МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ПОЗДНИХ ПРОЦЕССОВ В КАЛЬЦИТ-НЕФЕЛИН-ПОЛЕВОШПАТОВОМ ПЕГМАТИТЕ (ИЛЬМЕНОГОРСКИЙ МИАСКИТОВЫЙ МАССИВ)

С. В. Чередниченко

Ильменский государственный заповедник ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, Миасс
svcheredn@mail.ru

Рассмотрены особенности состава минералов, образовавшихся при альбитизации и канкринитизации пород в кальцит-нефелин-полевошпатовой пегматитовой жиле (юго-западный эндоконтакт Ильменогорского миаскитового массива). Совместно с альбитом развились аннит, пирит, стронцианит, барит и фторапатит. В составе аннита выявлено низкое содержание TiO_2 и MgO (до 1.0 мас. %) и высокое FeO (31.2–41.4 мас. %). Для фторапатита характерно повышенное количество редких земель, $\Sigma \text{PЗЭ} = 2.9\text{--}4.8$ мас. % и увеличение содержания SrO к краю зерна до 5.4 мас. %. В составе ортоклаза на границе с альбитом содержание BaO увеличивается от 0.6–1.0 до 2–7 мас. %. Впервые обнаружены флюорит-кальцитовые образования с сульфидно-редкоземельной минерализацией, развитие которых сопряжено с процессами канкринитизации нефелина.

Ключевые слова: минералы, альбитизация, канкринитизация, кальцит-нефелин-полевошпатовая пегматитовая жила, карбонатит, Ильменогорский миаскитовый массив.

MINERAL ASSOCIATIONS OF LATE PROCESSES IN THE CALCITE-NEPHELINE-FELDSPAR PEGMATITE (ILMENOGORSKY MIASKITE MASSIF)

S. V. Cherednichenko

Ilmeny State Reserve SU FRC MG UB RAS, Miass, Russia

The features of the composition of minerals formed during the albitization and cancrinitization of rocks in the calcite-nepheline-feldspar pegmatite vein (southwestern endocontact of the Ilmenogorsky miaskite massif) are studied. Albite formed together with annite, pyrite, strontianite, barite, and fluorapatite. Annite revealed a low content of TiO_2 and MgO (up to 1.0 wt. %) and a high content of Fe (31.2–41.4 wt. %). Fluorapatite is characterized by an increased amount of rare earths, $\Sigma \text{REE} = 2.9\text{--}4.8$ wt. %, and an increase in the content of SrO to the edge of the grain, up to 5.4 wt. %. The content of BaO increases from 0.6–1.0 to 2–7 wt. % in the composition of orthoclase at the border with albite. The development of late fluorite-calcite formations with the sulfide-rare-earth mineralization is associated with the processes of the cancrinitization of nepheline.

Keywords: minerals, albitization, cancrinitization, calcite-nepheline-feldspar pegmatite vein, carbonatite, Ilmenogorsky miaskite massif.

Введение

Поздние процессы альбитизации и канкринитизации пород широко развиты в ильмено-вишневогорском щелочно-карбонатитовом комплексе. Известно, что совместно с альбитом образуются: биотит, пироксеноиды, циркон, магнетит, ильменит, титанит, пирит, пирротин и флюорит [1, 2, 6]. Ассоциация альбита с кальциевым стронцианитом была установлена в миаскитовом пегматите [5]. При изучении минералогии кальцит-нефелин-полевошпатового пегматита было выявлено, что при альбитизации кроме известного аннита, пирита и стронцианита, с альбитом образовались барит и фторапатит. Барит, как поздний минерал, встречается в основном с цеолитами (анальцимом, натролитом) в миаскитах комплекса и их пегматитах.

Вторичный канкринит, развитый по нефелину, отмечается обычно в парагенезисе с вишневитом и сода-

литом [6]. Впервые обнаружены в канкрините включения флюорит-кальцитовых агрегатов с сульфидами и редкоземельными минералами. Флюорит-кальцитовые прожилки ранее отмечались в фенитах миаскитового массива, реже в его пределах, и относились к поздним стадиям карбонатитообразования [1].

Целью данной работы является исследование новых малоизученных минеральных ассоциаций при альбитизации и канкринитизации пород и установление связи этих поздних процессов с образованием карбонатитов.

Краткая геологическая характеристика объекта

Ильмено-вишневогорский щелочно-карбонатитовый комплекс, расположенный на Южном Урале, состоит из двух миаскитовых массивов — Ильменогорского

Для цитирования: Чередниченко С. В. Минеральные ассоциации поздних процессов в кальцит-нефелин-полевошпатовом пегматите (Ильменогорский миаскитовый массив) // Вестник геонаук. 2020. 4(304). С. 21–25. DOI: 10.19110/geov.2020.4.3.

For citation: Cherednichenko S. V. Mineral associations of late processes in the calcite-nepheline-feldspar pegmatite (Ilmenogorsky miaskite massif). Vestnik of Geosciences, 2020, 4(304), pp. 21–25. DOI: 10.19110/geov.2020.4.3.

и Вишневогорского, которые окружены ореолом фенитов и кварц-полевошпатовых мигматитов [5, 6]. Проявления пегматитов кальцит-нефелин-полевошпатового состава приурочены к юго-западному и восточному эндоконтактам Ильменогорского массива. Возраст миаскитов и карбонатитов щелочного комплекса исчисляется 446–420 млн лет, пегматитовых жил — 282–231 млн лет [7].

Кальцит-нефелин-полевошпатовая пегматитовая жила, где изучены минеральные ассоциации поздних процессов, находится в юго-западном эндоконтакте Ильменогорского массива (55°01'56.5"N, 60°08'14.9"E, копь 125, рис. 1). Пегматитовая жила размером 2 × 12 м залегает согласно с вмещающими биотитовыми миаскитами. Азимут простираения жилы составляет 310–320°, направление падения юго-западное, угол падения 50–60°. Миаскит мелко-, среднезернистый, с гнейсовидной текстурой и пониженным содержанием нефелина (5 об. %). На контакте с пегматитовой жилой миаскиты метасоматически изменены с образованием лейкократовой мелко-, среднезернистой породы. Экзоконтактовая оторочка жилы состоит из ортоклаз-криптопертита и акцессорных минералов циркона, фторапатита. Поздние образования в оторочке — альбит, флогопит, кальцит с пироклор-ильменитовым агрегатом — расположены параллельно жиле.

Кальцит-нефелин-полевошпатовая жила имеет асимметричное строение. Со стороны висячего бока она сложена мономинеральным нефелиновым агрегатом с ильменитом. Со стороны лежащего — мелкозернистым микроклином, который к центру жилы сменяется порфировидным кальцит-полевошпатовым агрегатом с незначительным количеством нефелина (2–3 %). Вкрапленники полевого шпата содержат округлые включения кальцита, нефелина и рудного минерала. От края к центру жилы количество кальцита в порфировидном агрегате увеличивается вплоть до образования мономинерального агрегата (карбонатита). Со стороны лежащего бока между пегматитом и вмещающей породой наблюдаются трещины растворения с крупными кристаллами ортоклаз-криптопертита, ильменита, темной слюды и кальцита в пегматите. Процесс канкринитизации широко развит в нефелиновой зоне жилы. Альбитизация проявлена во всех зонах пегматитовой жилы, где развит калиевый полевой шпат.

Методы исследования

Минералогические исследования выполнены на микроскопе Olympus BX 51. Аналитические работы проведены в центре коллективного пользования Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН (г. Миасс). Химический состав минералов определен с помощью сканирующего электронного микроскопа РЭММА-202М (аналитик В. А. Котляров, ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН). Режим съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 3×10^{-10} А, диаметр зонда 2–3 мкм. Стандарты ASTIMEX Scientific Limited, MINM 25–53, Mineral Mount Serial № 01–044. Фтор в темных слюдах не определялся.

Принятые сокращения минералов: аннит (Ann), апатит (Ap), баэстезит-(Ce) (Bst), кальцит (Cal), канкринит (Ccn), нефелин (Nph), сидерофиллит (Sid), содалит (Sdl), флюорит (Fl), цельзиан (Cls).

Рис. 1. Геологическая схема ильменогорского комплекса [4]: 1 — осадочно-вулканогенные породы, преимущественно слабо-метаморфизованные (D_2-C_1); 2 — сайтовская серия (аракульская (ar), сайтовская (st), игишская (ig) свиты) ($PZ_1-S?$); 3–5 ильменская серия (RF– $PZ_1?$); 6–8 селяннинская серия (AR– PR_1); 9 — граниты; 10 — мусковитовые граниты (Еланчиковский массив); 11 — плагиограниты; 12 — габбро; 13 — пироксениты (а), метагарицбургиты и метадуниты (b); 14 — метагипербазиты нерасчлененные; 15 — нефелиновые сиениты (миаскиты и др.) (а), сиениты (b); 16 — фениты (а), карбонатиты (b); 17 — зоны серпентинитовых меланжей (а), зоны бластомилонитов разных уровней метаморфизма (b); 18 — надвиги; 19 — разломы и другие тектонические контакты (а), зоны сдвигов (b); 20 — место расположения кальцит-нефелин-полевошпатовой жилы

Fig. 1. Schematic geological map of the Ilmenogorsky complex [4]: 1 — Sedimentary-volcanogenic strata, predominantly weakly metamorphosed (D_2-C_1); 2 — Saitovo group (arakul (ar), saitovo (st), igish (ig) series) ($PZ_1-S?$); 3–5 Ilmensky group (RF– $PZ_1?$); 6–8 Selyankino group (AR– PR_1); 9 — granites; 10 — muscovite granites (Elanchik massif); 11 — plagiogranites; 12 — gabbro; 13 — pyroxenites (a), metarharzburgites and metadunites (b); 14 — metaultramafic rocks undivided; 15 — nepheline syenites (miaskites, etc.) (a), syenites (b); 16 — fenites (a), carbonatites (b); 17 — zones of serpentinite melange (a), zones of blastomylonites of different levels of metamorphism (b); 18 — thrusts; 19 — faults and other tectonic contacts (a), shear zones (b); 20 — location of the calcite-nepheline-feldspar vein

Особенности состава минералов

Ортоклаз-криптопертитом сложена кальцит-полевошпатовая зона пегматита, экзоконтактовая оторочка и друзовые кристаллы в трещинах растворения. Ортоклаз метасоматически замещается альбитом. Совместно с альбитом образовались аннит, пирит, стронцианит, барит и фторапатит.

Аннит зеленого, серо-зеленого цвета имеет в составе низкое содержание Ti и Mg (TiO_2 — 0.24–0.92 мас. %, MgO — 0.24–0.62 мас. %) и высокое Fe ($\text{FeO}_{\text{общ}}$ — 31.22–41.35 мас. %). Железистость минерала $F_{\text{общ}}$ — 97–100 % (табл. 1, ан. 1).

Стронцианит и барит представлены мелкими зернами размером несколько микрон на границе развития альбита по ортоклазу. В составе стронцианита выявлена примесь CaO (4.28–10.99 мас. %), в составе барита — SrO (1.89–2.65 мас. %).

Фторапатит встречен совместно с альбитом в экзоконтактной оторочке пегматитовой жилы, размер зерна 0.1–0.2 мм. Зональное строение минерала отражается в понижении содержания CaO (51.77→46.20 мас. %) и повышении SrO (0.96→5.35 мас. %) от центра к краю зерна. Фторапатит в составе имеет повышенное содержание редких земель, $\Sigma\text{РЗЭ}$ = 2.95–4.83 мас. % (табл. 2, ан. 1, 2).

При альбитизации ортоклаза в минерале на границе с альбитом увеличивается содержание BaO (от 0.6–1.0 до 2–7 мас. %). В результате образуется Ba -содержащий (до 10 % цельзианового минала) и бариевый (10–13 % Cl s) калиевый полевой шпат.

Нефелин в пегматитовой жиле замещается содалитом, строналситом (табл. 2, ан. 3), альбитом, канкринитом, цеолитами группы натролита и томсонитом.

Канкринит развит в нефелине в виде жилок размером 0.02–0.6 мм, в составе минерала отмечается сера SO_3 до 3 мас. %. В канкрините выявлены аннит, флюорит-кальцитовые агрегаты с пирротинном, сидерофиллитом.

Таблица 1. Химический состав аннита (1, 2), сидерофиллита (3, 4), мас. %

Table 1. Chemical composition of annite (1, 2), siderophyllite (3, 4), wt. %

Компонент Component	1 24291f	2 24264k	3 24198f	4 24352b
SiO_2	33.04	32.57	30.21	28.90
Al_2O_3	17.55	21.34	17.91	15.95
TiO_2	0.74	0.58	2.77	3.79
FeO	34.94	30.08	32.94	34.97
MgO	0.26	0.28	1.34	1.21
MnO	0.05	1.61	2.12	1.56
K_2O	9.06	9.34	8.67	9.01
Сумма / Sum	95.64	95.80	95.96	95.39
Si	2.72	2.62	2.50	2.45
Al^{IV}	1.28	1.38	1.50	1.55
Сумма T / Sum	4.00	4.00	4.00	4.00
Al^{VI}	0.42	0.65	0.24	0.04
Ti	0.05	0.04	0.17	0.24
Fe^{3+}	0.53	0.32	0.59	0.72
Fe^{2+}	1.87	1.71	1.69	1.76
Mg	0.03	0.03	0.17	0.15
Mn	0.00	0.11	0.15	0.11
Сумма M / Sum	2.91	2.85	3.00	3.03
K	0.95	0.96	0.91	0.97
$F_{\text{общ}}, \%$	99	98	93	94

Примечание. Кристаллохимические коэффициенты рассчитаны на сумму зарядов = 22.

Note. Crystal chemical coefficients are calculated on the sum of charges = 22.

том, бастнезитом-(Ce) и фторапатитом; изредка в канкрините отмечается пирит и цирконолит [8].

Аннит по составу отличается от состава минерала, образовавшегося с альбитом, большей глиноземистостью (Al^{VI} — 0.65 к.ф. против 0.34–0.42 к.ф.) и несколько повышенным содержанием MnO — 1.6 мас. % (табл. 1, ан. 2). Аннит в нефелиновой зоне пегматита нередко замещается мусковитом, при этом в его составе уменьшается содержание FeO (30.08→25.76–28.15 мас. %) и TiO_2 (0.58→0.01–0.17 мас. %), увеличивается MgO (0.28→3.12–4.23 мас. %).

Во флюорит-кальцитовом агрегате флюорит образовался позже кальцита, частично или полностью обростая его (рис. 2). С флюоритом парагенетически связаны бастнезит-(Ce), пирротин, фторапатит и сидерофиллит. В составе кальцита определены примеси SrO (среднее 1.85 мас. %) и MnO (2.90 мас. %), во флюорите — Sr (0.63 мас. %) (табл. 2, ан. 4, 5).

Сидерофиллит образовал пластинки коричневого, красно-коричневого цвета. В сравнении с аннитом сидерофиллит содержит больше Ti и Mg (TiO_2 — 2.77–3.79 мас. %, MgO — 1.34 мас. %). Железистость минерала высокая, 93–95 %. При близкой общей гли-

Таблица 2. Химический состав минералов, мас. %

Table 2. Chemical composition of minerals, wt. %

Компонент Component	1 18117f	2 18117h	3 24263b	4 24264h	5 24349a
P_2O_5	40.72	40.17	—	—	—
SiO_2	—	—	41.07	—	—
Al_2O_3	—	—	32.63	—	—
CaO	51.77	46.20	0.24	48.39	52.11
SrO	0.96	5.35	13.96	2.16	1.75
MnO	—	—	—	5.13	1.65
FeO	—	—	—	1.22	0.74
La_2O_3	1.17	0.99	—	—	—
Ce_2O_3	1.78	2.07	—	—	—
Nd_2O_3	0.00	0.89	—	—	—
Na_2O	0.40	0.57	10.68	—	—
F	3.20	3.30	—	—	—
Сумма / Sum	100.00	99.54	99.50	56.90	56.25
P	3.00	3.02	—	—	—
Si	—	—	4.13	—	—
Al	—	—	3.87	—	—
Ca	4.83	4.40	0.03	0.89	0.95
Sr	0.05	0.28	0.81	0.02	0.02
Mn	—	—	—	0.07	0.02
Fe	—	—	—	0.02	0.01
La	0.04	0.03	—	—	—
Ce	0.09	0.10	—	—	—
Nd	0.00	0.03	—	—	—
Na	0.07	0.10	2.08	—	—
F	0.88	0.93	—	—	—

Примечание. 1, 2 — фторапатит, 3 — строналсит, 4, 5 — кальцит. 3 — BaO — 0.71 мас. %, K_2O — 0.21 мас. %. Коэффициенты в формулах кальцита рассчитаны на 1 катион, фторапатита — на $\text{O} = 13$, строналсита — на $\text{O} = 16$.

Note. 1, 2 — fluorapatite, 3 — stronsalsite, 4, 5 — calcite. 3 — BaO 0.71 wt. %, K_2O 0.21 wt. %. The coefficients in the formulas of calcite are calculated for 1 cation, fluorapatite for $\text{O} = 13$, stronsalsite for $\text{O} = 16$.

Рис. 2. Минеральные агрегаты в канкрините из кальцит-нефелин-полевошпатовой пегматитовой жилы. Фото в отраженных электронах. а — бастнезит-флюорит-кальцитовый агрегат; б — сидерофиллит-пирротин-флюорит-кальцитовый агрегат с фторапатитом

Fig. 2. Mineral aggregates in cancrinite from the calcite-nepheline-feldspar pegmatite vein. BSE image. а — bastnesite-fluorite-calcite aggregate; б — siderophyllite-pyrrhotite-fluorite-calcite aggregate with fluorapatite

ноземистости с аннитом ($Al_{общ} — 1.59–1.74$ к. ф.) распределение ее в группах отличается: количество тетраэдрического Al выше и составляет 1.50–1.55 к.ф, октаэдрического — ниже, 0.04–0.24 к.ф. (табл. 1, ан. 3, 4). Сидерофиллит в щелочном комплексе крайне редок, известен единственный его анализ из корундового сиенита [6].

Мелкие зерна бастнезита-(Ce) и фторапатита (до 6 мкм), не позволили выполнить количественный анализ их состава.

Обсуждение результатов

Развитие позднего альбита по ортоклазу в кальцит-нефелин-полевошпатовом пегматите сопровождалось образованием собственных минералов Ba (барит), Sr (стронцианит), Ca (фторапатит) и Fe (пирит). Кроме этого, выявлены повышенные содержания данных элементов в виде примеси с образованием бариевого калиевого полевого шпата, Sr-содержащего барита, кальциевого стронцианита, аннита и др. Согласно В. Я. Левину и др. [3], процессы альбитизации предшествуют образованию карбонатитов в комплексе. Данная связь была также установлена в исследуемой пегматитовой жиле. Несмотря на то, что отмечен парагенезис кальцита, нефелина и полевого шпата, отложение карбоната с редкоземельно-редкометалльной минерализацией, приуроченное к центру жилы, произошло после процесса альбитизации.

В результате исследования не была установлена последовательность формирования карбонатита и вторичного канкринита; возможно, по времени образования они близки.

В пределах развития канкринита впервые обнаружены флюорит-кальцитовые агрегаты с сульфидно-редкоземельной минерализацией. По минералогическому и химическому составу эти образования отличаются от карбонатита пегматитовой жилы. Карбонатит содержит бастнезит-(Ce), анкилит-(Ce), алланит-(Ce), монацит-(Ce), ильменит, циркон, минералы группы пироклора, Nb-содержащий рутил. Апатит, флюорит и сульфиды Fe в карбонатите не обнаружены. Кроме этого, кальциты отличаются по химическому составу. Содержание MnO в кальците из карбонатита составляет 0.8–1.5 мас. %, из флюорит-кальцитового агрегата варьирует от 1.65 до 5.13 мас. %. Известно, что существует тенденция накопления Mn от ранних к поздним генерациям минера-

ла. Флюорит-кальцитовые образования с сульфидами и редкоземельными минералами ранее рассматривались как выделения поздних стадий образования карбонатитов в комплексе [1].

Выводы

С процессами альбитизации в кальцит-нефелин-полевошпатовом пегматите парагенетически связаны минералы Fe (пирит, аннит) и щелочно-щелочно-земельных элементов (альбит, барит, стронцианит, фторапатит).

Флюорит-кальцитовые образования с сульфидно-редкоземельной минерализацией сопряжены с процессами канкринитизации нефелина и следуют за формированием основного карбонатита с редкоземельно-редкометалльной минерализацией в пегматитовой жиле.

Автор благодарит В. А. Котлярова за проведение микроскопических исследований, Е. В. Медведеву и Н. А. Исакову за обсуждение статьи.

Литература

1. Еськова Е. М., Жабин А. Г., Мухитдинов Г. Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964. 320 с.
2. Левин В. Я. Щелочная провинция Ильменских — Вишневых гор (формация нефелиновых сиенитов Урала). М.: Наука, 1974. 223 с.
3. Левин В. Я., Роненсон Б. М., Самков В. С., Левина И. А., Сергеев Н. С., Киселев А. П. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 272 с.
4. Ленных В. И., Вализер П. М. К геологической схеме ильменогорского комплекса // Геология и минералогия ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006. С. 20–27.
5. Макагонов Е. П., Котляров В. А. Бариевая и стронциевая минерализация в Ильменогорском миасситовом массиве // Урал. минералог. сб. Миасс — Екатеринбург: Имин УрО РАН, 2008. № 15. С. 27–34.
6. Минералы Ильменского заповедника / Под ред. А. Н. Заварицкого. М. — Л.: АН СССР, 1949. 616 с.
7. Недосекова И. Л. Возраст и источник вещества ильменно-вишневогорского щелочного комплекса (Урал, Россия): геохимические и изотопные Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf данные // Литосфера. 2012. № 5. С. 77–95.

8. Чередниченко С. В., Котляров В. А. Минералогия циркония и ниобия в кальцит-нефелин-полевошпатовом пегматите ильмено-вишневогорского комплекса (Южный Урал) // Записки РМО. 2019. № 2. С. 87–99.

References

1. Eskova E. M., Zhabin A. G., Mukhitdinov G. N. *Mineralogiya i geokhimiya redkih elementov Vishnevyyh gor* (Mineralogy and geochemistry of rare elements of the Vishnevyy Mountains). Moscow: Nauka, 1964, 320 pp.
2. Levin V. Ya. *Schelochnaya provinciya Il'menskiy–Vishnevyyh gor (formatsiya nefelinovykh sienitov Urala)* (Alkaline province of the Ilmensky – Vishnevyy Mountains (formation of nepheline syenites of the Urals)). Moscow: Nauka, 1974, 223 pp.
3. Levin V. Ya., Ronenson B. M., Samkov V. S., Levina I. A., Sergeev N. S., Kiselev A. P. *Schelochno-karbonatitovyye komplekсы Urala* (Alkaline-carbonatite complexes of the Urals). Ekaterinburg: Uralgeolcom, 1997, 272 pp.
4. Lennykh V.I., Valizer P.M. *K geologicheskoy skheme il'menogorskogo kompleksa* (For geological scheme of the Ilmenogorsky complex). Geology and mineralogy of the Ilmenogorsky complex: situation and problems. Miass: IGZ UB RAS, 2006, pp. 20–27.
5. Makagonov E. P., Kotlyarov V. A. *Barievaya i stroncievaya mineralizatsiya v Il'menogorskom miaskitovom massive* (Barium and strontium mineralization in the Ilmenogorsky miaskite massif). Ural. mineral. collection. Miass — Yekaterinburg: Imin UB RAS, 2008, No. 15, pp. 27–34.
6. *Mineraly Il'menskogo zapovednika* (Minerals of the Ilmeny Reserve). Ed. by Zavaritsky A. N. Moscow — Leningrad: AS USSR, 1949, 616 pp.
7. Nedosekova I. L. *Vozrast i istochnik veshchestva il'meno-vishnevogorskogo shchelochnogo kompleksa (Ural, Rossiya): geokhimicheskiye i izotopnyye Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf dannyye* (Age and source of the Ilmeny-Vishnevogorsky alkaline complex (Ural, Russia): geochemical and isotopic Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf data). Lithosphere. 2012, No. 5, pp. 77–95.
8. Cherednichenko S. V., Kotlyarov V. A. *Mineralogiya cirkoniya i niobiya v kal'cit-nefelin-polevoshpatovom pegmatite il'meno-vishnevogorskogo kompleksa (Yuzhnyy Ural)* (Mineralogy of zirconium and niobium in calcite-nepheline-feldspar pegmatite of the Ilmeny-Vishnevogorsky complex (The South Urals)). Zapiski RMO, 2019, No. 2, pp. 87–99.

Поступила в редакцию / Received 27.03.2020