МАНГАНОИЛЬМЕНИТ И ПИРОФАНИТ ИЗ СИЕНИТОВ ИЛЬМЕНО-ВИШНЕВОГОРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. Б. Немов

Ильменский государственный заповедник, Миасс

ya.andrew808@yandex.ru

Впервые в щелочных породах ильмено-вишневогорского комплекса были обнаружены ильмениты с максимально высокими концентрациями марганца. Ранее эти минералы отмечались в пегматитах без описания взаимоотношений и химического состава. Образование манганоильменита и пирофанита обусловлено изоморфным замещением Fe^{2+} на Mn, что связано с мобильностью этих элементов в щелочной среде. В результате микрозондового исследования установлено, что в миаскитах и пироксен-сиенитовых пегматоидах присутствуют ильмениты с широкими вариациями содержания марганца (12.5–33.5 мас. %). Наряду с первичными кристаллами Mn-содержащего ильменита в породах присутствуют высокомарганцевые ильмениты, соответствующие манганоильменитам ($\text{Ilm}_{54-73}\text{Pph}_{27-46}$) и пирофанитам ($\text{Pph}_{48-70}\text{Ilm}_{30-52}$), образующим ксеноморфные выделения и ламели в магнетитах. Манганоильменит-пирофаниты являются поздними минералами, образованными в результате метасоматических процессов при замещении двухвалентного железа титаном и марганцем в магнетите. Первичные марганецсодержащие ильмениты не были изменены при поздних процессах.

Ключевые слова: манганоильменит, пирофанит, миаскит, сиенит, метасоматоз.

MANGANILMINITE AND PYROPHANITE FROM SYENITES OF ILMENO-VISCHNEVOGORSKY ALKALINE COMPLEX (SOUTH URAL)

A. B. Nemov

Ilmeny State Reserve, Miass,

For the first time, ilmenites with maximum Mn contents were found in the alkaline rocks of the Ilmeny-Vishnevogorsk complex. Previously, these minerals were revealed in pegmatites without description of their relationships and chemical composition. The formation of manganilmenite and pyrophanite is caused by isomorphic substitution of Fe^{2+} by Mn due to the mobility of these elements under alkaline conditions. The results of microprobe analyses showed that ilmenites from miaskites and pyroxene-syenite pegmatitic rocks are characterized by broadly variable Mn contents (12.5 – 33.5 wt. %). Along with early crystals of Mn-bearing ilmenite the rocks host high-Mn ilmenites – manganilmenites ($\text{Ilm}_{54-73}\text{Pph}_{27-46}$) and pyrophanites ($\text{Pph}_{48-70}\text{Ilm}_{30-52}$), which form anhedral aggregates and lamellas after magnetite. The manganilmenites-pyrophanites are the latest minerals, which were formed during metasomatic substitution of Fe^{2+} by Ti and Mn. The primary Mn-bearing ilmenites were not altered during later metasomatic processes.

Key words: manganilminite, pyrophanite, miaskite, syenite, metasomatism.

Введение

Ильменит — минерал, впервые открытый в породах ильмено-вишневогорского щелочного комплекса, является широко распространенным акцессорным минералом основных щелочных пород (сиенитов, гранитов) и карбонатитов. При замещении Fe^{2+} на Mn^{2+} в ильмените образуется пирофанит с содержанием $\text{MnO} > 21.4$ мас. %; при $\text{Mn} > \text{Fe}$ формируется промежуточный минерал — манганоильменит — с содержанием $\text{MnO} > 13$ мас. % [12]. Состав ильменитов из щелочных пород изменяется в широких пределах, в них всегда присутствует доля MnTiO_3 [1].

В ильмено-вишневогорском щелочном комплексе манганоильмениты были описаны в пегматитовых телах поздних миаскитов (копь № 118 и др.), сиенитов (копь № 158) и щелочных гранитов (копи № 405, 198), а пирофанит по данным рентгеноструктурного анализа был определен в щелочном гранитном пегматите копи № 198 [10, 16, 20]. Манганоильмениты и пирофаниты также встречены в родонитах Среднего Урала; в измененных монцодиоритах массивов Восточной Среднегории в Болгарии; в родингитах базит-гипербазитовых массивов Камчатки; в измененных гранитах Чукотки; в карбонатитах, ийолитах, мельтейгитах и якупирангитах щелочных комплексов Украинского щита и кимберлитах Бразилии [3, 4, 7, 15, 17, 22].

Исследование состава ильменитов в щелочных породах ильменогорского комплекса позволяет оценить вариативность процессов минерало- и рудообразования и существенно расширить представления о мобильности и инертности компонентов в щелочной среде, а также внести вклад в развитие фундаментальной проблемы геологии — генезис щелочных пород и рудообразование в них.

Методы исследования

Химический анализ минералов выполнен на расстровом электронном микроскопе РЭММА-202 М с энергодисперсионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li-детектором (ИМин УрО РАН, аналитик В. А. Котляров). Стандарты: AstJMEХ scientific Limited MJNM 25-53 Mineral Mount serial № 01-44. Режим съемки при разрешении детектора 160 эВ, ускоряющем напряжении 20–30 кВ, силе тока 3×10^{-3} А, диаметром пучка 1–2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы Magellanes.

Геологическое положение

Ильмено-вишневогорский щелочной комплекс (рис. 1, а) состоит из тел миаскитов, сиенитов, фени-тов, пегматитов и карбонатитов. Часто эти породы пре-

образованы полистадийными деформационными и метасоматическими процессами. На этапе постколлизийного развития комплекса произошло заложение субмеридиональной региональной сдвиговой зоны. Породы подверглись хрупкопластичным деформациям в условиях амфиболитовой фазии динамотермального метаморфизма (270–240 млн лет) [25]. В Ильмено-вишневогорском комплексе выделяют крупные миаскитовые массивы — Вишневогорский и Ильменогорский (рис. 1, b), соединенные Центральной щелочной полосой (рис. 1, c), сложенной дезинтегрированными породами массивов. Геология, петрография и возраст пород комплекса детально рассмотрены многими авторами [2, 6, 8].

Миаскиты (мас. %: SiO_2 — 57.98, TiO_2 — 0.12, Al_2O_3 — 23.50, Fe_2O_3 — 1.66, FeO — 1.21, MnO — 0.08, MgO — 0.13, CaO — 0.28, Na_2O — 8.68, K_2O — 4.28), в которых был изучен пиропанит, подверглись процессам милонитизации. Порода лейкомезократового облика имеет полосчатую текстуру, немато- или лепидогранобластовую, иногда порфирикластовую структуру. Порфирикласты представлены ортоклазом, микроклином, реже нефелином и амфиболами (ферритарамитом и калийферритарамитом). Матрикс милонитизированного миаскита сложен биотитом (аннитом и флогопит-аннитом) и альбитом. Акцессорные минералы представлены ильменитом,

магнетитом, титанитом, пироксеном, цирконом, алланитом, монацитом, бритолином, бастнезитом [13, 14]. Присутствуют вторичные минералы — кальцит и эпидот.

Сиенитовые пегматоиды (мас. %: SiO_2 — 62.62, TiO_2 — 0.98, Al_2O_3 — 12.49, Fe_2O_3 — 6.80, FeO — 1.29, MnO — 0.19, MgO — 1.37, CaO — 2.92, Na_2O — 6.04, K_2O — 4.54) расположены в пироксеновых сиенитах в виде зональных жил пегматоидного облика. Центральная часть жил представлена гигантозернистым микроклином и ортоклазом, к ней приурочены акцессорные минералы: апатит, циркон, ильменит, магнетит. Краевая часть представлена меланократовым средне-, крупнозернистым агрегатом, сложенным пироксеном (эгирин-авгитом), полевым шпатом (альбитом), титанитом, биотитом (аннитом) и поздними минералами: кварцем, флогопитом, амфиболами (ферривинцитом, феррибраузитом, магнезиорибекитом), пироксенами (клиноэнстатит—клиноферросилитом, эгирин-авгитом). В ней диагностируются акцессорные минералы: апатит, циркон, ильменит, магнетит, представленные несколькими генерациями [23, 24].

Манганоильменит и пиропанит

Ильмениты в миаскитах представлены идиоморфными деформированными зернами или округлыми порфирикластами размером от 0.5–5 мм. Минерал

Рис. 1. Схематические геологические карты Ильмено-вишневогорского щелочного комплекса (a), Ильменогорского миаскитового массива (b) и части Центральной щелочной полосы (c) по [8, 19]:

1 — фениты (O_2); 2 — биотитовые миаскиты (O_2); 3 — амфиболовые миаскиты (O_2); 4 — сиениты (O_2); 5 — селяннинская серия амфибол-гнейсово-плагиомигматитовая (Ar-Pt₁); 6 — бластомилониты гранитоидного и сиенитового состава (P_2 -T₁); 7 — милониты Кыштымского сдвига-надвига; 8 — еланчиковская толща плагиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 9 — сайтовская серия, метатерригенная; 10 — зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 11 — Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz_3); 12 — гнейсовидные граниты кисегачского комплекса; 13 — метагипербазиты; 14 — поздние разломы; 15 — место взятия образцов (см. таблицу)

Fig. 1. Schematic geological maps of the Ilmeny-Vishnevogorsky alkaline complex (a), the Ilmenogorsky miaskite massif (b) and part of the Central alkaline belt (c) after [8, 19].

1 — Middle Ordovician biotite miaskites; 2 — Middle Ordovician amphibole miaskite; 3 — Middle Ordovician fenites; 4 — Middle Ordovician syenites; 5 — Selyankino Group: Archean to Early Proterozoic amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks; 6 — Middle Permian-Lower Triassic (?) granitic and syenitic blastomylonites; 7 — mylonites of the Kyshtym — strike-slip fault thrust; 8 — Elanchik Sequence: plagioshales and injection of migmatites; 9 — Saitovo Sequence: metaterrigenous rocks; 10 — greenschist volcanosedimentary complexes of the West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 11 — Upper Precambrian Uvildy monzogranitic complex; 12 — gneissic granites of the Kisekach complex; 13 — metaultramafic rocks; 14 — late faults; 15 — sampling place (see table)

имеет непостоянный состав (рис. 2) — $\text{Ilm}_{84-94}\text{Pph}_{6-16}$. Отношение $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$ варьирует от 0.43 до 0.51. Содержит примесь Nb (0.11–0.98 мас. %).

Пирофанит из миаскитов замещает идиоморфные зерна магнетита в виде ламелей (размер $60\text{--}20 \times 3$ мкм и менее) по спайности и в виде ксеноморфных выделе-

Рис. 2. Состав ильменит-пирофанитов в сиенитах ильмено-вишневогорского щелочного комплекса (мольные доли от $(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Ti})$):

1, 2 — ильмениты: 1 — из сиенитовых пегматоидов; 2 — из миаскитов; 3 — манганоильмениты из сиенитовых пегматоидов; 4 — пирофаниты из миаскитов

Fig. 2. Composition of ilmenites and pyrophanites from syenites of the Ilmeny-Vishnevogorsky alkaline complex (mol. % of the $(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Ti})$). 1, 2 — ilmenites from: 1 — from syenite pegmatoid rocks; 2 — miaskites; 3 — manganilmenites from syenite pegmatoid rocks; 4 — pyrophanites from miaskites

ний (размер $30\text{--}10$ мкм) по краям и трещинам (рис. 3). Магнетит формируется в межзерновом пространстве породообразующих минералов. Замещение магнетита пирофанитом в краевых участках часто происходит в контакте с поздними минералами (альбитом, флогопит-аннитом, мусковитом) (рис. 3, а, б). Состав минерала (см. таблицу; рис. 2) не постоянный ($\text{Pph}_{48-70}\text{Ilm}_{30-52}$) и отвечает *железистому пирофаниту*. Отношение $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$ изменяется от 0.45 до 0.51. Отличительной чертой пирофанита является отсутствие элементов-примесей (Nb). Магнетиты, по которым развит пирофанит, имеют посто-

янный состав с незначительным содержанием элементов-примесей Ti (0.06–0.51 мас. %) и Mn (0.13–0.33 мас. %).

В сиенитовых пегматоидах ильменит встречается в виде изометричных гипидиоморфных зерен в сростании с пироксеном (эгирином-авгитом) и альбитом. Он содержит низкое количество Mn ($\text{Ilm}_{85-95}\text{Pph}_{5-15}$), отношение $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$ изменяется от 0.45 до 0.47 (рис. 2). В качестве примеси в нем содержится Nb (0.25–1.60 мас. %, реже до 4.24 мас. %), Al (0.43–0.63 мас. %) и Mg (0.25–0.65 мас. %).

В данной породе обнаружен манганоильменит ($\text{Ilm}_{54-73}\text{Pph}_{27-46}$) в виде тонкопластинчатых вростков (ламелей) в центральной части (рис. 4, а) и в краевых участках зерен магнетита (рис. 4, б). Размеры ламелей варьируют от 0.02–0.01 до 1–0.02 мм. В составе манганоильменита (см. таблицу, рис. 2) отсутствуют элементы-примеси (Nb, Al, Mg), характерные для ранних ильменитов. Величина отношения $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$ в манганоильмените колеблется от 0.49 до 0.52. Магнетит, по которому развивается манганоильменит, содержит примеси Ti (0.08–0.93 мас. %), Mn (0.00–1.95 мас. %), V (0.00–0.93 мас. %) и Al (до 0.47 мас. %) и имеет зональное строение, выраженное в увеличении содержания V и Fe и уменьшении Mn от центра к краю.

Обсуждение результатов

Изученные ильмениты ильмено-вишневогорского щелочного комплекса показывают, что в сиенитах существуют первичные ильмениты, образованные из расплава, и поздние манганоильменит и пирофанит. Первичные ильмениты характеризуются идиоморфными формами кристаллов (рис. 2), близким составом и вариативностью отношения $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$. Для них характерно наличие элементов-примесей Nb, Al, Mg, при этом ильмениты миаскитов содержат только Nb.

Манганоильменит обнаружен в сиенитовом пегматоиде в виде микроскопических ламелей в магнетите, а пирофанит — в виде ксеноморфных выделений, образованных по магнетиту. Характерная черта этих минералов — широкие вариации составов (рис. 2) при относительно незначительных колебаниях отношения $\text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Mn} + \text{Fe})$, что определяется основным механизмом замещения по схеме $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Mn}$. Отсутствие в них элементов-примесей (Nb, Al, Mg) отличает их от ранних ильменитов ильмено-вишневогорского комплекса.

Рис. 3. Замещение магнетита пирофанитом в миаските: а — в краевых частях зерен; б — по трещинам (СЭМ-фото). Индексы минералов по [26]

Fig. 3. Replacement of magnetite by pyrophanite in miaskites: а — in rims, б — in fractures (BSE-image). Abbreviation of the minerals are after [26]

Химический состав пиррофанитов и манганоильменитов из сиенитов ильмено-вишневогорского щелочного комплекса (мас. %, к. ф.).
Chemical composition of pyrophanites and manganilmenites from syenites of the Ilmeny-Vishnevogorsky alkaline complex (wt. %, f. u.).

№ анализа Analysis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TiO ₂	53.01	53.10	53.38	39.3	51.84	47.51	52.16	52.78	52.50	53.15	52.05	52.33	52.79	51.87	51.53	55.09	52.54
FeO*	22.44	21.99	21.96	31.16	14.39	19.84	14.97	30.36	31.28	25.98	26.82	26.97	25.30	34.58	34.97	32.27	35.27
MnO	24.28	24.57	24.53	28.63	33.54	32.46	32.53	16.61	15.78	19.9	21.11	20.47	21.6	13.57	13.35	12.53	11.79
Сумма \ Total	99.73	99.66	99.87	99.09	99.77	99.81	99.66	99.75	99.56	99.03	99.98	99.77	99.69	100.02	99.85	99.89	99.6
Элементы Elements	к. ф.																
Ti	1.01	1.00	1.01	0.74	0.98	0.89	0.99	1.00	1.00	1.02	0.99	0.99	1.00	0.98	0.98	1.05	1.00
Fe	0.47	0.47	0.46	0.65	0.30	0.42	0.32	0.64	0.66	0.55	0.56	0.57	0.54	0.73	0.74	0.68	0.75
Mn	0.52	0.53	0.53	0.61	0.72	0.69	0.69	0.36	0.34	0.43	0.45	0.44	0.46	0.29	0.28	0.27	0.25

Примечание. 1–4 — пиррофанит из биотитовых миаскитов (1–3 — обр. НТ 3–12 (N 55°14'40.6" E 60°11'47.3"); 4 — обр. НТ 5–12 (N 55°22'52.8" E 60°15'45.4")); 5–7 — пиррофанит из амфибол-биотитового миаскита (обр. НМ 9 – 13 (N 55°04'47.0" E 60°08'18.7")); 8–17 — манганоильменит из сиенитового пегматоида (8–11 — обр. Пж – 35, 12–14 — обр. Пж – 36, 15–18 — обр. Иц – 1 (N 55°10'30.0" E 60°10'30.0")). Пиррофанит и манганоильменит рассчитаны на 2 катиона. FeO* – FeO + Fe₂O₃.

Note. 1–3 — pyrophanite from biotite miaskites (1–3 sample НТ 3-12 located (N 55°14'40.6" E 60°11'47.3"); 4 — sample НТ 5-12 located (N 55°22'52.8" E 60°15'45.4")); 5–7 — pyrophanite from amphibole-biotite miaskites (sample НМ 9 – 13 located (N 55°04'47.0" E 60°08'18.7")); 8–17 — manganilmenite from syenite pegmatoid rocks (8–11 — sample Пж – 35, 12–14 — sample Пж – 36, 15–17 — sample Иц – 1 located (N 55°10'30.0" E 60°10'30.0")). Structural formulae of pyrophanite and manganilmenite calculated on the basis of two cations. FeO* – FeO + Fe₂O₃.

Рис. 4. Ламели манганоильменита по магнетиту в сиенитовом пегматоиде: а — в центральной части зерен магнетита; б — в краевых участках зерен магнетита, на контакте магнетита и поздних биотита и альбита (СЭМ-фото)

Fig. 4. Lamellae of manganilmenite after magnetite in syenite pegmatoid rocks: а — in central part of magnetite grains; б — in rims at contact of magnetite and late biotite and albite (BSE-image)

Образование манганоильменита и пиррофанита в щелочных породах связано с распадом твердого раствора в титаномагнетите и метасоматическими преобразованиями под влиянием флюида [1, 4, 7, 15, 17, 18, 22].

Отсутствие следов деформации и форма выделений минералов позволяют предполагать, что пиррофаниты в миаскитах имеют позднее метасоматическое образование, а манганоильмениты в сиенитовых пегматоидах образовались в ходе распада твердого раствора в магнетите на конечном этапе формирования породы [4, 18]. Известно, что содержание марган-

ца в ильмените зависит от щелочности породы [1, 7]. Повышенное содержание Mn в поздних разновидностях ильменита можно объяснить влиянием щелочного флюида с высокой фугитивностью. Воздействие его на миаскит способствует мобильности устойчивых Ti, Fe и Mn при температурах < 650–700 °C [1, 15]. Высокая фугитивность флюида (F, OH) определяет смещение равновесия системы «магнетит—ильменит» в сторону последнего. Отсутствие элементов-примесей (Nb и др.) в манганоильменит-пиррофанитах объясняется инертностью этих элементов.

Изучение включений минералообразующих сред минералов сиенитовых пегматоидов показало, что они образованы остаточными щелочными растворами при температурах 450–700 °С [21]. При таких условиях мобильные в щелочной среде Ti и Mn концентрировались в магнетите — минерале-концентрате Fe, наиболее геохимически родственном элементу для Mn и Ti. При снижении температуры произошло разделение минеральных фаз на собственно магнетит и манганоильменит.

Перераспределение элементов под воздействием щелочного флюида [9] подтверждается широко проявленными метасоматическими изменениями в породах ильмено-вишневогорского комплекса и образованием характерной поздней минерализации: банальсит-стро-нальсита, бастнезита, бритолита и др. [11, 13, 14].

Выводы

Появление марганецсодержащих беспримесных ильменитов, развитых по магнетиту, объясняется влиянием щелочного флюида, обеспечившего мобильность и перераспределение Ti, Fe и Mn и инертность Nb, Mg, Al. Породы, содержащие манганоильменит и пиррофанит, были сформированы либо изменены щелочным флюидом, имевшим широкое проявление на завершающем постколлизийном этапе (240–270 млн лет) развития региона.

Литература

1. Багдасаров Э. А. Сравнительная характеристика состава ильменитов изверженных пород // ЗВМО. 1986. № 2. С. 155–165.
2. Баженов А. Г. К вопросу о генезисе миаскитов // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: Матер. всерос. науч. конф. Миасс. 2006. С. 21–25.
3. Брусницын А. И. Минералогия месторождений подолочных родонитовых пород Среднего Урала // ЗВМО. 1998. № 3. С. 1–11.
4. Каминский Ф. В., Белоусова Е. А. Манганоильменит как минерал-спутник алмаза в кимберлитах // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 1560–1570.
5. Краснобаев А. А., Вализер П. М., Анфилов В. Н., Немов А. Б., Бушарина С. В. Цирконология пегматитов Ильменских гор (Южный Урал) // ДАН. 2014. Т. 457. № 4. С. 455–459.
6. Краснобаев А. А., Вализер П. М., Бушарина С. В., Медведева Е. В., Бережная Н. Г. Замещение — причина: минералогическая, геохимическая, возрастная гетерогенности цирконов миаскитов — следствие (Ильменские горы, Южный Урал) // ДАН. 2013. Т. 452. № 4. С. 424–430.
7. Кривдик С. Г. Геохимические особенности ильменитов из щелочных комплексов Украинского щита (по данным LA-ICP MS) // Геохимия. 2014. № 4. С. 319–328.
8. Левин В. Я., Роненсон Б. М., Самков В. С. и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, 1997. 244 с.
9. Левицкий В. И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры. Новосибирск: Гео, 2005. 340 с.
10. Макарошкин Б. А., Макарошкина М. С. Классификация минералов Ильменского государственного заповедника // Краеведческие записки. 1962. № 1. С. 186–189.
11. Медведева Е. В., Немов А. Б., Котляров В. А. Первая находка банальсита-стро-нальсита на Урале // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 3. С. 13–17.
12. Минералы: Справочник. М.: Наука, 1967. Т. 2. Вып. 3. 676 с.

13. Немов А. Б., Медведева Е. В., Котляров В. А. Редко-металлическая и редкоземельная минерализация милонитов Ильменогорского миаскитового массива (Южный Урал) // Онтогенез, филогенез, система минералогии: Матер. всерос. конф. Миасс, 2015а. С. 141–145.

14. Немов А. Б. Сандыиты Ильменогорского миаскитового массива (Ю. Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015б. № 7. С. 9–14.

15. Осипенко А. Б., Сидоров Е. Г. Пиррофанит, манганоильменит и Mn-армолколит из гипербазитовых массивов Камчатки // ЗВМО. 1999. № 6. С. 68–73.

16. Поляков В. О. Новые данные о минералах гранитных пегматитов Ильменского заповедника // Минералогические исследования эндогенных месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1982. С. 30–36.

17. Полякова Е. В. Ассоциация ильменита, пиррофанита и псевдорутила в гранитах Северного массива (Чукотка) // Записки Горного института. 2013. Т. 200. С. 258–262.

18. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. Москва: Изд. иностранной литературы, 1962. 1132 с.

19. Русин А. И., Краснобаев А. А., Вализер П. М. Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы // Геология и минералогия ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006. С. 3–19.

20. Симонов А. И. Ильменорутит // Минералы Ильменского заповедника / Под ред. А. Н. Заварицкого. М., 1949. С. 541–559.

21. Симонов В. А. Условия минералообразования в негратитных пегматитах // Новосибирск: Наука, 1981. 169 с.

22. Тарасова Е. Акцессорные Fe-Ti оксиды от Омано-Факийских плутонов. Източно Средногорье // Review of the Bulgarian Geological Society, 1998. Т. 59. № 3. С. 151–154.

23. Чердынченко С. В. Пироксеновые сиениты и пегматиты Селянкинского массива (Ильменские горы) // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: Матер. всерос. науч. конф. Миасс, 2006. С. 283–286.

24. Чердынченко С. В. Особенности минерального состава пироксен-полевошпатитового пегматоида как индикатор условий образования породы (Южный Урал) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Матер. всерос. петрогр. конф. Томск, 2009. Вып. 7. С. 316–318.

25. Hetzel R., Glodny J. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance // international Journal of Earth Sciences. 2002. V. 91, No. 2, pp. 231–254.

26. Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // American Mineralogist, 2010, V. 95, No. 1, pp. 185–187.

References

1. Bagdasarov E. A. *Sravnitel'naya harakteristika sostava ilmenitov izverzhennykh porod* (Comparative characteristics of composition of ilmenites from eruptive rocks). ZVMO. 1986, No.2, pp. 155–165.
2. Bazhenov A. G. *K voprosu o genezise miaskitov* (Genesis of miaskites). *Geokhimiya, petrologiya, mineralogiya i genezis shchelochnykh porod*. Proceedings of conference, Miass, 2006, pp. 21–25.
3. Brusnitsyn A. I. *Mineralogiya mestorozhdenii podolochnykh rodonitovykh porod Srednego Urala* (Mineralogy of deposits of ornamental rhodonite). ZVMO. 1998, No.3, pp. 1–11.
4. Kaminskii F. V., Belousova E. A. *Manganoilmenit kak mineral sputnik al'maza v kimberlitakh* (Manganoilmenite as mineral sputnik of diamond in kimberlites). *Geologiya i geofizika*, 2009, V. 50, No. 12, pp. 1560–1570.
5. Krasnobayev A. A., Valizer P. M., Anfilogov V. N., Nemov A. B., Busharina S. V. *Tsirkonologiya pegmatitov Ilmenskih gor*

(Yuzhnyi Ural) (Zirconology of pegmatites of Ilmen Mountains). RAS, 2014, V. 457, No. 4, pp. 455–459.

6. Krasnobaev A. A., Valizer P. M., Busharina S. V., Medvedeva E. V., Berezhnaya N. G. *Zameschenie—prichina: mineralogicheskaya, geohimicheskaya, vozrastnaya geterogenosti tsirkonov miaskitov—sledstvie (Ilmenskie gory, Yuzhnyi Ural)* (Substitution — cause: mineralogical, geochemical, age heterogeneities of miaskite zircons — consequence (Ilmen Mountains, South Urals)). RAS, 2013, V. 452, No. 4, pp. 424–430.

7. Krivdik S. G. *Geohimicheskie osobennosti ilmenitov iz sche-lochnykh kompleksov Ukrainskogo schita (po dannym LA-ICP MS)* (Geochemical features of ilmenites from alkaline complexes of Ukrainina shield (according to LA-ICP MS data). *Geohimiya*, 2014, No. 4, pp. 319–328.

8. Levin V. Ya., Ronenson B. M., Samkov V. S. et al. *Schelochno-karbonatitovye komplekсы Urala* (Alkaline-carbonatite complexes of the Urals). Ekaterinburg, 1997, 244 pp.

9. Levitskii V. I. *Petrologiya i geohimiya metasomatoza pri formirovanii kontinentalnoi kory* (Petrology and geochemistry of metasomatism at formation of continental crust). Novosibirsk: Geo, 2005, 340 pp.

10. Makarochkin B. A., Makarochkina M. S. *Klassifikatsiya mineralov Ilmenskogo gosudarstvennogo zapovednika* (Classification of minerals of Ilmen state reserve). *Kraevedcheskie zapiski*, 1962, No. 1, pp. 186–189.

11. Medvedeva E. V., Nemov A. B., Kotlyarov V. A. *Pervaya nahodka banalsita-stronalsita na Urale* (First find of banalsite-stro-nalcite at the Urals). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2016, No. 3, pp. 13–17.

12. *Mineraly. Spravochnik* (Minerals. Reference book). V. 2, No. 3, Moscow: Nauka, 1967, 676 pp.

13. Nemov A. B., Medvedeva E. V., Kotlyarov V. A. *Redkometalnaya i redkozemel'naya mineralizatsiya milonitov Ilmenogorskogo miaskitovogo massiva (Yuzhnyi Ural)* (Rare metal and rare earth mineralization of milonites of Ilmenogorsky miaskite massif (South Urals)). *Proceeding of conference*. Miass, 2015a, pp. 141–145.

14. Nemov A. B. *Sandyity Ilmenogorskogo miaskitovogo massiva (Yu. Ural)* (Sandyites of Ilmenogorsky miaskite massif). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2015b, No. 7, pp. 9–14.

15. Osipenko A. B., Sidorov E. G. *Pirofanit, manganoilmenit i Mn-armokolit iz giperbazitovykh massivov Kamchatki* (Pyrophanite, manganoilmenite and Mn-armokolite from hyperbasite massifs of Kamchatka). *ZVMO*, 1999, No. 6, pp. 68–73.

16. Polyakov V. O. *Novye dannye o mineralah granitnykh pegmatitov ilmenskogo zapovednika. Mineralogicheskie issledovaniya endogennykh mestorozhdenii Urala* (New data about minerals of granite pegmatites of ilmen reserve. Mineralogical researches of endogenic deposits of the Urals). Sverdlovsk: USC USSRAS, 1982, pp. 30–36.

17. Polyakova E. V. *Assotsiatsiya ilmenita, pirofanita i psevdorutila v granitakh Severnogo massiva (Chukotka)* (Association of ilmenite, pyrophanite and pseudorutile in granites of Severny massif (Chukotka)). *Zapiski Gornogo instituta*, 2013, V. 200, pp. 258–262.

18. Ramdor P. *Rudnye mineraly i ih srastaniya* (Ore minerals and their joints). Moscow: Foreign Literature Publ., 1962, 1132 pp.

19. Rusin A. I., Krasnobaev A. A., Valizer P. M. *Geologiya Ilmenskih gor: situatsiya, problem* (Geology of Ilmen Mountains: situation, problem). Miass: UB RAS, 2006, pp. 3–19.

20. Simonov A. I. *Ilmenorutil. Mineraly Ilmenskogo zapovednika* (Ilmenorutile. Minerals of Ilmen reserve). Ed. A.N. Zavaritsky. Moscow, 1949, pp. 541–559.

21. Simonov V. A. *Usloviya mineraloobrazovaniya v negranitnykh pegmatitakh* (Conditions of mineral formation in non-granitic pegmatites). Novosibirsk, Nauka, 1981, 169 pp.

22. Tarasova E. *Aktsesorni Fe-Ti oksidi ot Omano-Fakiiskiya pluton. Iztochno Srednogorie* (Accessory Fe-Ti oxides from Omano-Fakysky pluton). *Review of the Bulgarian Geological Society*, 1998, V. 59, No. 3, pp. 151–154.

23. Cherednichenko S. V. *Piroksenovye sienity i pegmatity Selyankinskogo massiva (Il'menskie gory)* (Pyroxene syenites and pegmatites of Selyankinsky massif (Ilmen Mountains)). *Proceedings of conference «Geohimiya, petrologiya, mineralogiya i genezis schelochnykh porod»*. Miass, 2006, pp. 283–286.

24. Cherednichenko S. V. *Osobennosti mineralnogo sostava piroksen-polevoshpatovogo pegmatoida kak indikator uslovii obrazovaniya porody (Yuzhnyi Ural)* (Features of mineral composition of pyroxene-feldspar pegmatoids as indicator of formation conditions of the rocks (South Urals)). *Proceedings of conference «Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov»*. Tomsk, 2009, No. 7, pp. 316–318.

25. Hetzel R., Glodny J. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance. *international Journal of Earth Sciences*, 2002, V. 91, No. 2, pp. 231–254.

26. Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 2010, V. 95, No. 1, pp. 185–187.