НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ ЭНДОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 549.6

МИНЕРАЛЫ СОДАЛИТ-КАНКРИНИТОВОГО ПЕГМАТИТА В ВИШНЁВОГОРСКОМ МИАСКИТОВОМ МАССИВЕ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Т.П. Нишанбаев¹, М.А. Рассомахин¹, И.А. Блинов², В.И. Попова²

¹Ильменский государственный заповедник, г. Миасс; tursyn@mineralogy.ru ²Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

MINERALS OF SODALITE-CANCRINITE PEGMATITES FROM THE VISHNEVOGORSK MIASKITE MASSIVE, SOUTH URALS

T.P. Nishanbaev¹, M.A. Rassomahin¹, I.A. Blinov², V.I. Popova²

¹Ilmen State Reserve, Miass; tursyn@mineralogy.ru ²Institute of Mineralogy UB RAS, Miass

Жила канкринит-содалитового пегматита была вскрыта на западном склоне горы Кобелихи, в полотне уступа карьера Вишнёвогорского месторождения на Южном Урале. В жиле обнаружены 43 минерала, из них несколько предполагаемых и требуют доизучения. Один из предполагаемых минералов – *каулсит* CaAl₂Si₃O₁₀·6H₂O – на территории Урала ранее диагностирован не был. Сделан вывод о прямой кристаллизации жилы из расплава и последующей её цеолитизации.

Илл. 15. Табл. 6. Библ. 6.

Ключевые слова: канкринит, содалит, хошелагаит, давсонит, цеолиты, Вишнёвые горы, Южный Урал.

A vein of cancrinite-sodalite pegmatite was mined in the western slope of Mount Kobelikha, in the bench bottom of the open pit of the Vishnevogorsk deposit, South Urals. Forty three minerals were found in the vein including several species, which require additional studies. One of the prospective minerals is cowlesite $CaAl_2Si_3O_{10} \cdot 6H_2O$, which has not yet been recorded in the Urals. It is concluded that the vein was directly crystallized from the melt and was further zeolitized.

Figures 15. Tables 6. References 6.

Keywords: cancrinite, sodalite, hochelagaite, dawsonite, zeolites, Vishnevye Mountains, South Urals.

Введение

Вишнёвогорский щелочной массив является северной частью Ильмено-Вишнёвогорского комплекса, расположенного в центральной части Сысертско-Ильменогорского антиклинория на границе Южного и Среднего Урала. Массив субмеридионально вытянут на 25 км при максимальной ширине около 5 км в северной части. Сложен миаскитами, нефелиновыми сиенитами, карбонатитами и фенитами (Левин и др., 1997). В массиве широко развиты пегматиты миаскитового и сиенитового состава, карбонатит-пегматиты и цеолитовые жилы.

Летом 2014 года при экскурсионном посещении Вишнёвогорского нефелин-полевошпатового месторождения, находящегося в северо-западной части Центрального массива миаскитов, на горизонте 480 м карьера Южного участка на склоне г. Кобелихи М.Е. Рассомахиной в миаскитах была найдена содалит-канкринитовая пегматитовая жила с чрезвычайно разнообразной минерализацией. Нами в жиле диагностированы 43 минерала (табл. 1). Несколько минералов требуют определения.

Методы исследования

Первичный просмотр и изучение взаимоотношений минералов в необработанных образцах производилось с помощью бинокулярного микроскопа МБС-2. Для изучения взаимоотношений содалита и канкринита в полостях, заполненных кальци-

Список минералов содалит-канкринитового пегматита

Table 1

List of mineral sodalite-cancrinite pegmatite										
Сульфиды	Оксиды и гидроксиды	Силикаты	Карбонаты	Фосфаты, сульфаты, молибдаты						
Галенит	Гематит	Анальцим	Анкилит-(Се)	Барит						
Марказит	Гётит	Аннит	Давсонит	Монацит-(Се)						
Молибденит	Ильменит	Калишпат	Кальцит	Монацит-(La)						
Пирит	Колумбит-(Fe)	Канкринит	Сидерит	Повеллит						
Пирротин	Магнетит	Каулсит*	Стронцианит	Роценит						
Сфалерит	Нордстрандит	Мусковит		Ссомольнокит						
Халькопирит	Пирохлор	Натролит		Фторапатит						
	Гидроксид Mn	Паранатролит		Целестин						
	Рутил	Содалит								
	Хошелагаит	Торит								
		Циркон								
		Шабазит-(Са)								
		Шамозит								

Примечание: *) первая находка на Урале, требует доизучения.

Note: *) the first finding in the Urals, which requires additional study.

том, кальцит был растворён с помощью трилона-Б (C₁₀H₁₈N₂Na₂O₁₀), в котором растворяется кальцит, но не растворяются содалит и канкринит. Полированные образцы, аншлифы и шлифы изучались на микроскопе Olimpus BX51. Качественный рентгено-флюоресцентный анализ (РФА) состава тяжёлых элементов произведён на Bruker Mistral M1, аналитик М.А. Рассомахин. Аналитические исследования производились в Центре коллективного пользования Института минералогии УрО РАН (г. Миасс). Диагностика минералов, а также определение политипов молибденита и пирротина производилась методом порошковой дифрактографии на приборе ДРОН-2, аналитик П.В. Хворов. Определение химического состава минералов и съёмка изображений в отражённых электронах проведены на электронном микроскопе VEGA3 TESCAN с ЭДС-приставкой, аналитик И.А. Блинов. Дополнительная диагностика цеолитов, а также первичная диагностика мелких зёрен минералов производилась методом КР-спектроскопии на Раман-спектрометре Horiba Jobin Yvon HR с He-Ne лазером (P_{max}= 20 мВт, 1 = 632.8 нм, красный цвет) и микроскопом Olimpus BX41, аналитик С.М. Лебедева.

Строение содалит-канкринитового пегматита

Содалит-канкринитовая крутопадающая пегматитовая жила субмеридионального простирания, дугообразная в плане, залегает в серых массивных двуполевошпатовых миаскитах со слабо выраженной полосчатостью. Положение жилы относительно полосчатости миаскитов секущее. Жила вскрыта на 1.3 м по простиранию и на 0.7 м в глубину. Максимальная мощность в раздуве жилы не превышает 0.3 метра (рис. 1). По простиранию в обе стороны жила выклинивается.

На контакте жила частично отделена от миаскитов биотитовой зоной мощностью до 1 см, переходящей в меланократовый биотитовый миаскит. Отдельные участки жилы контактируют непосредственно с миаскитом. Пегматитовое тело слабо деформировано, наблюдаются следы скольжения по контактовой зоне и трещиноватость минералов.

Пегматит неравномерной зернистости, сложен мелко-, средне-, и крупнозернистым содалит-канкринитовым агрегатом с преобладанием канкринита. В строении жилы просматривается зональность: содалит преобладает в эндоконтакте и на выклинивании пегматитовой жилы. Небольшие изометричные и жилообразные выделения содалита встречены и в центральной части пегматитового тела. Величина индивидов содалита до 3 см, канкринита – более 5 см. Цвет содалита от сероватоголубого до ярко-синего. Канкринит трёх преобладающих цветов: серый, розовый и жёлтый; серый встречается на выклинивании жилы, розовый – по краям жилы, а жёлтый – ближе к осевой линии пегматитовой жилы. Центральная зона жилы более крупнозернистая, чем эндоконтактовая.

В эндоконтакте пегматитовой жилы с миаскитами наблюдаются биотит-полевошпатовые



Puc. 1. Жила содалит–канкринитового пегматита в миаскитах. *Фото:* Т.П. Нишанбаев. *Fig. 1.* Vein of sodalite–cancrinite pegmatite in miaskite. *Photo:* Т.Р. Nishanbaev.



Рис. 2. Текстуры канкринит-содалитового пегматита.

а – «косая» полосчатость полевошпат-биотитового агрегата («сиенита») в содалит-канкринитовом пегматите;
б – брекчиевидная текстура пегматита подчёркивается жилками сиенитового (полевошпат-биотитового) состава.
Полированные образцы.

Fig. 2. Structures of cancrinite-sodalite pegmatite.

a – «oblique» banding of feldspar-biotite aggregate («syenite») in sodalite-cancrinite pegmatite; b – breccia-like structure of pegmatite emphasized by syenite (feldspar-biotite) veins. Polished sample.

(сиенитовые) «струи», ориентированные субпараллельно контакту или под углом к нему в виде извилистой «косой» полосчатости (рис. 2а). Они также облекают крупные индивиды канкринита и содалит-канкринитовые агрегаты, образуя рисунок брекчиевидной текстуры (см. рис. 2б). Сиенитовые агрегаты и «струи» содержат акцессорные пирохлор, циркон, ильменит, апатит, кальцит, сокристаллизовавшиеся с породообразующими минералами сиенитов, а также с канкринитом и содалитом пегматита, т.к. в местах их срастания наблюдаются индукционные поверхности частичного одновременного роста.

Общий текстурный рисунок в сечении жилы создает впечатление реологической деформации, брекчирования, обширных процессов замещения, внедрения и перекристаллизации. Наряду с крупными индивидами канкринита и содалита, в жиле присутствуют тонко-, мелко- и среднезернистые содалит-канкринитовые и полевошпат-биотитовые агрегаты, поликристаллические выделения кальцита, мусковита и сульфидов.

Кристаллизация содалит-канкринитового парагенезиса завершается в разных участках жилы заполнением «остаточных полостей» разными минералами: анальцимом, кальцитом, мусковитом, а также хлорит-цеолитовым агрегатом с включениями рутила, ильменита и мусковита (рис. 3).

Хлорит-цеолитовые агрегаты, помимо кристаллизации в остаточных полостях, широко развиты по трещинам в содалите и в зонах цеолитизации. Цеолитизация происходила вдоль трещин и полос деформации содалита. Узкие пересекающиеся полости растворения содалита выполнены зональными анальцим-натролитовыми прожилками. Кристаллы содалита по периферии частично замещаются натролитом. В крупных полостях образовались радиально-лучистые сростки натролита до 3 см, зернистые агрегаты анальцима (рис. 4) и друзы их кристаллов; отдельные друзы покрыты ко-





Рис. 4. Агрегат содалита (Sdl) с натролитом (Ntr) и анальцимом (Anl) из зоны цеолитизации жилы.

Полированный срез.

Fig. 4. Aggregate of sodalite (Sdl) with natrolite (Ntr) and analcime (Anl) from zeolitized zone of the vein.

Polished slice.

рочками тонкоигольчатых волокнистых агрегатов хошелагаита. Ранее хошелагаит отмечался в жиле № 5 Вишнёвогорского массива в агрегатах шпреуштейна – сходных цеолитовых образованиях, развитых по нефелину в миаскитовом пегматите (Пеков, 2001).

После растворения кальцита в трилоне-Б вскрылись полости с кристаллами канкринита и содалита (рис. 5); отчётливо наблюдаются индукционные поверхности одновременного роста между канкринитом и кальцитом, а также между содалитом и кальцитом. Признаков взаимного замещения между канкринитом и содалитом нами не установлено, нефелин в жиле не обнаружен.

Характеристика минералов жилы

Сульфиды в канкринит-содалитовом пегматите являются первично-магматическими минералами, за исключением марказита, который развивается по пирротину; распространены по всему объёму пегматитового тела, но тяготеют к его контактам. *Рис.* 3. Остаточная полость в содалите (Sdl) выполнена хлорит-цеолитовым агрегатом (Chl), а полости трещин – натролитом (Ntr).

Фото: Т.П. Нишанбаев (а, косое освещение), И.А. Блинов (б, BSE).

Fig. 3. Relict cavity in sodalite (Sdl) filled with chloritezeolite aggregate (Chl) and fractures filled with natrolite (Ntr).

Photo: T.P. Nishanbaev (a, oblique light), I.A. Blinov (b, BSE).



Рис. 5. Кристалл канкринита в содалит-канкринитовой полости.

Фото: Т.П. Нишанбаев.

Fig. 5. Cancrinite crystal in sodalite-cancrinite cavity. *Photo:* T.P. Nishanbaev.

Пирит FeS₂ образует кубические, иногда уплощённые искажённые кристаллы до 3 мм с характерной штриховкой на гранях {100}; редко отмечаются грани форм {111}, {210}. Срастания кристаллов пирита достигают 2 см. Пирит преимущественно встречается в эндоконтакте и на выклинивании жилы в содалите, канкрините, цеолитной массе, наблюдается в срастании с пирротином и магнетитом; частично замещается гётитом. Отмечены индукционные поверхности одновременного роста между пиритом и содалитом. Примесей в пирите не обнаружено (табл. 2, ан. 1).

Пирротин Fe_{1-x}S (моноклинный) встречается трёх морфологических типов: толстотаблитчатые и короткопризматические кристаллы до 3 мм с гранями пинакоида и дипирамиды; длиннопризматические, игольчатые и волосовидные кристаллы (рис. ба); зернистые агрегаты. Игольчатые кристаллы пирротина нередко имеют изгибы и разрывы как будто бы одного индивида. Встречены ориентированные срастания игольчатого пирротина с галенитом (см. рис. 6б). Часто по трещинам пирротин замещается марказитом (см.

Химический состав сульфидов содалит-канкринитового пегматита, мас. %

Table 2

Chemical composition of sulphides from sodalite-cancrinite pegmatite, wt. %

							10 ,
№ ан.	S	Fe	Cu	Zn	Mo	Сумма	Формула
1	52.97	46.87	-	_	_	99.84	$Fe_{1,02}S_2$
2	39.15	61.44	_	_	_	100.59	$Fe_{0.90}^{1.02}S^{2}$
3	39.17	60.03	_	_	_	99.20	$Fe_{0.88}S$
4	34.69	31.12	33.75	_	_	99.56	$Cu_{0.98}^{0.00}Fe_{1.03}S_{2}$
5	33.55	2.79	-	63.76	-	100.10	$Zn_{0.93}Fe_{0.05}S$
6	38.53	_	_	—	60.88	99.41	$Mo_{1.06}S_2$

Примечание: 1 – пирит; 2–3 – пирротин; 4 – халькопирит; 5 – сфалерит; 6 – молибденит. Расчётные формулы на S = 2 (ан. 1, 4, 6); S = 1 (ан. 2, 3, 5).

Note: 1 – pyrite; 2-3 – pyrrhotite; 4 – chalcopyrite; 5 – sphalerite; 6 – molybdenite. Formulas are recalculated to S = 2 (an. 1, 4, 6) and S = 1 (an. 2, 3, 5).



Рис. б. Пирротин (ро) в канкрините.

а – игольчатый кристалл пирротина (косое освещение); б – срастание галенита (gn) с пирротином; в – замещение марказитом (mrc) пирротина по трещинам и кайма магнетита (mag). Отражённый свет, без анализатора. *Фото*: Т.П. Нишанбаев (а, в), И.А. Блинов (б, BSE).

Fig. 6. Pyrrothite (po) in cancrinite.

a – acicular crystal, oblique light; 6 – aggregate of galena (gn) and pyrrhotite; B – replacement of pyrrhotite by marcasite (mrc) along fractures and a magnetite (mag) rim. Reflected light, without analyzer. *Photo:* T.P. Nishanbaev (a, B), I.A. Blinov (6, BSE).

рис. 6в). Для состава пирротина характерно незначительное колебание соотношения железа и серы и отсутствие примесей (см. табл. 2, ан. 2, 3).

Халькопирит $CuFeS_2$ встречается как в парагенезисе с пиритом и пирротином, так и отдельными включениями в сером канкрините и содалите. Вторичные изменения не отмечены. В химическом составе халькопирита примесей не обнаружено (см. табл. 2, ан. 4).

Галенит PbS определён по ЭДС-спектру (Pb, S). Величина его индивидов не превышает 10 мкм, что затрудняет точное определение состава. Встречен только в срастании с «волосовидным» пирротином (см. рис. 6б).

Сфалерит ZnS образует зёрна до 10 мкм, содержит незначительные примеси железа (см. табл. 2, ан. 5).

Молибденит MoS₂ распределён в пегматитовом теле неравномерно, встречается скоплениями в эндоконтакте жилы в содалите, канкрините, в срастании с биотитом, мусковитом, полевым шпатом, монацитом, а также в центральной части жилы в канкрините. Кристаллы молибденита чешуйчатые и таблитчатые, гексагонального вида, величиной до 1.5 см (рис. 7); поверхность грани (0001), как правило, сложно гофрированная. По данным рентгенограммы, структура молибденита соответствует политипу 2Н. Примесей в составе не обнаружено (см. табл. 2, ан. 6). Отмечены индукционные поверхности между молибденитом и канкринитом. Молибденит иногда частично замещается повеллитом.

Марказит FeS₂ образуется в результате замещения пирротина (см. рис. 6в). Диагностирован по рентгенограмме с главными отражениями, d, Å: 2.69, 3.44, 1.76, 2.31.

Оксиды образовались как на магматической стадии образования пегматита (ильменит, колумбит, магнетит, пирохлор), а также встречены в виде структур распада твёрдого раствора канкринита (с выделением гематита) и при цеолитизации пегматита (рутил, хошелагаит).



Рис. 7. Кристалл молибденита в канкрините из центральной части жилы.

Фото: М.А. Рассомахин.

Fig. 7. Molybdenite crystal in cancrinite from the central zone of the vein.

Photo: M.A. Rassomakhin.



Рис. 8. Формы выделения и анатомия кристаллов рутила.

а – двойник рутила анатазового облика в анальциме; б – зонально-секториальное внутреннее строение сдвойникованного кристалла рутила; в – сагенитовая решётка на анальциме. Фото: Т.П. Нишанбаев (а, в), И.А. Блинов (б, BSE).

Fig. 8. Morphology and anatomy of the rutile crystals.

a – anatase-like twin of rutile in analcime; δ – zonal-sectorial internal structure of rutile twin; B – sagenite lattice in analcime. *Photo:* T.P. Nishanbaev (a, b), I.A. Blinov (δ , BSE).

Рутил TiO₂ в кристаллах до 2 мм встречен в натролит-анальцимовом агрегате и в тонкозернистом шамозите в ассоциации с ильменитом, аннитом, мусковитом, цирконом. Сдвойникованные кристаллы рутила имеют псевдодипирамидальный облик и «анатазовую» форму (рис. 8а). Рамановский спектр соответствует эталонному спектру рутила. В сечении кристалла рутила вскрывается зонально-секториальное внутреннее строение с изменчивым содержанием всех химических компонентов (см. рис. 86 и табл. 3). Центральная зона кристалла рутила обогащена ванадием, железом, ниобием и вольфрамом (табл. 3, ан. 1-3). В двух случаях рутил отмечен в виде сагенитовой решетки, образовавшейся между гранью (0001) ильменита и анальцимом (см. рис. 8в).

Ильменит FeTiO₃ встречается в эндоконтакте жилы в содалит-канкринитовых и цеолитовых участках, а также является характерным акцессорным минералом сиенитовых агрегатов и жилок в пегматите в ассоциации с пирохлором, цирконом, апатитом. Облик таблитчатый, развиты грани пинакоида и ромбоэдра. Размер кристаллов до 2 см. Отмечены индукционные поверхности совместного роста с канкринитом и аннитом. Выявлена изменчивость в соотношении основных компонентов и незначительные вариации примесей (см. табл. 3, ан. 4–5).

Магнетит $Fe_{3}O_{4}$ встречается редко в виде октаэдрических кристаллов до 2 мм в содалите. Чаще наблюдается в виде корочек на сульфидах – пирите и пирротине (см. рис. 6в).

Колумбит-(Fe) FeNb₂O₆ диагностирован как единичное мелкое включение в ильмените. В колумбите отмечена примесь WO_3 4.69 мас. % (см. табл. 3, ан. 6).

Светло-коричневые октаэдрические кристаллы минерала группы *пирохлора* размером до 3 мм (предположен по внешним признакам и наличию Nb в спектре РФА, состав его не изучен) распределены в жиле неравномерно – преобладающее количество кристаллов находится в биотит-полевошпатовом агрегате и имеет индукционные поверхности одновременного роста с биотитом и полевым шпатом. Единичные кристаллы встречаются в содали-

Table 3

Химический состав оксидов содалит-канкринитового пегматита, мас. %

№ ан. FeO WO, TiO, V,05 Cr_2O_3 MnO Nb₂O₅ Ta₂O₅ Сумма 92.81 3.05 0.43 2.76 0.26 99.99 1*a* 0.68 94.40 0.97 2b3.27 0.48 0.72 0.16 100.00 3*c* 84.48 4.78 0.34 2.23 7.45 0.72 100.00 3.25 4 53.19 43.55 99.99 5 48.30 2.86 47.77 1.06 99.99 5.30 6 4.55 16.48 68.99 4.69 100.01 Расчётные формулы на O = 2 (ан. 1-3) и O = 3 (ан. 4-6) $Ti_{0.937}V_{0.027}Nb_{0.017}Fe_{0.008}Cr_{0.005}Ta_{0.001}O_2$ 1a $\begin{array}{c} Ti_{0.95} V_{0.03} Fe_{0.008} Nb_{0.006} Cr_{0.005} Ta_{0.001} O_2 \\ Ti_{0.87} Nb_{0.046} V_{0.043} Fe_{0.026} Cr_{0.004} W_{0.003} O_2 \end{array}$ 2b3*c* 4 Fe_{0.92}Mn_{0.07}Ti_{1.01}O₃ 5 Fe_{1.03}Mn_{0.06}Ti_{0.94}Nb_{0.01}O₃ 6 $Fe_{0.77}Mn_{0.25}Nb_{1.75}Ti_{0.19}W_{0.07}O_3$

Chemical composition of oxides from sodalite-cancrinite pegmatite, wt. %

Примечание. 1–3 – рутил (*a*, *b*, *c* см. рис. 86); 4–5 – ильменит; 6 – колумбит-(Fe). Note. 1–3 – rutile, 4–5 – ilmenite, 6 – columbite-(Fe).

те, канкрините, цеолитовых агрегатах. Практически все наблюдаемые кристаллы пирохлора имеют внутреннее зональное строение (до 4-х зон), часто содержат включения биотита и полевого шпата. В отдельных кристаллах пирохлора отмечено метамиктное ядро.

Гематит Fe_2O_3 присутствует как продукт распада твёрдого раствора в канкрините в виде ориентрованных вдоль оси *с* канкринита игольчатых уплощённых пластинок (рис. 9а). Нередко около чешуек гематита в плоскости осей второго порядка наблюдаются гематитовые плоские «облака», состоящие из более мелких кристаллов гематита. Они могут концентрироваться группами в срастании между собой или находиться единичными кристаллами. Ориентировка мелких кристаллов гематита в «облаке» и центрального крупного кристалла одинакова относительно элементов симметрии канкринита. Форма самого облака сохраняет гексагональные очертания и наблюдается только вокруг граней призм кристалла гематита (см. рис. 96).

Другое любопытное явление в канкрините – сферические гематитовые «облака», в которых преобладающее число кристаллов гематита неплотно распределены на воображаемой сферической поверхности. Внутри сфер, в канкрините, могут находиться отдельные более крупные ориентированные шестиугольные чешуйки гематита. В некоторых случаях просматриваются несовершенные объёмные геометрические многогранники. **Гидроксиды и водные оксиды** образуются на цеолитовой стадии (нордстрандит, хошелагаит) и при гипергенном замещении карбонатов и сульфидов (гётит, гидроксид марганца).

Нордстрандит $Al(OH)_3$ встречен в ассоциации с шамозитом, давсонитом, мусковитом, а также в виде порошковатой корочки на кристаллах анальцима. Диагностирован по химическому составу, мас. %: Al_2O_3 58.9; SiO₂ 1.33; FeO 0.28; сумма: 60.51; расчётная формула (на 1 катион) $Al_{0.97}Si_{0.02}Fe_{0.003}(OH)_3$. На рентгенограмме проявлены главные отражения, d, Å: 4.80, 2.40, 2.26.

Хошелагаит $CaNb_4O_{11} \cdot 8H_2O$ образует корочки из тончайших игольчатых кристаллов белого цвета с перламутровым блеском в полостях с натролитом и анальцимом (рис. 10а); диагностирован по ЭДС (Nb, Ca, Ti, O) (см. рис. 10б).

Гётит FeO(OH) развивается по пириту и сидериту (рис. 11). В составе гётита определены, мас. %: FeO 75.7; SiO₂ 2.94; SO₂ 0.38; CaO 0.30; сумма 79.32.

Гидроксид марганца, вероятно, *рансьеит* (Ca,Mn²⁺)Mn⁴⁺₄O₉·3H₂O с составом, мас. %: MnO 58.17; CaO 4.7; BaO 2.03; Al₂O₃ 1.94; FeO 1.55; Na₂O 0.77; MgO 0.73; SiO₂ 0.57; K₂O 0.33; ZnO 0.73; SrO 0.88; сумма 72.40 – образует агрегатные псевдоморфозы с гётитом по ромбоэдрическим кристаллам Mn-содержащего сидерита (рис. 11).

Силикаты слагают основной объём пегматита. Около половины минеральных видов являются первичными магматическими, другая половина – характерна для зон цеолитизации.





Канкринит $(Na,Ca)_{8}(Al_{6}Si_{6})O_{24}(CO_{3},SO_{4})_{2}\cdot 2H_{2}O$ слагает основную массу пегматитовой жилы и занимает не менее 70 % её объёма. По характеру распределения цветовых разновидностей канкринита в пегматитовом теле можно предположить, что кристаллизация канкринита во времени была направленной: серый — розовый — жёлтый. Серый канкринит окрашен продуктами распада твёрдого раствора (гематитом и биотитом). Серый и розовый канкринит различаются по химическому составу – розовый канкринит содержит примеси SO₃ (табл. 4, ан. 1–2). Отмечены индукционные поверхности совместного роста канкринита с кальцитом, аннитом, цирконом, пирохлором, молибденитом, ильменитом. Отчётливых «классических» поверхностей совместного роста канкринита с содалитом не наблюдалось по причине трудного разделения минералов, но приведённые наблюдения их совместного нахождения в друзовых полостях свидетельствуют об их совместном росте.

Содалит Na₄Al₃Si₃O₁₂Cl – второй по объёму минерал в пегматите. В краевых участках и на выклинивании жила преимущественно выполнена содалитом (рис. 12а). В экзоконтакте жилы в миаскитах отмечена апофиза канкринит-содалитового прожилка (см. рис. 12б). В пегматитовом теле содалит наблюдается преимущественно в приконтактовой зоне и осевой части жилы. Отмечены признаки

МИНЕРАЛОГИЯ № 3 2016

Рис. 9. Включения пластинок биотита и гематита (а) в сером канкрините и гематитовое «облако» вокруг кристалла гематита (б).

Фото: Т.П. Нишанбаев (косое освещение).

Fig. 9. Inclusion of biotite and hematite (a) in gray cancrinite and hematite «cloud» around hematite crystal (6).

Photo: T.P. Nishanbaev (oblique light).

Рис. 10. Пучки иголок хошелагаита (а, СЭМфото) и ЭДС (б).

Fig. 10. Radial aggregates of acicular hochelagaite (a, SEM-photo) and EDS (6).

растворения и регенерации содалита. В полостях, заполненных кальцитом, хлоритом и цеолитами, встречаются кристаллы содалита, иногда зональные. Химический состав близок стандартному, содержание хлора повышенное (см. табл. 4, ан. 3).

KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH)₂ Мусковит встречается редко, двух морфологических типов: 1) скопления кристаллов размером до 3 мм в среднезернистых участках пегматита в ассоциации с содалитом, канкринитом, сульфидами и магнетитом; 2) в канкринитовых участках ближе к осевой линии жилы в виде мономинеральных тонкозернистых скоплений, заполняющих остаточные полости. В первом типе кристаллы мусковита от таблитчатого до короткопризматического облика, бесцветные и прозрачные, иногда футляровидного строения. Часто содержат включения других минералов. В химическом составе мусковита определена небольшая примесь железа и магния и отсутствие натрия.

Аннит K(Fe²⁺,Mg)₃(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂ – второстепенный минерал пегматитовой жилы. Слагает участками, как отмечалось, оторочку жилы, входит в состав «сиенитовых» агрегатов на контакте и внутри жилы, а также скоплениями агрегатов и отдельными кристаллами находится в содалите и канкрините. Имеет индукционные поверхности одновременного роста с указанными минералами. Химический со-

Химический состав силикатов содалит-канкринитового пегматита, мас. %

Table 4

	Chemical composition of silicates from sodalite-cancrinite pegmatite, wt. %												
№ ан.	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	MgO	CaO	SrO	BaO	FeO	MnO	Н ₂ О _{расч}	Сумма
1*	13.11	_	29.27	37.28	_	_	7.09	_	_	_	_	3.38	98.39
2*	13.09	_	29.99	37.70	_	_	6.15			_	_	3.41	99.39
3*	24.97	_	31.86	35.20	_	-	_	—	-	-	-	-	100.00
4	0.18	9.12	15.38	32.84	3.74	4.74	_	—	-	28.71	0.35	3.70	98.76
5	1.33	14.35	18.59	65.12	_	-	_	—	-	-	-	_	99.39
6 <i>c</i>	13.00	_	26.08	48.43	_	_	_	_	_	-	_	9.33	96.84
7 <i>d</i>	10.28	0.32	27.55	43.19	_	_	1.25	1.52	_	-	_	13.27	97.38
8e	7.28	_	27.38	43.02	_	_	6.07	1.16	_	-	_	13.38	98.29
9	12.93	_	23.12	56.13	_	-	_	—	-	-	-	8.27	100.45
10	0.22	1.20	20.45	33.43	_	-	6.55	7.27	0.21	0.38	-	17.34	87.05
11	0.21	1.30	20.53	33.47	_	-	6.53	7.17	0.14	0.24	-	17.34	86.93
12	0.17	1.27	20.32	34.31	—	_	7.12	7.55	0.32	0.71	_	17.73	89.50
					Pa	асчётные	е формул	ы					
1	(Na _{4.51} C	Ca _{1.35})(Al	$_{6.12}$ Si _{6.61})C	$O_{24}(CO_3)_2$.00 ·2H ₂ O								
2	(Na _{4.46} C	$Ca_{1.16})(Al)$	6.22 Si _{6.64})C	$O_{24}(CO_3)_1$	$(SO_4)_{0.78}$	$_{22} \cdot 2H_2O$							
3	Na _{3.99} A	l _{3.10} Si _{2.90} G	$D_{12}Cl_{1.11}$										
4	$K_{0.96}Na_{0.03}(Fe^{2+}_{1.97}Mg_{0.58}Ti_{0.23}Mn_{0.02})_{2.80}(Si_{2.70}Al_{1.49})O_{10}(OH)_{2}$												
5	$K_{0.84}Na_{0.12}(Al_{1.01}Si_{3.00}O_{8.00})$												
6 <i>c</i>	$Na_{1.62}Si_{3.11}Al_{1.98}O_{10} \cdot 2H_2O$												
7 <i>d</i>	Na _{1.35} C	$a_{0.09} Sr_{0.06}$	$K_{0.03}Al_{2.20}$	Si _{2.93} O ₁₀ .	$3 H_2 O$								
8e	Na _{0.95} C	$a_{0.44}Sr_{0.05}$	Al _{2.17} Si _{2.89}	$O_{10} \cdot 3H_2$	0								
9	Na _{0.91} (A	Al _{0.99} Si _{2.03}	$O_6) \cdot H_2 O_6$)									
10	$Ca_{0.73}Sr_{0.44}K_{0.16}Na_{0.04}Fe_{0.03}Ba_{0.01}(Al_{2.50}Si_{3.47})O_{12} \cdot 6H_2O$												

 $\begin{array}{c} 10 \\ 11 \\ Ca_{0.73}r_{0.44} - 0.16 \\ 0.04 \\ 0.03 \\ 0.03 \\ 0.01 \\ - 2.50 \\ - 3.47 \\ 0.12 \\ 0.1$

12 $Ca_{0.77}Sr_{0.44}K_{0.16}Na_{0.03}Fe_{0.06}Ba_{0.01}(Al_{2.43}Si_{3.48})O_{12} \cdot 6H_2O$

Примечание. 1* – серый канкринит (в сумму включено CO₂ 8.26_{расч}); 2* – розовый канкринит (в сумму включены SO₃ 1.63; CO₂ 7.42_{расч}); 3* – содалит (Cl 7.97); 4 – аннит; 5 – калишпат; 6 – натролит; 7, 8 – паранатролит; 9 – анальцим; 10–12 – шабазит и каулсит. Буквы – участки анализа (рис. 13б). Формулы рассчитаны на сумму зарядов = 52 (ан. 1, 2), 22 (ан. 4), 16 (ан. 5), 20 (ан. 6–8), 12 (ан. 9), 24 (ан. 10–12) и на 12 О с поправкой на –O = Cl₂ (ан. 3).

Note: An. 1 – gray cancrinite (CO₂ $8.26_{calc.}$); 2 – pink cancrinite; 3 – sodalite; 4 – annite; 5 – K-feldspar; 6 – natrolite; 7, 8 – paranatrolite; 9 – analcime; 10–11 – chabazite and cowlesite. Letters – areas of analysis (Fig. 136). Formulas are recalculated to the charge sum of 52 (an.1, 2), 22 (an. 4), 16 (an. 5), 20 (an. 6–8), 12 (an. 9), 24 (an. 10–12) and 12 O with correction for $-O = Cl_2$ (an. 3).



Puc. 11. Гидроксид марганца (j) и гётит (i) по сидериту. BSE-фото: И.А. Блинов. *Fig. 11.* Manganese hydroxide (j) and goethite (i) after siderite. BSE-photo: I.A. Blinov.



Рис. 12. Фрагмент жилы из участка выклинивания (а) и содалитовый прожилок в миаските (б). Φ *omo:* Т.П. Нишанбаев.

Fig. 12. Fragment of vein from pinch out (a) and sodalite veinlet in miaskite (6). *Photo:* T.P. Nishanbaev.

став характеризуется высокой магнезиальностью и примесью TiO, до 4 мас. % (см. табл. 4, ан. 4).

Калишпат K(AlSi₃O₈) в содалит-канринитовом парагенезисе встречен в виде единичного зерна в полости с кристаллами натролита, позднее заполненной хлорит-цеолитовым агрегатом. Кристаллическая структура не изучена. Отмечена примесь натрия 0.12 ф.е. (см. табл. 4, ан. 5). Полевые шпаты «сиенитовых струй» не изучены.

Шамозит $(Fe^{2+},Mg,Fe^{3+})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH,O)_8$ встречен в виде скоплений червеобразных и радиально-лучистых выделений в ассоциации с цеолитами. В составе шамозита содержание MgO достигает 5.54 мас. % и присутствует незначительная примесь титана.

Натролит Na₂Al₂Si₃O₁₀ · 2H₂O находится в ассоциации с анальцимом в прожилках в содалите, образует друзы кристаллов и радиально-лучистые агрегаты в мелких пустотах (рис. 13а). Габитус его от призматического до длиннопризматического; размер кристаллов до 7 мм в длину. Внешняя зона кристаллов сложена *паранатролитом* Na₂Al₂Si₃O₁₀ · 3H₂O (см. рис. 13б), образующим пористую оторочку на кристаллах натролита, вероятно, при смене условий минералообразования. Химический состав натролита и паранатролита нестехиометричен, сумма низкая, для паранатролита характерны примеси СаО до 6 мас. % и SrO до 1.5 мас.% (см. табл. 4, ан. 6–8).

Анальцим $Na(AlSi_2O_6) \cdot H_2O$ встречается в обогащённых содалитом участках и в ассоциации с натролитом заполняет пустоты растворения в содалите, образуя друзы белых полупрозрачных кристаллов до 1 см в форме тетрагонтриоктаэдра и комбинации его с кубом (см. рис. 13в). Примеси в химическом составе анальцима не выявлены (см. табл. 4, ан. 9). Шабазит-Са Ca(Al₂Si₄)O₁₂· 6H₂O предположен в сростке пластинчатых кристаллов в давсоните. Отдельные участки сростка по KP-спектру были близки каулситу Ca(Al₂Si₃)O₁₀·5–6H₂O, другие – шабазиту. На BSE-снимке участка образца видимых границ зёрен не было, химические составы различных участков сходны, имеют низкую сумму и не соответствуют стехиометричным составам этих минералов, что может быть связано с пористостью и тонким взаимным прорастанием шабазита и каулсита (см. табл. 4, ан. 10–12). Ранее каулсит в Вишнёвых горах и на Урале не был известен (Кобяшев, 2007), но диагностику его нельзя считать достоверной.

Циркон ZrSiO₄ в виде призматических кристаллов и округлых индивидов до 5 мм жёлтого и жёлто-медового цвета встречается в краевой части жилы в биотит-полевошпатовом агрегате вместе с ильменитом, пирохлором, апатитом; редок в содалите и канкрините. Отмечены индукционные поверхности одновременного роста циркона с содалитом. Внутреннее строение неоднородное пятнистое, с незначительными колебаниями примеси HfO_2 (0.5–0.6 мас. %) и ThO_2 (от ниже предела обнаружения до 0.35 мас. %). Химический состав наиболее обогащённого примесями участка, мас. %: SiO₂ 32.24; ZrO₂ 66.80; HfO₂ 0.60; ThO₂ 0.35; сумма 99.99.

Торит ThSiO_4 обнаружен в виде единичного включения в цирконе размером менее 10 мкм; диагностирован по ЭДС-спектру Th, Si, O.

Карбонаты в пегматите являются первичными минералами, образующими зёрна в массе содалита и канкринита и выполняющими остаточные полости с кристаллами содалита и канкринита. Кальцит, помимо первичного, встречается в виде поздних скаленоэдрических кристаллов, образующих щётки в полостях растворения неизвестного минерала.



Рис. 13. Минералы из полостей зоны цеолитизации.

а – натролит; б – сечение кристалла натролита с корочкой паранатролита (с-е – точки анализа); в – форма кристалла анальцима. *Фото*: М.А. Рассомахин (а), И.А. Блинов (б, BSE); *чертёж*: В.А. Попов.

Fig. 13. Minerals from cavities of the zeolitized zone.

a – natrolite; 6 – section of natrolite crystal with paranatrolite crust (c–e – points of analysis); B – morphology of analcime crystal. *Photo:* M.A. Rassomakhin (a), I.A. Blinov (6, BSE); *sketch:* V.A. Popov.

Ранее эти карбонаты в Вишнёвогорском массиве описывались разными исследователями (см. свод-ку: Попова и др. 2015).

Кальцит CaCO₃ распределён в незначительном количестве по всему объёму жилы в виде монокристальных неогранённых индивидов до 1 см и агрегатов до 3 см, заполняет полости с кристаллами содалита и канкринита. В отдельных зёрнах кальцита присутствуют продукты распада твёрдого раствора – карбонат редких земель и стронция, вероятно, анкилит. Более поздний кальцит встречен в виде идиоморфных мелких бесцветных скаленоэдрических кристаллов в полостях растворения минералов. Содержания Мп, Fe, и Sr изменяются незначительно (табл. 5, ан. 1–2). Поздний кальцит не изучался.

Сидерит FeCO₃ встречается преимущественно в эндоконтакте жилы в участках, обогащённых аннитом, ильменитом, содалитом, кальцитом, анальцимом, а также в остаточных пустотах, заполненных хлоритом. Встречается в виде ромбоэдрических кристаллов до 3 мм, часто замещённых гётитом и гидроксидом марганца. Цвет неизменённого сидерита желтовато-коричневый. Сидерит в виде включений размером 5–10 мкм отмечен в кальците. В составе присутствуют значительные количества Mg и Mn, мало Ca (см. табл. 5, ан. 3).

Стронцианит $SrCO_3$ встречен в виде мелких включений до 50 мкм в кальците, а также находится в тесном парагенезисе с сидеритом. В химическом составе стронцианита присутствует незначительная примесь Ca (см. табл. 5, ан. 4).

Анкилит-Ce Sr(Ce,La)(CO₃)₂(OH) · H₂O обнаружен в жиле как в виде продуктов распада твёрдого раствора в кальците, так и в парагенезисе с монацитом (рис. 14), шабазитом и давсонитом в виде мелких индивидов до 50 мкм. Химический состав, мас. %: CaO 2.44; SrO 20.82; La₂O₃ 14.20; Ce₂O₃ 21.50; Pr₂O₃ 1.16; Nd₂O₃ 3.89; ThO₂ 3.57; CO₂ 22.67_{расч}; H₂O 6.96 расч.; сумма 97.21; расчётная формула на сумму зарядов Sr, Ca, REE, Th = 5: Sr_{0.78}Ca_{0.17}(Ce_{0.51}La_{0.34} Nd_{0.09}Th_{0.05}Pr_{0.03})(CO₃)₂(OH) · H₂O.

Давсонит NaAlCO₃(OH), найден в приконтактовой части пегматита в виде отдельных удлинённых зёрен до 4 мм в ассоциации с канкринитом, содалитом, иногда с анкилитом, шабазитом, каулситом. Давсонит часто ошибочно принимается за прозрачный канкринит, но отличается от него более совершенной спайностью и шелковистым отливом на сколе вдоль спайности. Ранее давсонит в Вишнёвогорском массиве отмечался в карбонатитах зоны 147 в виде мелких включений в натролите (Попов, 2008). В частичном анализе давсонита определены, мас. %: Na₂O 10.61; Al₂O₂ 37.13; сумма 47.74; характерной особенностью давсонита является «выгорание» натрия в пучке электронов (при увеличении экспозиции содержание натрия снижается).

Фосфаты в пегматите образуются на ранних стадиях магматического процесса и тяготеют к приконтактовым зонам, сохраняются неизменными при замещении содалита цеолитами.

Монацит-(Ce) CePO₄ и монацит-(La) LaPO₄ нередки в пегматитовой жиле, преимущественно в приконтактовой её зоне. Цвет монацита медово-жёлтый, лимонно-жёлтый, жёлто-коричневый. В виде кристаллов они встречаются крайне редко, обычны зёрна сложной формы величиной до 8 мм в ассоциации с содалитом, канкринитом, аннитом, кальцитом, ильменитом, анкилитом (см. рис. 14а) и поздними анальцимом и натролитом, проявлен-

Table 5

Химический состав карбонатов содалит-канкринитового пегматита, мас. %

Chemieur composition of europhates nom souurie cunerinte peginatie, va vo											
№ ан.	CaO	MgO	MnO	FeO	SrO	*CO ₂	Сумма	Расчётная формула			
1	50.47	—	1.84	1.12	2.03	42.30	97.76	$Ca_{0.94}Mn_{0.03}Sr_{0.02}Fe_{0.02}(CO_3)_{1.00}$			
2	52.46	_	2	0.32	_	42.60	97.38	$Ca_{0.97}Mn_{0.03}Fe_{0.005}(CO_3)_{1.00}$			
3	2.06	6.58	10.37	41.08	_	40.40	100.49	$Fe_{0.62}Mg_{0.18}Mn_{0.16}Ca_{0.04}(CO_3)_{1.00}$			
4	4.16	—	_	—	64.01	30.45	98.62	Sr _{0.89} Ca _{0.11} (CO ₃) _{1.00}			

Chemical composition of carbonates from sodalite-cancrinite pegmatite, wt. %

Примечание. 1–2 – кальцит; 3 – сидерит; 4 – стронцианит. Формулы рассчитаны на сумму зарядов = 2. *)CO₂ рассчитано по стехиометрии.

Note. 1-3 – calcite, 4 – siderite, 5 – strontianite. Formulas are recalculated to the charge sum of 2. *) CO₂ content is calculated by the stoichiometry.



Рис. 14. Формы выделений анкилита.

а – анкилит-(Ce) (Anc) на контакте с монацитом-(Ce,La) (Mnz) в агрегате с ильменитом (Ilm), рутилом (Rt) и цеолитами (Zeo); б – пластинки анкилита (?) в кальците; в – ЭДС пластинок анкилита (?); а, б – BSE-фото: И.А. Блинов.

Fig. 14. Morphology of ancylite.

a – ancylite-(Ce) (Anc) at the contact with monazite-(Ce,La) (Mnz) in aggregate of ilmenite (Ilm), rutile (Rt) and zeolites (Zeo); 6 – plate of ancylite (?) in calcite; B – EDS of ancylite (?) plates; a, 6 – BSE-*photo*: I.A. Blinov.

ных в приконтактовой зоне жилы и на её выклинивании. В составе монацита содержания La и Ce примерно равны с незначительным преобладанием La, в большей части анализов, в отличие от составов монацитов из щелочного комплекса Вишнёвых гор, для которых характерен выраженный цериевый максимум (Еськова и др., 1964). Также нами были проанализированы участки и с преобладанием Ce (табл. 6).

Фторапатит $Ca_5(PO_4)_3F$ образует короткостолбчатые кристаллы призматического габитуса, ограниченные пинакоидом, призмой и дипирамидами. Цвет светло-зелёный, размер до 5 мм. Химический состав, мас. %: CaO 53.59; SrO 1.48; P_2O_5 40.74; F 4.01; сумма 99.82; расчётная формула $Ca_{4.99}Sr_{0.07}(PO_4)_{3.00}F_{1.10}$ (на P = 3).

Сульфаты и молибдаты (роценит, ссомольнокит, повеллит) образуются при замещении сульфидов; барит и целестин встречаются в виде мельчайших зёрен, образовавшихся, вероятно, из поровых растворов, обогащённых барием и стронцием. Повеллит CaMoO₄ образует неполные псевдоморфозы по молибдениту (рис. 15). Химический состав, мас. %: CaO 28.39; MoO₃ 70.89; SrO 0.80; сумма 100.08; расчётная формула Ca_{1.02}Sr_{0.02}Mo_{0.99}O₄ (на O = 4).

Барит $BaSO_4$ и целестин $SrSO_4$ образуют мельчайшие зёрна в цеолитной массе, вероятно, являются гипергенными минералами. В составе барита определены (мас. %): BaO 62.12; SrO 2.23; SO_3 35.48; сумма 99.83; расчётная формула (на S = 1) $Ba_{0.91}Sr_{0.05}SO_4$. Состав целестина (мас. %): SrO 51.89; BaO 4.98; CaO 0.19; SO_3 42.94; сумма 100.00; эмпирическая формула $Sr_{0.93}Ba_{0.06}Ca_{0.06}SO_4$.

Роценит $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ и ссомольнокит $FeSO_4 \cdot H_2O$ определены рентгеноструктурным анализом, образуются в поверхностных условиях на разлагающихся сульфидах – пирите, пирротине, марказите. Повторно образовались на образцах уже при их хранении. В зависимости от температуры и влажности среды возможна различная степень гидратированности сульфатов железа.

Таблица б

Chemical composition of monazite, wt. %											
№ ан.	SiO ₂	P ₂ O ₅	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	ThO ₂	Сумма	Расчётная формула (на O = 4)		
1	0.38	29.43	33.78	31.22	3.46	_	1.73	100.00	$(La_{0.49}Ce_{0.45}Nd_{0.05}Th_{0.02})P_{0.98}Si_{0.02}O_4$		
2	_	30.55	27.77	34.84	5.29	1.55	-	100.00	$(Ce_{0.50}La_{0.40}Nd_{0.07}Pr_{0.02})P_{1.01}O_4$		
3	0.28	30.80	33.10	32.59	3.23	_	0.54	100.54	$(La_{0.47}Ce_{0.46}Nd_{0.04}Th_{0.005})P_{1.00}Si_{0.01}O_4$		



Заключение

Исследованная содалит-канкринитовая пегматитовая жила является весьма экзотической нахолкой – в ней обнаружены 43 минерала, из них два – шабазит-(Са) и каулсит требуют доизучения. Каулсит на территории Урала ранее не отмечался. Эту жилу от ранее известных жил с содалитом и канкринитом отличает отсутствие нефелина и разнообразие минерального состава. Наверное, впервые показаны признаки синхронной кристаллизации содалита, канкринита и кальцита в Ильмено-Вишнёвогорском щелочном комплексе. Предполагается сингенетичность образования сиенитовых агрегатов с минерализацией в жильном теле, как один из актов формирования содалит-канкринитового пегматита. Сделан вывод о прямой кристаллизации жилы из расплава и последующей её цеолитизации.

Авторы выражают благодарность генеральному директору ОАО «Вишнёвогорский горнообогатительный комбинат» Г. Н. Конькову за помощь в организации экскурсии в карьер, а также П.В. Хворову и С.М. Лебедевой – за рентгеновские и КР-спектроскопические исследования, В.А. Попову – за ценные методические указания, измерение и чертёж кристалла анальцима.

Исследования проведены по темам №: ГР 115100510018 ИГЗ и ГР № 01201374594 ИМин УрО РАН. *Рис. 15.* Частичная псевдоморфоза повеллита (*белое*) по кристаллу молибденита (*серое*).

Фото: М.А. Рассомахин.

Fig. 15. Partial pseudomorphosis of povellite (*white*) after molybdenite crystal (*gray*).

Photo: M.A. Rassomakhin.

Литература

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М.: Наука. 1964. 319 с.

Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н. Минералы Урала (минеральные виды и разновидности). Екатеринбург: Изд-во КВАДРАТ, 2007. 312 с.

Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселёв А.П. Щёлочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 272 с.

Пеков И.В. Хошелагаит из Вишнёвых гор – первая находка на Урале // Уральский геологический журнал. 2001. № 4(22). С. 109–110.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. Нодулярные карбонатиты Вишнёвых гор // Девятые Всероссийские научные чтения имени ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 19–23.

Попова В.И., Попов В.А., Никандров С.Н., Чурин Е.И., Блинов И.А., Хворов П.В. Карбонаты Вишнёвогорского Zr-Nb-месторождения (Южный Урал) // Минералогия. 2015. № 4. С. 91–102.

Поступила в редакцию: 18 августа 2016 г.

Химический состав монацита, мас. %

Table 6