

УДК 549.753.11(470.55)

DOI:10.35597/2313-545X-2019-5-3-11-15

**ОБ АПАТИТЕ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД ВИШНЕВОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА,  
ЮЖНЫЙ УРАЛ****В.А. Попов***Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии,  
г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru***APATITE OF ALKALINE ROCKS OF THE VISHNEVOGORSKY COMPLEX,  
SOUTH URALS****V.A. Popov***South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy,  
Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru*

Апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  – широко распространенный акцессорный минерал щелочных пород Вишнёвых гор на Урале. Здесь встречаются небольшие тела карбонатитов и слюдитов, где апатит является породообразующим минералом. В породах преимущественно развит фторапатит, иногда переходящий в апатит-(CaOH). Хлорсодержащие разновидности редки. Апатит обогащен  $\text{Na}_2\text{O}$  (до 1.77 мас. %),  $\text{REE}_2\text{O}_3$  (до 6.98 мас. %) и  $\text{SrO}$  (до 3.63 мас. %), иногда часть P заменена S (до 2.38 мас. %  $\text{SO}_3$ ).

Илл. 4. Табл. 1. Библ. 4.

*Ключевые слова:* апатит, щелочной комплекс пород, Южный Урал.

Apatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  is a widespread accessory mineral of alkaline rocks of the Vishnevy Mountains in the Urals. There are small bodies of carbonatites and micaceous rocks, where apatite is a rock-forming mineral. The rocks mostly contain fluorapatite and, locally, apatite-(CaOH). The Cl-bearing apatite is rare. Apatite is enriched in  $\text{Na}_2\text{O}$  (up to 1.77 wt. %),  $\text{REE}_2\text{O}_3$  (up to 6.98 wt. %) and  $\text{SrO}$  (up to 3.63 wt. %), locally, P substitutes by S (up to 2.38 wt. %  $\text{SO}_3$ ).

Figures 4. Tables 1. References 4.

*Key words:* apatite, alkaline rock complex, South Urals.**Введение**

Обзоры ранних данных по апатиту Вишнёвых гор сделаны Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951), Е.М. Еськовой с соавторами (1964), Б.М. Роненсоном (1966) и В.Я. Левиным с соавторами (1997). Из этих публикаций следует широкая распространенность апатита как акцессорного минерала практически во всех магматических породах комплекса, пегматитах и метасоматитах. Изредка встречаются небольшие минеральные тела, где апатит играет роль породообразующего минерала совместно с биотитом и полевыми шпатами.

«Апатит присутствует во всех породах щелочного комплекса. ... Все разновидности апати-

та содержат много фтора (2.5–3.3 мас. %), окиси стронция относительно мало (0.15–0.85 мас. %), хлора (0.35 мас. %), серного ангидрида из биотит-кальцитовой породы (0.25 мас. %), воды (0.42 мас. %) – в апатите из пегматита. Максимум редких земель (2.42 мас. %), окиси марганца (0.39 мас. %) и натрия (0.61 мас. %) обнаружен в апатитах из альбитизированных пироксеновых фенитов. По данным А.Г. Жабина и Н.В. Свяжина (1962), в апатите на границе монацита и ортита в редкоземельных прожилках содержится сумма редких земель до 5.33 мас. %» (Роненсон, 1966). Э.М. Бонштедт-Куплетская (1951) считает апатит характерным минералом для пневматолитовой фазы миасситовых

пегматитов (жилы 5 и 30). Спутниками апатита повсеместно являются ильменит, циркон и пироклор. В зальбандах кальцитовых жил апатит образует многочисленные кристаллы с округлыми поверхностями (Бонштедт-Куплетская, 1951).

Наиболее подробное описание апатита из щелочных пород Вишнёвых гор представлено в специальной монографии (Еськова и др., 1964). Авторы также отнесли апатит к постмагматическому этапу минералообразования, где он наиболее тесно связан с карбонатными породами. В «альбититах» он редок, а в цеолитовых жилах авторами книги не обнаружен. По их данным среднее содержание апатита в биотитовых сиенитах составляет 0.06 %, в миаскитах – 0.15 %, а в пироксен-микроклиновых фенитах – 0.70 %. Ассоциирующие с апатитом акцессорные и породообразующие минералы образуют с ним тесные срастания. В карбонатных породах апатит является типоморфным минералом. Содержание его в кальцитовых жилах неравномерное: от практического отсутствия до 15–20 %. Часто встречаются апатит-кальцитовые и кальцит-apatитовые жилы с биотитом и пироклором. Апатит участвует в строении монацит-apatит-ортитовых овоидов в некоторых пегматитах (Еськова и др., 1964). Девять опубликованных в этой монографии анализов характеризуют апатит из силикатных пород, пегматитов и карбонатитов. Существенные различия наблюдаются в содержании РЗЭ и Sr. Максимальные содержания РЗЭ установлены в апатите из щелочных сиенитов и фенитов, минимальное – в апатите из миаскитов Центрального массива. В апатите из амфиболитов РЗЭ не обнаружены.

По содержанию РЗЭ апатит щелочных пегматитов (0.6–0.8 %  $\text{REE}_2\text{O}_3$ ) близок к апатиту материнских миаскитов (0.84 %  $\text{REE}_2\text{O}_3$ ). Они более богаты Sr (0.813–1.05 % по сравнению с 0.02–0.13 % в миаскитах). В карбонатных породах апатит содержит несколько больше Sr (0.16–0.82 % SrO), чем апатит из щелочных карбонатных пород (Еськова и др., 1964).

В составе РЗЭ в апатите преобладал Ce. Только в апатите из монацит-apatит-ортитовых овоидов пегматитовых жил отмечалось относительное обогащение лантаном. В 1956 г. в Вишнёвых горах Е.И. Семёновым обнаружен карбонат-apatит (штаффелит) как гипергенный минерал (Еськова и др., 1964).

### Новые данные о минералах группы апатита Вишнёвых гор

В процессе ревизионных минералогических исследований последних лет апатит наблюдался в разных парагенезисах пегматитовых тел (рис. 1), но химический состав установлен только для мелких кристаллов в связи с изучением РЗЭ минералов. Форма кристаллов апатита наблюдалась редко; установлены следующие габитусные формы:  $\{10\bar{1}0\}$ ,  $\{0001\}$ ,  $\{01\bar{1}1\}$ ,  $\{01\bar{1}2\}$ ,  $\{11\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}0\}$  (рис. 2). У нетрещиноватых кристаллов преобладает зеленоватый или желтоватый цвет, встречаются бесцветные кристаллы или белые (мутные). В некоторых пластически деформированных телах пегматитов наблюдались рекристаллизованные крупные выделения апатитов, превращенные в агрегаты мелких полиэдров (рис. 3), подобно рекристаллизованным кальцитам.

Новые данные химического состава апатита из разных пород в северной части Вишневогорского комплекса выявили следующие общие особенности, частично подтверждающие заключения предшественников (Роненсон, 1966; и др.), а частично – показывающие более широкие вариации состава (таблица). Так, в составе апатита почти не обнаруживается Cl, а содержания F сильно варьируют. Вариации содержаний F и других элементов иногда видны даже в одном кристалле (табл., обр. 17-7, обр. 17-7а; рис. 4, на рис. обр. 17-7а). Содержание SrO достигает 3.63 мас. %, часто присутствует  $\text{Na}_2\text{O}$  (до 1.77 мас. %), зафиксировано присутствие  $\text{SO}_3$  (до 2.38 мас. %), сильно варьирует содержание РЗЭ при преобладании Ce (таблица). Сумма  $\text{REE}_2\text{O}_3$  (6.98 мас. %, табл., обр. 17-7а) является наиболее высокой из известных анализов на объектах Вишнёвых гор.

В процессе изучения химического состава установлена неоднородность кристаллов апатита и их зонально-секториальное строение (рис. 4), что характерно и для всех других минералов. Отличие состава разных элементов анатомии бывает контрастным или чуть заметным (таблица).

Во всех парагенезисах индивиды апатита образовались одновременно или частично одновременно с породообразующими минералами и с другими акцессорными минералами. Метакристаллы апатита не наблюдались. Псевдоморфозы апатита по другим минералам также не обнаружены. Нет данных об увеличении количества апатита в метасоматитах при фенитизации. Поэтому относить



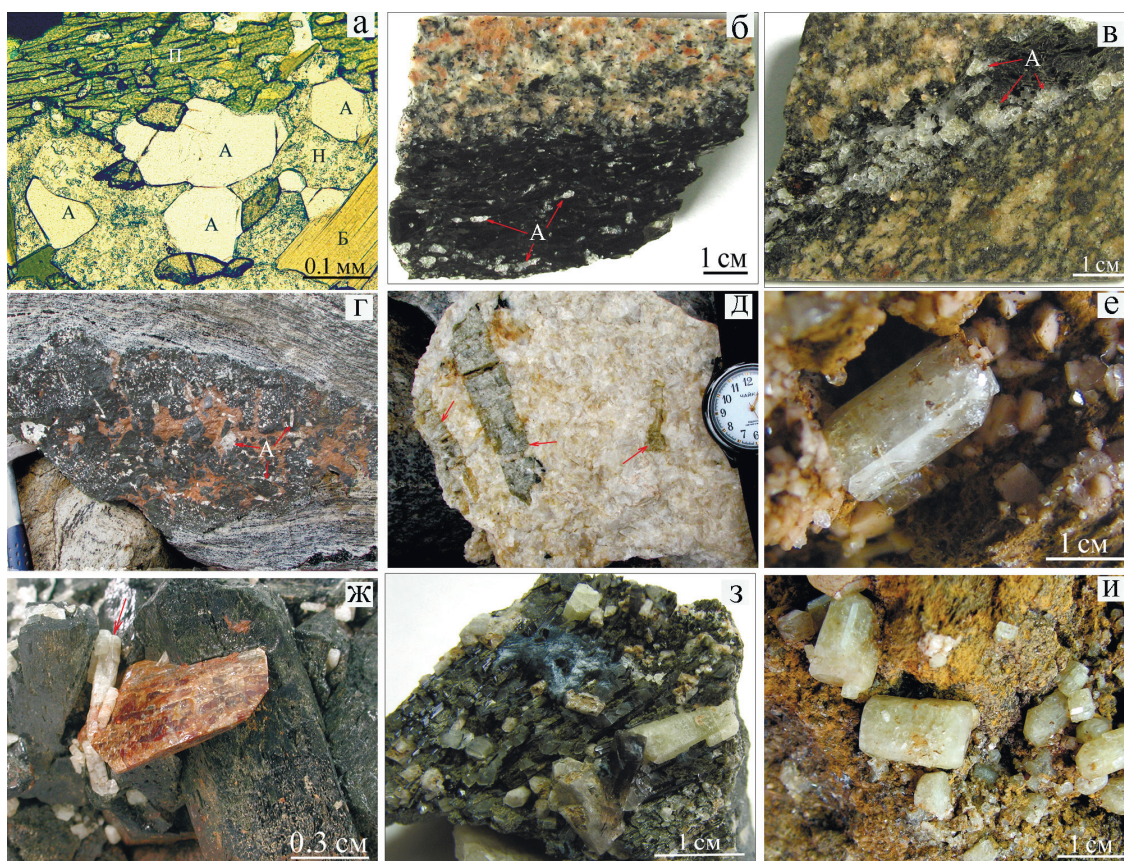


Рис. 1. Апатит из пород Вишневогорского щелочного комплекса:

а – нозеановый фойайт, шлиф, без анализатора (А – апатит, Б – биотит, Н – нозеан); б – дайка апатит-биотитового слюдита (черное) в сиените; в – биотит-апатитовая жила в сиените; г – апатит-кальцит-эгириновый пегматит в фенитах; д – апатит-кальцитовый карбонатит-пегматит; е – полевошпатовый пегматит; ж – апатит-титанит-пироксеновый пегматит; з – апатит-амфибол-полевошпат-эгириновая жила; и – апатит-карбонатная жила.

Fig. 1. Apatite of rocks of the Vishnevogorsky alkaline complex:

а – nosean foyaite, thin section, without analyzer (A – apatite, Б – biotite, Н – nosean); б – dike of apatite-biotite micaceous rock (black) in syenite; в – biotite-apatite vein in syenite; г – apatite-calcite-aegirine pegmatite in fenites; д – apatite-calcite carbonatite pegmatite; е – feldspar pegmatite, ж – apatite-titanite-pyroxene pegmatite; з – apatite-amphibole-feldspar-aegirine vein; и – apatite-carbonate vein.

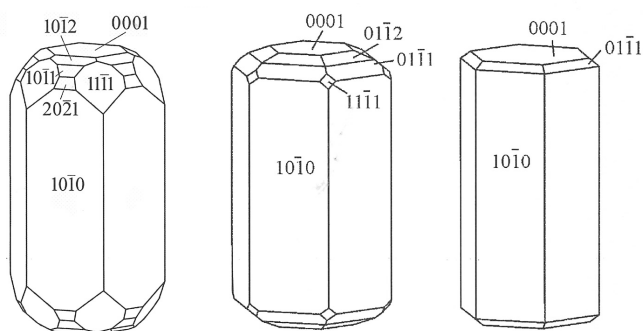


Рис. 2. Типичные формы кристаллов апатита из жильных тел Вишневогорского комплекса.

Fig. 2. Typical forms of apatite crystals from vein bodies of the Vishnevogorsky complex.



Рис. 3. Полевошпат-апатит-пироксеновая жила в сиените.

Fig. 3. Feldspar-apatite-pyroxene vein in syenite.

Таблица

## Состав апатита из пород Вишневогорского щелочного комплекса (мас. %)

Table

## Composition of apatite of rocks of the Vishnevogorsk alkaline complex (wt. %)

№	№ обр.	№ ан.	F	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	SrO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
1	17-7	098d	2.37	1.08	38.78	—	46.01	0.92	3.21	6.01	1.61	99.99
2		098e	2.84	1.15	39.27	—	46.24	1.39	2.82	4.68	1.61	100.0
3		098f	3.98	0.35	40.93	—	49.62	2.10	0.74	1.61	0.67	100.0
4	B-5	399k	3.02	—	42.11	—	53.84	1.37	—	—	—	100.34
5	B-9	400i	3.63	—	40.65	—	53.90	1.63	—	—	—	99.81
6	B-10	427c	3.14	—	40.32	—	51.73	3.44	0.47	1.01	—	100.12
7	17-1	022l	3.62	—	40.54	1.09	50.98	3.63	—	—	—	99.87
8	17-8a	043a	3.54	—	41.64	—	53.69	1.13	—	—	—	100.0
9	17-8б	044g	3.78	—	40.79	—	52.86	1.15	—	0.54	—	99.12
10	17-7a	100i	3.37	1.03	40.51	—	46.91	1.30	2.20	3.83	0.84	100.0
11		100j	2.10	1.50	38.58	2.38	49.47	1.12	1.28	2.22	0.99	99.63
12		100k	1.41	1.77	39.40	0.67	49.56	0.20	1.73	4.02	1.23	100.0
13		100h	2.53	1.30	40.09	0.82	50.16	1.30	1.30	2.27	0.80	100.57
14	B-34	358h	4.35	—	40.69	—	51.47	1.61	0.38	0.60	—	99.10
15	B-31	363e	4.12	0.77	40.09	—	49.87	—	1.20	2.46	0.87	99.38
16		363p	3.25	0.71	41.35	—	51.13	0.74	0.97	2.09	0.74	100.99
17		363q	3.70	1.04	39.45	—	48.50	0.33	1.68	3.15	1.19	99.05
18	B-39	390h	2.91	0.24	41.53	—	53.88	1.51	0.24	0.58	—	100.88
19	B-61б	459k	2.98	0.90	40.98	—	48.72	3.44	1.04	2.19	0.57	100.82
20	B-44	501l	3.79	0.40	41.17	—	52.05	—	0.69	1.12	0.32	99.54
21		501n	3.71	—	41.18	—	52.31	0.40	0.69	0.80	0.35	99.44
22	B-48	542q	3.63	—	41.10	—	53.03	1.16	0.49	0.89	0.26	100.54

*Примечание.* Образцы: 17-7 – миаскитовый пегматит, полость с натролитом, жила 5; B-5 – биотит-кальцитовый карбонатит, скв. 3401; B-9 – биотитовый сиенит, скв. 3401; B-10 – магнетитовый карбонатит, карьер г. Долгой; 17-1 – канкринитовый агрегат в миаскитовом пегматите Курочкина Лога; 17-8a и 17-8б – включения в пироклоре миаскитового пегматита Курочкина Лога; 17-7a – гиббсит-натролитовый агрегат в миаскитовом пегматите жилы 5; B-34 – пирротин-биотитовый карбонатит из карьера г. Долгой; B-31 – концентрически-зональный агрегат РЗЭ минералов в полевошпатовом пегматите карьера г. Долгой; B-39 – биотитовый карбонатит-пегматит зоны 140; B-61б – включение в крупном кристалле полевого шпата жилы 5; B-44 – меланократовый кальцит-биотитовый сиенит из керна скважины; B-48 – миаскитовый пегматит из карьера г. Долгой. СЭМ Tescan Vega 3 с ЭДС, аналитик И.А. Блинов, Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН.

*Note.* Samples: 17-7 – miaskite pegmatite, cavity with natrolite, vein 5; B-5 – biotite-calcite carbonatite, borehole 3401; B-9 – biotite syenite, borehole 3401; B-10 – magnetite carbonatite, quarry of Mt. Dolgaya; 17-1 – cancrinite aggregate in miaskite pegmatite of Kurochkin Log; 17-8a and 17-8b – inclusions in pyrochlore of miaskite pegmatites of Kurochkin Log; 17-7a – gibbsite-natrolite aggregate in miaskite pegmatite of vein 5; B-34 – pyrrhotite-biotite carbonatite from quarry of Mt. Dolgaya; B-31 – concentric-zonal aggregate of REE minerals in feldspar pegmatite from quarry of Mt. Dolgaya; B-39 – biotite carbonatite pegmatites of zone 140; B-61b – inclusion in large feldspar crystal of vein 5; B-44 – melanocratic calcite-biotite syenite from drill core; B-48 – miaskite pegmatite from quarry of Mt. Dolgaya. SEM Tescan Vega 3 with EDA, analyst I.A. Blinov, Institute of Mineralogy SU FRC MiG UB RAS.

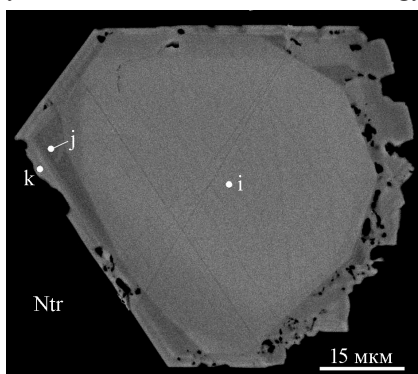


Рис. 4. Зонально-секториальный апатит в натролитовом агрегате. i, j, k – номера анализов в таблице, Ntr – натролит.

Обр. 17-7a, карьер г. Долгой.

Fig. 4. Zonal-sectorial apatite in natrolite aggregate. i, j, k – numbers of analyses in Table, Ntr – natrolite.

Sample 17-7a, quarry of Mt. Dolgaya.



весь апатит к постмагматическому минералообразованию (Еськова и др., 1964), по-видимому, не следует. Значительная часть апатита образовалась в процессе кристаллизации магматических тел (сиенитов, карбонатитов, слюдитов), меньшая часть – позднемагматических тел (пегматитов) и очень редко встречается апатит в парагенезисе с цеолитами, поздними карбонатами, кварцем и сульфидами.

Для практических технологических выводов по апатиту Вишневогорских объектов, с одной стороны, не хватает представительного опробования тел с разными типами минерализации. С другой стороны, сами технологические типы минерализации могут быть выделены только в процессе минералогического картирования, которое не проводилось во время разведочных работ. Несистемные (случайные) данные по составу апатита щелочного комплекса все же показывают его обогащение РЗЭ и Sr, что следует иметь в виду при возможных будущих разработках.

*Автор благодарен И.А. Блинову за электронно-микроскопические исследования минералов, В.И. Поповой – за содействие в исследованиях. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы АААА-А17-117020250032-1 Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН.*

## Литература

**Бонштедт-Куплетская Э.М.** (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 175 с.

**Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.** (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М.: Наука. 320 с.

**Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселёв А.П.** (1997) Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 274 с.

**Роненсон Б.М.** (1966) Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения. Геология месторождений редких элементов. М., Недра, вып. 28. 174 с.

## References

**Bonshtedt-Kupletskaya E.M.** (1951) [Mineralogy of alkaline pegmatites of the Vishnevye mountains]. Moscow, AN USSR, 175 p. (in Russian)

**Es'kova E.M., Zhabin A.G., Mukhitdinov G.N.** (1964) [Mineralogy and geochemistry of rare elements of the Vishnevye Mountains]. Moscow, Nauka, 320 p. (in Russian)

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

**Ronenson B.M.** (1966) [Origin of miaskites and related rare metal mineralization. Geology of deposits of rare elements]. M., Nedra, is. 28. 174 p. (in Russian)

*Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 г.*