

УДК 549(1); 552.13

**БАНАЛЬСИТ–СТРОНАЛЬСИТ ИЗ САНДЫИТА ИЛЬМЕНОГОРСКОГО
МИАСКИТОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)****Е.В. Медведева¹, А.Б. Немов¹, В.А. Котляров²**¹Ильменский государственный заповедник, г. Миасс; ya.andrew808@yandex.ru²Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс**BANALSITE–STRONALSITE FROM SANDYITES
OF THE ILMENOGORSKY MIASKITE MASSIF (SOUTH URAL)****E.V. Medvedeva¹, A.B. Nemov¹, V.A. Kotlyarov²**¹Ilmeny State Reserve, Miass; ya.andrew808@yandex.ru²Institute of Mineralogy UB RAS, Miass

Впервые в щелочных породах Ильменогорского миаскитового массива (ИММ) обнаружены минералы группы ряда банальсит $\text{BaNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$ и стрональсит $\text{SrNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$. В банальсите определены, мас. %: BaO 11.97–12.86, SrO 5.44–5.56. Стрональсит выявлен в краевой части зерна банальсита и содержит SrO 8.08 и BaO 8.18 мас. %. В этих минералах из сандыита Ильменогорского массива отмечено присутствие лисетитового минала $\text{CaNa}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]_2$, примеси калия и железа. Образование минералов ряда банальсита–стрональсита в сандыитах Ильменогорского комплекса связано с поздними метасоматическими изменениями щелочных пород ИММ.

Илл. 6. Табл. 1. Библ. 10.

Ключевые слова: банальсит, стрональсит, сандыиты, Ильменогорский миаскитовый массив.

The minerals of the banalsite $\text{BaNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$ – $\text{SrNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$ stronalsite series were found for the first time in alkaline rocks of the Ilmenogorsky miaskite massif. Banalsite contains 11.97–12.86 wt. % BaO and 5.44–5.56 wt. % SrO. Stronalsite was found in the rim of the banalsite grain and contains 8.08 wt. % SrO and 8.18 wt. % BaO. These minerals are characterized by the presence of lisetite mineral $\text{CaNa}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]_2$ potassium and iron. Their formation is related to the late metasomatic alteration of alkaline rocks.

Figures 6. Table 1. References 10.

Key words: banalsite, stronalsite, sandyites, Ilmenogorsky miaskite massif.**Введение**

Банальсит $\text{BaNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$ и стрональсит $\text{SrNa}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_2$ – весьма редкие минералы, являющиеся структурными аналогами полевых шпатов ромбической сингонии и образующие изоструктурный непрерывный полный изоморфизм между

Ba и Sr. Впервые в России они были обнаружены в Жидойском массиве (Шарыжалгайский выступ, Южная Сибирь) среди апатит-титаномагнетитовых пироксенитов в ассоциации с поздними минералами, образованными в результате метасоматического изменения пироксенитов при внедрении даек ийолитов и фойзитов (Конева, 1996). Появление

минералов этой группы отмечено в различных разнотипных и разновозрастных нефелиновых сиенитах главных щелочных провинций мира – нефелиновых сиенитах Сахарюкского массива и щелочного комплекса Гремяха-Вырмес, в лувритах и фойяитах Пилансберг (Ю. Африка), в ийолитах и щелочных пироксенитах Прайр Лейк (Онтарио, Канада), в ийолитах щелочного комплекса Турий мыс и в скарнированных мелилитолитовых ксенолитов среди нефелиновых сиенитов Хибинского комплекса на Кольском п-ове (Лиферович и др., 2005). В поздних дериватах этих комплексов обнаружен стрональсит, а в ранних – банальсит. В нефелиновых сиенитах (миаскитах) Ильменогорского массива минералы ряда банальсита–стрональсита обнаружены впервые в сандыитах – меланократовой разновидности миаскитов.

Методы исследования

Химический состав минералов определён на растровом электронном микроскопе РЭММА–202М с энерго-дисперсионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li детектором (ИМин УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). Стандарты использованы с шашки «Astimex scientific limited» MINM25-53 Mineral Mount Serial № 01–44 при разрешении детектора 160 эВ, ускоряющем напряжении 20–30 кВ, токе 3×10^{-3} А, диаметр пучка 1–2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы «Magellanes».

Геологическое положение сандыитов в Ильменогорском массиве

Ильменогорский миаскитовый массив (ИММ) расположен в южной части Вишнёвогорско-Ильменогорской полиметаморфической региональной сдвиговой зоны (рис. 1), где широко распространены продукты динамотермального метаморфизма, образованные в результате хрупко-пластичных деформаций в условиях амфиболитовой фации метаморфизма (270–240 млн лет) (Hetzl et al., 2002).

ИММ имеет каплевидную форму размером 18×4.5 км, сложен биотитовыми, биотит-амфиболовыми и амфиболовыми миаскитами (рис. 2) с линейными и плоскостными текстурами. Осложнён зонами милонитизации, жильными телами и дайками поздних миаскитов, сиенитов и гранитов, приуроченных к тектоническим нарушениям преимущественно СВ простирания. Переходы между

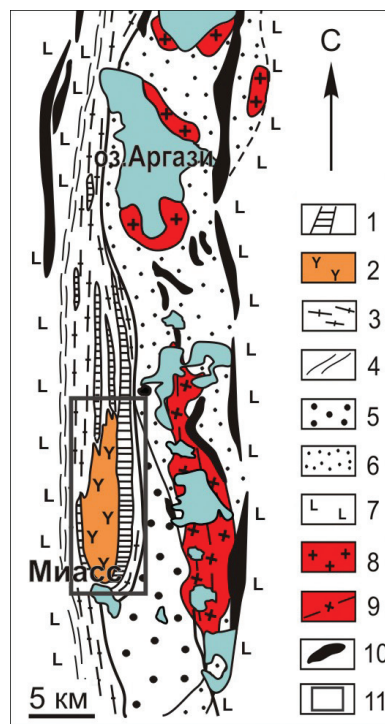


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ильмено-Вишневогорского полиметаморфического комплекса (Русин и др., 2006).

1 – селянкинская серия амфибол-гнейсово-плаггиомигматитовая (Ar-Pt₁); 2 – массивы миаскитов (O₂); 3 – blastomylonites гранитоидного и сиенитового состава (P₂-T₁(?)); 4 – милониты Кыштымского сдвига-надвига; 5 – еланчиковская толща плаггиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 6 – сайтовская серия, метатерригенная; 7 – зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 8 – Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz₃); 9 – гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса, 10 – метагипербазиты; 11 – Ильменогорский миаскитовый массив.

Fig. 1. Schematic geological map of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex after (Rusin et al., 2006).

1 – Selyankino Group: Archean to Early Proterozoic amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks; 2 – Middle Ordovician miaskites; 3 – Middle Permian to Early Triassic (?) granitic and syenitic blastomylonites; 4 – mylonites of the Kyshtym strike-slip fault-thrust; 5 – Elanchik Sequence: plagioshales and injection migmatites; 6 – Saitovo Sequence: metaterrigenous rocks; 7 – greenschist volcanosedimentary complexes of the West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 8 – Late Precambrian Uvildy monzogranitic complex; 9 – gneissic granites of the Kisegach complex; 10 – metaultramafic rocks; 11 – Ilmenogorsky miaskite massif.

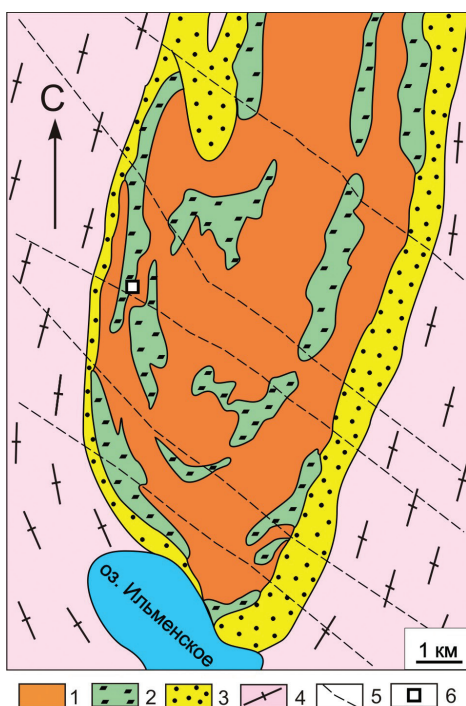


Рис. 2. Схематическая карта Ильменогорского миаскитового массива (Левин и др., 1974).

1 – биотитовые миаскиты; 2 – амфиболовые миаскиты; 3 – фениты; 4 – амфибол-гнейсово-плаггиомигматитовые породы селянкинской серии; 5 – разломы; 6 – место взятия образцов.

Fig. 2. Schematic geological map of the Ilmenogorsky miaskite massif after (Levin et al., 1974).

1, 2 – miaskites: 1 – biotite, 2 – amphibole; 3 – fenites; 4 – amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks of the Selyankino Group; 5 – faults; 6 – sampling place.

породами постепенные. Миаскиты в значительном объёме представлены тектонитами различной степени милонитизации (Ворощук, 2001; Кошевой 1985). Возраст образования миаскитового массива датирован 417±5.2 млн лет (Краснобаев и др., 2010).

Сандыиты в миаскитовом массиве образуют линейно-линзовидные прерывистые тела мощностью 0.1–0.5 м и протяжённостью от 0.5 до 10 м. Вокруг тел сандыитов образуются гранат-амфиболовые миаскиты, которые сменяются вмещающими амфиболовыми миаскитами. Наибольшее развитие тел сандыитов наблюдается вблизи западного контакта массива.

Сандыит – меланократовая разновидность нефелинового сиенита (миаскита), впервые выделенная и описанная А.Н. Заварицким (1939) для щелочных пород ИММ. Состав этих пород вариативен, охватывает группы малиньита-ийолита-уртита (Петрогра-



Рис. 3. Сандыит юго-западной части Ильменогорского миаскитового массива.

Fig. 3. Sandyite from the southwestern part of the Ilmenogorsky miaskite massif.

фический кодекс, 2008). Изученный сандыит имеет полосчатую текстуру и среднезернистую структуру (рис. 3). Минеральный состав его: клинопироксен (эгирин-авгит) 25–35 %, амфибол (тарамит) 20–25 %, калиевый полевой шпат 20–30 %, плагиоклаз 10–15 % и нефелин до 5 % площади шлифа. Акцессорные минералы в основном представлены титанитом, апатитом, кальцитом и единичными зёрнами циркона, алланита-(Ce) и ильменита. Под микроскопом обнаруживается нематогранобластовая структура с синтаксическими и эпитаксическими сростаниями амфибола с клинопироксеном. Характерен «симплектитовидный» облик гипидиоморфных зёрен клинопироксена и амфибола, содержащих включения полевых шпатов, нефелина, титанита и апатита (рис. 4а). Полигональные зёрна эгирин-авгита с железистостью $f = 72–76$ размером 2–6 мм образуют индивиды, сростшиеся с удлинёнными индивидами ферритарамита ($f = 73–75$) величиной 2–5 мм. Ферритарамит характеризуется меньшими содержаниями Al (1.94–2.06 к.ф.) и Ca (1.32–1.37 к.ф.) по сравнению с амфиболами из вмещающих миаскитов, но повышенными – Si (5.95–6.13 к.ф.) и Na (1.16–1.24 к.ф.) (табл. 1).

Для полевых шпатов характерен полигональный облик кристаллов размером 0.5–3 мм. Калиевый полевой шпат – ортоклаз с незначительным количеством Ba (до 0.01 к.ф.) и меньшим содержанием Na (0.1–.12 к.ф.), по сравнению с ортоклазом из вмещающих миаскитов. Редко присутствуют микропертиты размером 0.2–2 мм, замещаемые альбитом № 2–5. Нефелин представлен субизометричными зёрнами (0.5–4 мм) однородного состава. При микрондовом исследовании в нём обнаружены микровключения (0.15–0.2 мм) минералов ряда ба-

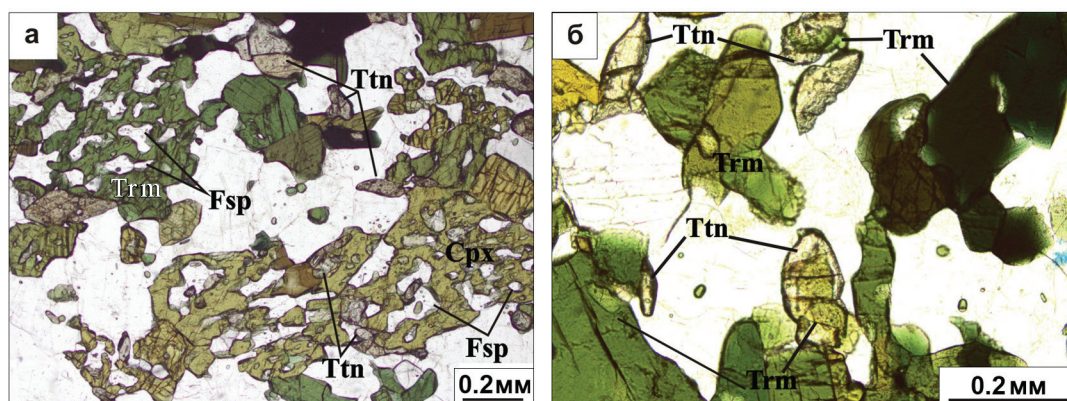


Рис. 4. «Симплектитоподобная» микроструктура пироксена и амфибола в сандыитах Ильменогорского миаскитового массива (без анализатора). Сокращения см. табл. 1.

Fig. 4. Symplectite-like microtexture of clinopyroxene and amphibole in sandyites of the Ilmenogorsky miaskite massif (parallel nicols).

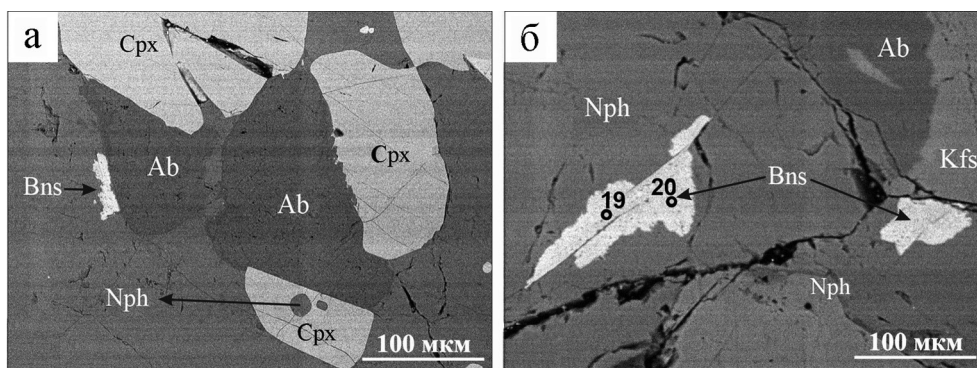


Рис. 5. Включения зёрен банальсита–стрональсита (Bns-Srns) в нефелине (Nph).

Точки анализа: 19 – банальсит, 20 – стрональсит. Изображение в BSE.

Fig. 5. Inclusions of banalsite–stronalsite grains (Bns-Srns) in nepheline (Nph).

Points of analysis: 19 – banalsite, 20 – stronalsite. BSE-image.

нальсит–стрональсита (рис. 5, 6). Среди акцессорных минералов преобладает титанит, образующий включения в ферритарамите, развивается по нему и по эгирин-авгиту, образуя каймы менее 0.1 мм (см. рис. 4б). Титанит образует овальные и удлинённые зёрна (0.2–3 мм), реже конвертовидные (2–5 мм), часто ассоциирует с апатитом. Апатит представлен бочонковидными (0.2–1 мм) или игольчатыми (менее 0.2 мм) кристалликами в виде включений или в интерстициях зёрен силикатов. Кроме того, встречаются зёрна кальцита (0.2–1 мм), единичные индивиды циркона (менее 0.5 мм), алланита (0.5–0.2 мм) и ильменита (0.3–3 мм).

Минералы ряда банальсит–стрональсита

Минералы ряда банальсита–стрональсита (см. рис. 5) имеют малые размеры индивидов, что затрудняет получение оптических характеристик, т.к. их параметры чрезвычайно

близки с нефелином. Состав отдельных индивидов банальсита–стрональсита характеризуется неоднородностью (см. табл. 1, ан. 19, 20 и рис. 6), выраженную от центра к краю в снижении количества Ва (0.49 → 0.33 к.ф.) и увеличении Sr (0.34 → 0.49 к.ф.). Чаще среди микровключений обнаруживается банальсит с содержаниями, мас. %: ВаО 11.97–12.86, SrO 5.44–5.56. Стрональсит выявлен в краевой части зерна банальсита (см. рис. 5б), содержит SrO 8.08 и ВаО 8.18 мас. %. Отличительной чертой этих минералов в Ильменогорском массиве является присутствие лисетитового минала $\text{CaNa}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]_2$, калия и следов железа.

Обсуждение результатов и выводы

Первые находки минералов ряда банальсита–стрональсита были связаны с метаморфическими и изверженными породами с низким содержанием кремнезема: Уэльс, Англия (1944 г.); Швеция (1968 г.), Бирма

Таблица 1
Table 1

Химический состав минералов сандыгита (мас. %)
Chemical composition of minerals from sandyite (wt. %)

Мин. Элементы	Ттм						Срх						Or						Ab						Nph						Ttn						Bns-Stms						Ort					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20 (к)																											
SiO ₂	39.48	38.86	39.10	38.24	50.19	49.04	50.00	50.01	64.86	64.33	68.26	68.13	42.75	43.13	30.29	32.25	39.24	39.81	39.87	40.06																												
TiO ₂	0.88	0.80	0.94	1.16	0.64	0.70	0.88	0.95	-	-	-	-	-	-	34.12	1.23	-	-	-	-																												
Al ₂ O ₃	10.62	11.23	10.70	10.96	4.44	4.43	4.38	4.24	18.19	18.81	19.57	19.59	33.38	34.06	4.14	12.51	30.05	30.23	31.04	31.57																												
FeO	25.74	25.85	25.78	26.52	19.56	20.39	20.57	20.72	-	-	-	0.05	0.11	0.17	1.43	14.42	0.28	0.06	-	0.20																												
MnO	2.18	1.79	2.03	2.13	0.87	0.89	0.99	0.98	-	-	-	-	-	-	-	0.71	-	-	-	-																												
MgO	5.17	5.17	5.24	5.07	4.19	4.29	3.86	3.59	-	-	-	-	-	-	-	0.35	-	-	-	-																												
CaO	7.92	8.18	8.19	8.23	12.26	12.67	12.83	12.93	0.09	0.04	0.09	0.10	0.32	1.19	28.27	8.20	0.41	0.40	0.50	0.48																												
Na ₂ O	3.97	3.92	4.11	3.85	6.97	6.74	5.64	5.93	1.12	1.37	11.53	10.89	16.17	14.86	-	-	9.86	9.81	9.78	10.1																												
K ₂ O	2.00	2.00	2.02	2.03	-	-	-	-	15.13	14.39	0.22	0.78	6.27	6.00	-	-	0.47	0.48	0.42	0.31																												
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.52	-	-	-	-	-	-	12.86	12.51	11.97	8.18																												
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.56	5.44	5.49	8.08																												
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.03	-	-	-	-																												
Ce ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.57	-	-	-	-																												
Сумма	97.96	97.81	98.10	98.18	99.11	99.13	99.15	99.35	99.44	99.46	99.66	99.53	99.01	99.41	99.23	98.12	98.73	98.74	99.07	98.98																												

Si	Кoeffициенты формул					
	1.91	1.92	1.86	1.90	5.95	6.09
Ti	3.01	3.01	2.99	2.99	2.99	2.99
Al	0.99	0.99	1.03	1.03	1.01	1.01
Fe ³⁺	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.10	0.10	0.12	0.12	0.98	0.98
K	0.89	0.89	0.85	0.85	0.01	0.01
Ba	0.00	0.00	0.01	0.01	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-
La	-	-	-	-	-	-
Ce	-	-	-	-	-	-

Примечание. Аналитик В.А. Котляров. 15: Nb₂O₅ 0.86 мас. %; 0.01к. ф. 16: Nd₂O₃ 0.43 мас. %; 0.02 к.ф.; ThO₂ 1.11 мас. %; 0.03 к.ф. Ттм – тарамит, Срх – клинопироксен (эгрин-авгит), Or – ортоклаз, Ab – альбит, Nph – нефелин, Tnt – титанил, Bns-Stms – банальсит-стрональсит (ц – центр; к – край). Прочерк – не обнаружено.
 Note. Analyst V. A. Kotlyarov. 15: Nb₂O₅ 0.86 wt. %; 0.01 f.u. 16: Nd₂O₃ 0.43 wt. %; 0.02 f.u.; ThO₂ 1.11 wt. %; 0.03 f.u. Ттм – taramate, Срх – clinopyroxene (aeprite-augite), Or – orthoclase, Ab – albite, Nph – nepheline, Tnt – titanite, Bns – stromalite, ц and к – centre and margin of the grain, respectively. Dash – not determined.

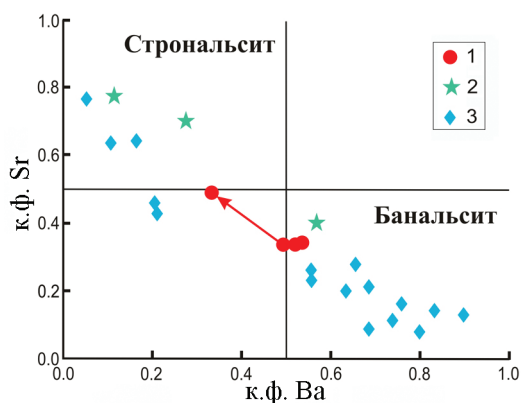


Рис. 6. Составы банальсита–стрональсита из сандыитов ИММ и пород щелочных провинций России.

1 – сандыиты ИММ; 2 – щелочные пироксениты Жидойского массива; 3 – уртиты щелочного комплекса Гремяха-Вырмес.

Fig. 6. Composition of banalsite-stronalsite from sandyites of the Ilmenogorsky miaskite massif and the rocks from alkaline provinces of Russia.

1 – sandyite studied; 2 – alkali pyroxenite of the Zhidoy massif; 3 – urtite of the Gremyakh-Vyrmes alkaline complex.

(1987 г.), Япония (1987). С 1996 г. эти минералы были обнаружены в породах щелочно-ультраосновных комплексов Кольского п-ва и Южной Сибири.

Широкое распространение минералов ряда банальсита–стрональсита исследователи отмечают в фойдитах, испытавших интенсивные постмагматические преобразования. Многочисленные микронзондовые наблюдения позволили сделать выводы о том, что банальсит формируется в позднемагматическую фазу нефелиновых сиенитов, а стрональсит – на стадии замещения нефелина анальцимом и перекристаллизации калиевых полевых шпатов (Лиферович и др., 2005).

Экспериментальные исследования свидетельствуют о широком температурном диапазоне образования минералов ряда банальсит–стрональсит при 250–700 °С и низких давлениях, не превышающих 1 кбар (Прочие аналоги..., 2003).

Сандыиты ИММ являются продуктами метасоматической переработки под влиянием ремобилизации расплава в условиях средней коры (Немов, 2015). Образование минералов ряда банальсита–стрональсита за счёт нефелина связано с наиболее поздними процессами метасоматического преобразования, вероятно под ослабевающим влиянием флюида, возникшего при формировании сдвига в Вишнёвогорско-Ильменогорском полиметаморфи-

ческом комплексе. Не исключено, что параметры этих условий близки к средне-низкотемпературным гидротермальным образованиям, что подтверждается находкой гиалофана и барита в гранат-пироксеновых (низкокремнезёмистых) метасоматитах Осинового мыса в северной части Ильменогорского комплекса (2012 г., наши данные; в работе).

Литература

Ворожук Д.В. Полевые шпаты гранитоидных blastsмилонитов: микроструктурные особенности и вариации химического состава // Ежегодник-2000 ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2001. С. 102–110.

Заварицкий А.Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей // М.: Главн. Упр. по заповедн. 1939. 196 с.

Конева М.Н. Банальсит и стрональсит из пироксенитов Жидойского массива // Зап. ВМО. 1996. № 2. С. 103–105.

Кошевой Ю.Н. История формирования и структурная эволюция ильменогорского комплекса / Дисс....канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1985. 313 с. (фонды ИГЗ).

Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Лепехина Е.В., Медведева Е.В. Цирконология амфиболовых миаскитов Ильменогорского массива (Южный Урал) // Доклады РАН. 2010. Т. 430. № 2. С. 227–231.

Лиферович Р.П., Митчелл Р.Х., Шпаченко А.К., Зозуля Д.Р. Акцессорный минерал нефелиновых сиенитов – твёрдый раствор банальсит–стрональсит // Минералогия во всем пространстве сего слова: Тр. II-ой Ферсм. науч. сессии КО РМО. Апатиты. 2005. С. 54–57.

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

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.

Прочие аналоги полевых шпатов // Минералы: Справочник. Т. 5. Вып. 1. М.: Наука, 2003. С. 567–576.

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

Поступила в редакцию 25 февраля 2016 г