



Effects of magma mixing on distribution of trace elements in zonal apatite from the Petrohan pluton, Western Balkan, Bulgaria

Влияние на смесване на магми върху разпределението на разсеяни елементи в зонални апатити от Петроханския плутон, Западна Стара планина, България

Elena Tacheva, Mihail Tarassov, Eugenia Tarassova
Елена Тачева, Михаил Тарасов, Евгения Тарасова

Institute of Mineralogy and Crystallography, BAS, Acad. G. Bonchev str., bl. 107, 1113 Sofia; E-mail: tacheva_e@abv.bg

Keywords: crystal zoning, apatite, Petrohan pluton, magma mixing.

Въведение

Изследванията на Haydutov et al. (1995), Peytcheva et al. (2006), Tacheva et al. (2006) и други показват, че Петроханският плутон (Западна Стара планина) е образуван в резултат от магмена диференциация, асимилация и смесване на магми с контрастен състав. Получените досега данни за акцесорните минерали от плутона свидетелстват за влиянието на тези процеси върху морфоложките, структурните и химични характеристики на минералите (Tarassov et al., 2013; Tacheva et al., 2015). Апатитът е най-често срещаният акцесорен минерал в магмените скали, което се дължи на слабата му разтворимост в природните топилки и на ограничената способност на скалообразуващите минерали да приемат в структурите си фосфор. Апатитът може да бъде концентратор на различни разсеяни елементи в скалите. Като следствие, геохимията на разсеяните елементи в магмените системи може да бъде разчетена във вариациите на химичния състав на апатита. В научната литература се предлагат следните най-важни схеми на изоморфно заместване в неговата структура: $\text{Si}^{4+} + \text{S}^{6+} = 2\text{P}^{5+}$; $\text{REE}^{3+} + \text{Si}^{4+} = \text{Ca}^{2+} + \text{P}^{5+}$; $\text{S}^{6+} + \text{Na}^{+} = \text{Ca}^{2+} + \text{P}^{5+}$ (Sha, Chappell, 1999; Tepper, Kuehner, 1999; Harlov et al., 2005). В настоящата работа се прави опит за обвързване на установените особености във вътрешния строеж на акцесорния апатит (Tacheva et al., 2015) с разпределението на някои елементи-следи и вероятните механизми на заместване.

Методи на изследване

В работата се изследват апатити от гранодиорити (Gd94-3, Gd96-4), хибридни диорити (D93) и мафични магматични включения (ММЕ94-4), както и от диорити (D88) от най-югозападната част на плутона, където не е установено смесване на магми.

Проба Gd96-4 представлява контактната реакционна зона между мафични магматични включения и вместващия го гранодиорит. Химичните анализи и наблюденията върху морфологията и особеностите на вътрешния строеж на сепарираните апатити в полирани образци са направени с помощта на сканиращ електронен микроскоп ZEISS SEM EVO 25 LS, снабден с аналитична система EDAX Trident (ИМК, БАН), при ускоряващо напрежение 15 kV, електронен ток на лъча 1–3 nA.

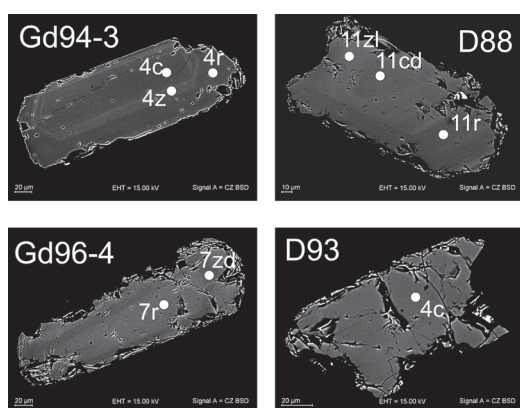
Резултати

Изследваните апатити от всички проби имат високо съдържание на F – от 2,9 до 4,33 wt%, а съдържанието на Cl е от 0,12 до 0,8 wt%. Изключение правят апатитите от D88, където са установени по-ниски съдържания на F (2,06–3,56 wt%) и най-високи на Cl (0,87–1,4 wt%). Наблюдаваната в СЕМ растежна зоналност (в силно контрастирани образи в обратно отразени електрони) корелира с разпределението на REE, Si, S, Na (фиг. 1, табл. 1).

Непрекъснатата растежна зоналност се наблюдава в апатитите от Gd94-3 (вместващия гранодиорит). Вътрешните, по-тъмни зони, са с по-ниски съдържания на REE_2O_3 (0,54–0,81 wt%), SiO_2 (0,16–0,22 wt%) при пълната липса на Na. Не се наблюдава корелация между съдържанията на Si и S. Сярата в тъмните централни участъци се променя в широки граници – от 0,03 до 0,13 SO_3 wt%. В светлите зони съдържанията на REE_2O_3 са по-високи (1–1,35 wt%) и корелират добре със съдържанието на Na_2O (0,07–0,32 wt%). Някои апатити от Gd96-4 са кристализирали след смесването на магмите и имат вътрешна светла зона, богата на REE_2O_3 (0,89–1,35 wt%) и бедна на SO_3 (0–0,06 wt%). В апатитите от тази проба се наблюдават признаци на прекъсване на растежа и протичане на разтваряне (заоблени граници на зоните). Прекъсване на

Таблица 1. Химични състави на апатити от Петроханския плутон

Образец	Gd 94-3	Gd 94-3	Gd 94-3	Gd 96-4	Gd 96-4	D88	D88	D88	D93
Анализ	4r	4c	4z	7c	7zd	11cd	11r	11zl	4c
CaO	53,14	52,96	53,12	53,34	53,54	52,94	52,79	52,83	54,01
P ₂ O ₅	41,81	41,87	41,91	41,86	41,95	41,66	41,13	41,53	41,51
F	3,56	4,08	3,43	3,72	3,5	3,35	2,89	3,64	3,84
Cl	0,6	0,57	0,57	0,62	0,52	1,11	1,26	1,19	0,3
SiO ₂	0,24	0,21	0,41	0,24	0,17	0,3	0,37	0,27	0,22
Na ₂ O	0,19	0,14	0,16	0	0,15	0,24	0	0	0
MgO	0,11	0,07	0,11	0	0,05	0,16	0	0	0
SO ₃	0	0,11	0,07	0,06	0,3	0,06	0,06	0,12	0,25
La ₂ O ₃	0,18	0,17	0,27	0,24	0,09	0,37	0,33	0,34	0,19
Ce ₂ O ₃	0,5	0,32	0,52	0,58	0,32	0,6	0,73	0,72	0,36
Pr ₂ O ₃	0	0,1	0	0	0	0	0	0,23	0,1
Nd ₂ O ₃	0,06	0,11	0,22	0,17	0,22	0,13	0	0,11	0,08
Total	100,39	100,71	100,79	100,83	100,81	100,92	99,56	100,98	100,86



Фиг. 1. SEM-изображения (BDS) на апатити от различни проби: Gd 94-3 (вместващ гранодиорит), D 88 (диорит), Gd 96-4 (контактна зона между MMB и вместващия гранодиорит), D 93 (хибриден диорит)

растежа е установен и във вътрешните зони на апатити от Gd 94-3.

Апатитите от D93 и MMB94-4 са сравнително хомогенни с ниски съдържания на REE₂O₃ (0,32–0,73 wt%) и относително по-високи съдържания на SO₃ (0,17–0,25 wt%). Най-високи съдържания на REE са установени в апатитите от D88, където концентричната зоналност не е така ясно изразена. В тези кристали не се наблюдава корелация между Si, Na и REE. Съдържанието на SO₃ е 0,07–0,08 wt%. В резултат на наложените постмагматични процеси в тези апатити се появява и вторична метасоматична петниста (patched) зоналност, съпроводена с кристализация на вторичен монацит-Се.

Заклучение

Наличието на растежни зони в кристали с ясни признаци на прекъсване на растежа и протичане на разтваряне показва, че акцесорният апатит чувствително реагира на промените в кристализационната среда, свързани със смесването на маг-

ми. Включването на различни елементи-следи е контролирано чрез равновесието топка/фосфатен минерал. В процеса на кристализация на апатита вероятните механизми на заместване при образуването на растежната зоналност са от вида REE³⁺ + Na⁺ = 2Ca²⁺ и REE³⁺ + Si⁴⁺ = Ca²⁺ + P⁵⁺, което се потвърждава от установените корелации в разпределението на елементите в различните зони. Заместването Si⁴⁺ + S⁶⁺ = 2P⁵⁺ не е информативно при изследваните апатити.

Литература References

- Harlov, E. D., R. Wirth, H. J. Forster. 2005. An experimental study of dissolution-reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 150, 268–286.
- Haydutov, I., S. Yanev, D. Tronkov, T. Nikolov, I. Sapunov, P. Tchoumatchenko, Tz. Tzankov, R. Dimitrova, N. Popov. 1995. *Explanatory Note to the Geological Map of Bulgaria on Scale 1:100 000. Berkovica Map Sheet*. Sofia, Ministry of Environment and Water, Bulgarian National Geological Survey, 124 p.
- Peytcheva, I., A. von Quadt, O. Malinov, E. Tacheva, R. Nedialkov. 2006. Petrochan and Klissura plutons in Western Balkan: relationships, in situ and single grain U-Pb zircon/monazite dating and isotope tracing. – In: *Proc. of the National Conference "GEOSCIENCES 2006"*, 221–224.
- Sha, L. K., B. W. Chappell. 1999. Apatite chemical composition, determined by electron microprobe and laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, as a probe into granite petrogenesis. – *Geochim., Cosmochim. Acta*, 63, 3861–3881.
- Tacheva, E., R. Nedialkov, I. Peytcheva. 2006. Magma mingling and mixing in Petrochan pluton (Western Balkan): Preliminary field, petrological and geochemical evidence. – In: *Proc. of the National Conference "GEOSCIENCES 2006"*, 161–164 (in Bulgarian with an English abstract).
- Tacheva, E., M. Tarassov, E. Tarassova. 2015. Morphology and zoning of apatite crystals as indicator for magma mixing in Petrochan pluton, Western Balkan, Bulgaria. – In: *Proc. of the Jubilee National Conference "GEOSCIENCES 2015"*, 33–34 (in Bulgarian).
- Tarassov, M., E. Tarassova, E. Tacheva, I. Peytcheva, R. Nedialkov. 2013. Contrasting response of accessory ilmenite and magnetite to magma mixing and postmagmatic alteration in Petrochan pluton, Western Balkan, Bulgaria. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 66, 1151–1158.
- Tepper, J. H., S. M. Kuehner. 1999. Complex zoning in apatite from Idaho Batholith: A record of magma mixing and intracrystalline trace element diffusion. – *Am. Mineral.*, 84, 581–595.