответствует первичному (ростовому).

Наряду с распадковыми ильменитом, пирофанитом и ганитом, в магнетите и в других минералах парагенезиса встречались вростки этих же минералов с индукционными поверхностями одновременного роста. Кроме ганита, Zn находится в редких выделениях сфалерита в магнетите и встречался как примесь в анните.

Беспримесный магнетит встречен в натролитовой жиле карьера на горе Долгой и в меланократовом биотитовом карбонатите в районе озера Светленького на Светлоозёрском участке.

Первичный состав магнетита в разных породных телах комплекса был несколько различен, и в процессе распада твёрдого раствора возникли распадающие пластинки по составу от ильменита до пиррофанита и разные по железистости мелкие кристаллы ганита.

Среди минералов разнообразных парагенезисов магнетита особо отметим циркон, пиррохлор, монацит, сфалерит, ганит, пиррофанит, стронцианит и кальциобурбанкит. Ганит, пиррофанит и кальциобурбанкит для Вишнёвых гор установлены впервые. Паризит-(Ce), встреченный в агрегате величиной 5 мкм на контакте с кальцитом и магнетитом, требует новых находок для доизучения; ранее он указывался в Чупруновом логу (klopotov. narod. ru), верховья которого расположены на восточном склоне г. Долгой.

Исследования выполнены в рамках Программы государственной темы № АААА-А17-1/7020250032-1 Института минералогии УрО РАН.

Литература

- Бонштедт-Куплетская Э.М.** (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 175 с.
- Воробьёва О.А.** (1947) Основные структурные черты щелочной интрузии Вишнёвых гор. *Известия АН СССР, сер. геологическая*, (6), 69–77.
- Левин В.Я., Левина И.А., Глебова З.М., Должанская Т.Ю.** (1987) Минералогия карбонатитов Булдымского массива Вишнёвых гор / *Минералы месторождений Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 117–123.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселёв А.П.** (1997) Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 274 с.
- Нишанбаев Т.П., Рассомахин М.А., Блинов И.А., Попова В.И.** (2016) Минералы содалит-канкринитового пегматита в Вишневогорском миаскитовом массиве (Южный Урал). *Минералогия*, 2(3), 4–52.
- Фоминых В.Г., Свяжин Н.В.** (1964) О составе акцессорных магнетитов и титаномагнетитов щелочных пород Среднего Урала. *Докл. АН СССР*, 155(5), 1088–1090.
- Чернышёва Л.В.** (1989) Магнетит / Типоморфизм минералов: Справочник. М., Недра, 266–287.

References

Bonshtedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkaline pegmatites of the Vishnevye Mountains]. М., USSR Academy of Sciences, 175 p. (in Russian)

Chernysheva L.V. (1989) [Magnetite]. In: *Typomorphism of minerals. Reference book*. М., Nedra, 266–287. (in Russian)

Fominykh V.G., Svyazhin N.V. (1964) [On the composition of the accessory magnet and magnetites of the alkaline rocks of the Middle Urals]. *Doklady Akademii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, 155(5), 1088–1090. (in Russian)

Levin V.Ya., Levina I.A., Glebova Z.M., Dolzhanskaya T.Yu. (1987) [Mineralogy of carbonatite of the Buldym massif, Vishnevye Mountains]. *Mineraly mestorozhdeniy Urala [Minerals of the deposits on Urals]*. Sverdlovsk, UNC AN SSSR, 117–123. (in Russian)

Levin V.Ya., Ronenson, B.M., Samkov S.V., Levina I.A., Sergeev N. Kiselev A. P. (1997) [Alkaline-carbonatite complexes of the Urals]. Екатеринбург, Uralgeolcom, 274 p. (in Russian)

Nishanbaev T.P., Rassomahin M.A., Blinov I.A., Popova V.I. (2016) [Minerals of the sodalite-cancrinite pegmatite in Vishnevogorsky miaskite massif (southern Urals)]. *Mineralogiya, [Mineralogy]*, 2(3), 4–52. (in Russian)

Vorob'eva O.A. (1947) [The main structural features of alkaline intrusions of the Vishnevye Mountains]. *Izvestiya AN SSSR, series geolog. [News AN UdSSR]*, (6), 69–77.

Поступила в редакцию 18 декабря 2017 г.