



Amphiboles from the Vitosha pluton as indicators of magmatic evolution

Stela Atanasova-Vladimirova¹, Iskra Piroeva², Kalin Kouzmanov^{3}, Bojidar Mavrudchiev⁴*

¹“Earth and Man” National Museum; E-mail: stelaatanasova@hotmail.com

²Central Laboratory on Mineralogy and Crystallography — BAS; E-mail: piroeva@abv.bg

³ETH Zurich, Switzerland

⁴Sofia University “St Kliment Ohridski”

*Present address: Section des Sciences de la Terre, University of Geneva; E-mail: kouzmanov@terre.unige.ch

Key words: Vitosha pluton, amphibole, gabbro, monzonite, syenite

Abstract. The Vitosha pluton is located in the western part of the Srednogorie tectonic zone. According to Dabovski et al. (1991) this zone developed as an island-arc system in Late Cretaceous, characterized by a mafic-felsic magmatic association (volcanic, plutonic and dyke rocks) of ultrabasic, basic, intermediate and acid composition. The rocks belong to the normal, subalkaline and alkaline series. Dimitrov (1942) has studied rocks from the Vitosha pluton in detail. According to the latter the pluton consists of 4 intrusive phases: I — gabbroic rocks (gabbro, anorthosite), II — monzonites, III — leucosyenites, and IV — granosyenites. Pegmatitic dykes cut each of the intrusive phases. Amphibole is one of the main rocks forming minerals in the plutonic

rocks and often occurs as secondary mineral in aplites and pegmatites. In the gabbros its modal content reaches 20—22%, in anorthosites — 6.3%, in monzonites and syenites ~4%.

Major and trace-element composition of magmatic amphiboles from the different phases have been studied. The observed compositional variations of amphibole along with those of biotite, titanite, magnetite, and ilmenite have been tentatively used as indicators of magmatic evolution of the calc-alkaline I-type Vitosha pluton. Estimated temperatures of crystallization are between 834° and 579°C, based on the Blundy and Holland (1990) geothermometer. The depth of final crystallization of the pluton is considered to be of about 7 km.

Амфиболите от Витошкия плутон — индикатор на магмената еволюция

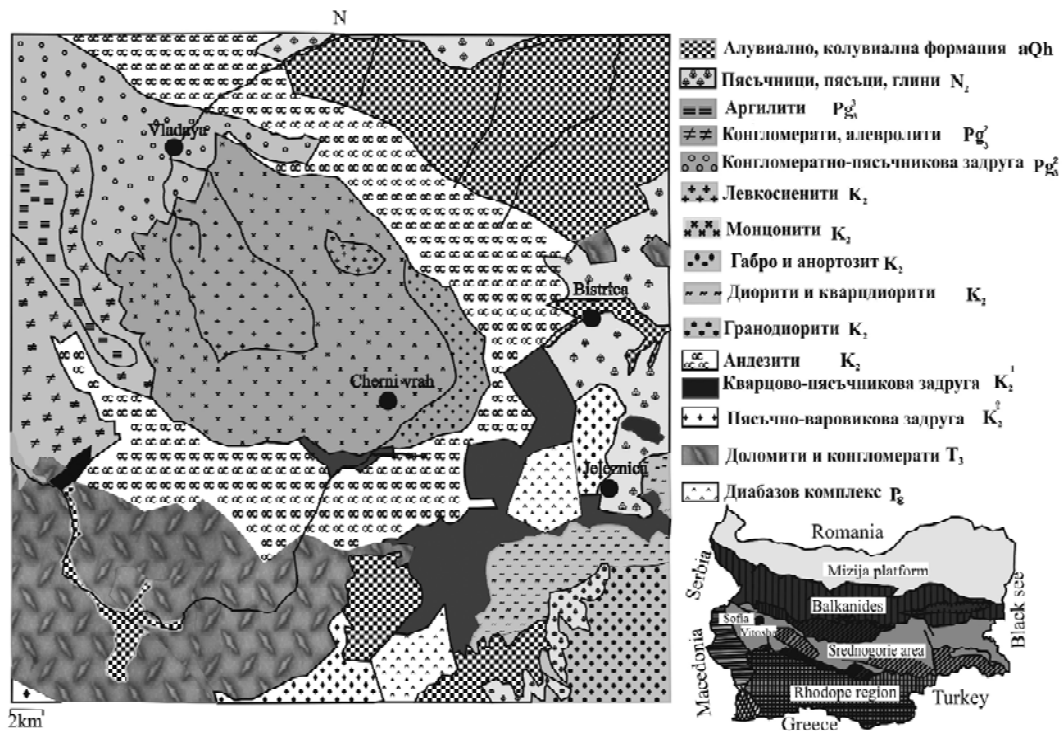
Стела Атанасова-Владимирова¹, Искра Пироева², Калин Кузманов^{3}, Божидар Маврудчиев⁴*

Въведение

Витошкият плутон се разкрива в западния дял на Средногорската структурна зона. Според Dabovski et al. (1991) нейното къснокредно геодинамично развитие следва модела на зрелите островни дъги. За цялата зона е характерна мафично-фелзична скална асоциация от вулканити, плутонити и дайкови магматити с ултрабазичен, базичен, среден и кисел състав с нормална, субалкална и алкална сериалност. Скалите от Ви-

тошкия плутон са детайлно изучени от Димитров (1942). Той отделя 4 наставки: I — габрови скали, II — монзонити, III — левкосиенити и IV — аплитови граносиенити. Всяка от тях се съпровожда от аплитови и пегматитови диференциати.

Обект на настоящето изследване са амфиболите, като представител на най-разпространените мафични минерали, чрез които ще приведем данни за веществената еволюция на плутона, извлечени от геохимичната му еволюция.



Фиг. 1 Геоложка карта на България в М 1: 100 000, картен лист Перник (редактор Загорчев, 1994), с авторска обработка.

Петрографски състав на вместващите скали

Габра — съдържанието на SiO_2 е 45,07—50,38%. Модалният състав е измерен с интеграционна масичка „Елтинор-4“. Основните скалообразуващи минерали са: плагиоклаз (64—67%), който винаги е повече от мафичния минерал (главно амфибол, 20—22%), следван от пироксени (5—4%) и биотит (~1%). Акцесорни минерали са Fe-Ti оксиди (7—8%), апатит, титанит и циркон. Цветът на габрото е сив до тъмносив, структура е габрова (главните скалообразуващи минерали са с частичен или съвсем слаб идиоморфизъм), а текстурата е масивна.

Анортозити — съдържанието на SiO_2 е 50,67%. Скалата е изградена главно от плагиоклаз — 90,5% и амфибол — 6,3%. Второстепенен минерал е титанитът — 2,6%; акцесорни минерали са магнетит, илменит, апатит (сумарно < 1%).

Монцогабра — съдържанието на SiO_2 е 53,23—56,46%. Структурата им е типично монционитова, а текстурата е масивна. По минерален състав не се отличават съществено от монционитите, различията са в количествените отношения, грубозърнестата структура и тъмното оцветяване, дължащо се на сивкавия плагиоклаз и едрокристалния биотит. Модалният състав е: плагиоклаз (~55%), калиев фелдшпат (~15%), кварц (~2—3%), амфи-

бол (~8%), пироксен (~5%), биотит (~2%), магнетит — илменит (~9%), други акцесори (~3%).

Монционити — те са пъстри, но винаги левкократни, често съдържат меланократни шлири и аплитови-пегматитови жили. Модалният състав е: плагиоклаз (~42%), калиев фелдшпат (~40%), пироксен (~6%), амфибол (~4%), биотит (~3); акцесорни минерали са магнетит-илменит (~2%), апатит, титанит и циркон (~1%). Структурата на монционитите е хипидиоморфнозърнеста (монционитова), а текстурата е масивна. В големите ортоклазови индивиди се наблюдават включения от плагиоклаз, пироксен, амфибол, биотит, магнетит, апатит и циркон.

Сиенити — съдържанието на SiO_2 е между 60,73% и 65,48%. Текстурата е равномерно зърнеста, а структурата е най-често хипидиоморфнозърнеста. Тези скали се отличават от монционитите по съдържанието на калиев фелдшпат (65—90%) и сумата на алкалиите ($Na_2O + K_2O = 8—10\%$). Модалният състав е: плагиоклаз (~14%), калиев фелдшпат (~64%), кварц (~6%), амфибол (~4%), биотит (~9%) и акцесори (~3%).

Аплитови граносиенити — според Димитров (1942) най-рано са образувани шлировидните пегматити. Жилните пегматити се наблюдават рядко и дебелината им варира от няколко см до 30—40 см, а дължината им в редки случаи достига до метри. Според Каров (2000) жилните

пегматити могат да се разделят според минералния им състав на следните видове: албит-ортоклазови, ортоклаз-плагиоклазови, кварц-плагиоклазови, кварц-ортоклазови, амфибол-кварцови, илменит-кварцови, плагиоклаз-амфиболови и аплитови жили.

Характеристика на амфиболите

Оптическа и морфоложка характеристика

Амфиболът е един от главните скалообразуващи минерали в скалите от Витошкия плутон. Само в някои аплити и пегматити той е второстепенен минерал. В габрата неговото модално съдържание е 20–22%, в анортозитите — 6,3%, в монцогабрата — ~8%, в монцонитите — ~4% и в сиенитите — ~4%.

В *габрата* амфиболът плеохроира от зелено-кафяво (Z), през кестеняво-зелено (Y) до бледожълто (X). По периферията често е обраснат от синокаво-зелен или зелено-сив иглест амфибол. В *анортозитите* са установени както обикновеният амфибол, така и влакнестата му разновидност — уралит (актинолит). Обикновеният амфибол плеохроира от зелено-кафяв (Z), през кестеняво-зелено (Y) до бледожълто (X). Уралитът образува самостоятелни индивиди с иглест хабитус. Според Димитров (1942) той е резултат от заместването на авгита. В *монцонитите* амфиболите са от групата на калциевите разновидности — те са магнезиеви обикновени амфиболи с преходи в периферните зони към актинолити, които са резултат на постмагматични процеси. Обикновеният амфибол плеохроира от зелено-кафяво (Z), през кестеняво-зелено (Y) до бледожълто (X). В монцонитите амфиболът е хипидиоморфен и кристализира след пироксена и плагиоклаза. Амфиболът в *сиенитите* е представен в малки количества и плеохроира от тъмнокафяво (Z), през тъмnozелено (Y) до жълтокафяв (X).

Химичен състав на амфиболите

Химичният състав на амфиболите от плутона е изчислен въз основа на 60 броя микросондови анализа върху 20 скални образеца. Кристалохимичните формули са изчислени на основата на 23 кислорода с осреднено съдържание на Fe^{3+} и стандартизирани по 13 катиона (без Ca, Na, K). Според класификационната схема на Leake et al. (1997) всички анализирани зърна се отнасят към групата на калциевите амфиболи, преобладаващо с $(Na+K)_A < 0,50$. Според класификационната схема на Leake et al. (1997) амфиболите в *габрата*, *анортозитите*, *монцогабрата*, *монцонитите* попадат в групата на магнезиевия обикновен амфибол. В *сиенитите* те са от групата на магнезиевия и на железния обикновен амфибол. Само един от съставите е актинолит и той

вероятно е резултат на постмагматични изменения.

Изследването на параметъра Mg# по типове скали показва определени особености, които зависят както от температурата на кристализация, така и от характера на магмената еволюция. Приложеният геотермометър на Blundy и Holland (1990) показва температури на кристализация за габрата между 769 и 834°C за центъра на плагиоклазите и 759–796°C за периферията им. В изследваните двойки плагиоклаз-амфибол са установени както нормална, така и обратна температурна зоналност. Наличието на многобройни случаи на обратна температурна зоналност, наред със съхранената нормална температурна зоналност е своеобразна особеност за габровата фаза. Параметърът Mg# за центъра на амфиболите е 70–48 и 73–53 за периферията им. Инверсната температурна зоналност вероятно се дължи на факта, че по време на кристализацията магматичната система е била отворена и е активирала процесите на смесване.

При *монцогабрата* е наблюдавана права температурна зоналност. За център на плагиоклазите средната температура е 719°C, а за периферията — 679°C. За *монцонитите* правата температурна зоналност е в температурния интервал 598–721°C за центъра на плагиоклазите и 579–687°C за периферията им. За *сиенитите* е характерна права температурна зоналност: в центъра на плагиоклазите температурата е 711°C (647–756°C), а за периферията — 620°C (490–722°C).

Използването на амфиболите като геобарометър се дължи на факта, че за всички водасъдържащи калциевоалкални магми, които са кристализирали в дълбочина, амфиболът е един от най-честите скалообразуващи минерали. Той присъства в почти всички скални разновидности. За изчисленията е използван методът на Schmidt (1992). Обобщената оценка по групи скали разкрива следните закономерности:

1. Налягане на кристализация в базичните скали е съсредоточено в нива 3,5–2,6 kbar, съответстващи на дълбочина 7–10 km.

2. Монцонитите и монцогабрата са с оценка за наляганята 3,1–2,0 kbar, което отговаря на дълбочина 9–6 km. Средната стойност на цялата скална съвкупност е 2,5 kbar, съответстваща на дълбочина ~7 km.

3. Сиенитите показват средни оценки за наляганята около 2,5 kbar, съответстваща на дълбочина ~7 km.

Количеството на ^{IV}Al най-общо намалява с напредъка на диференциацията на магмата, като за ядрата на амфиболите от габрата средната стойност е $^{IV}Al = 0,89$, а за периферията е $^{IV}Al = 0,85$; за монцонитите — $^{IV}Al = 0,94$ за централната зона, а за периферията е $^{IV}Al = 0,475$; за сиенитите — $^{IV}Al = 0,97$ за централната зона и $^{IV}Al = 0,18$ за

периферията, т.е. ^{IV}Al намалява от центъра към периферията на амфиболовите кристали.

Навлизането на Al в октаедричната позиция на амфиболовата структура се свързва най-често с дълбочината на кристализация. Най-общо съдържанието на ^{VI}Al намалява с напредъка на магмената еволюция и отразяват влиянието на активността на Si и полимеризацията на топилката (Каменов, 2004). ^{VI}Al закономерно намалява от центъра към периферията на отделните амфиболови индивиди. При габрата средното значение на ^{VI}Al за центъра на амфиболите е 0,24, а за периферията 0,098. При монногабрата тази закономерност се запазва със съответни стойности ^{VI}Al — 0,16 за центъра и ^{VI}Al — 0,09 за периферията на амфиболовите зърна. При монцитите ^{VI}Al — 0,14 за централната зона и ^{VI}Al — 0,04 за периферията на зърната. При сиенитите тези стойности са: ^{VI}Al — 0,12 (централна зона), ^{VI}Al — 0,09 (периферия). Тези значения на ^{VI}Al са доказателство за едни относително устойчиви условия на кристализация.

Средните значения на $(Na+K)_A$ в амфиболите от габрата се колебаят в много тесни граници — за централната зона средните стойности са 0,13 и за периферията 0,11. При амфиболите с нормална температурна зоналност периферните зони са с по-ниски значения на сумата $(Na+K)_A$, докато при амфиболите с обратна температурна зоналност периферията почти винаги показва по-висока стойност на тази сума. При монногабрата, монцитите и сиенитите $(Na+K)_A$ е по-ниска в централната зона, т.е. от ранния магматичен етап на кристализация към по-късния нараства алкалността на магмата.

В преобладаващия брой от случаите амфиболите имат по-високи индивидуални значения на Si (a.p.f.u.) в периферните зони от тези на ядрата им. Наблюдава се и слабо увеличаване на

атомните количества на Si в амфиболите по едрината на зърната в направлението едри—средни—дребни, което е доказателство за образуването им при постепенно увеличаване активността на Si в топилката. Отбелязва се и общо увеличение на средните съдържания на Si за централните зони в отделните типове скали: габро (7,11), монцит (7,23), сиенит (7,82).

В разпределението на коефициентите на окисление се установява, че за всички амфиболови зърна, в които се разкрива нормална температурна зоналност по параметъра $Mg\#$, централните ядра на кристалите са с по-високи средни стойности на коефициента на окисление от тези на периферните им части. Тази особеност свидетелства, че в процеса на еволюцията магмата се характеризира с по-ниски стойности на f_{O_2} . При амфиболовите индивиди, характеризиращи се с обратна температурна зоналност, периферните зони имат по-високи значения на коефициента на окисление.

Изводи

1. Асоциацията от фемични минерали в скалите от Витошкия плутон е характерна за калциевоалкалните гранитоиди от геохимичен I-тип (амфибол, биотит, титанит, магнетит, илменит).
2. Изчислената температура на кристализация (Blundy и Holland, 1990) за скалите от плутона е в границите 834—579°C.
3. Стойностите на ^{VI}Al са доказателство за едни относително устойчиви условия на кристализация в магмената камера.
4. Окончателното застиване на скалите от плутона е съсредоточено на средно ниво от около 7 km.
5. Фугитивността на кислорода е била умерено висока по време на кристализацията на амфибола.

Литература

- Димитров, Стр. 1942. Витошкият плутон. — *Год. СУ, Физ.-мат. фак.*, 38, кн. 3 — геол., 89—170.
- Каменов, Б. 2004. Нов поглед върху петрологията на Омано-Факийския плутон, Югоизточна България: II. Фемичните минерали като индикатори на магматичната еволюция. — *Год. СУ, Геолого-географ. фак.*, 97, кн. 1 — геол., 117—147.
- Каров, Ч. 2000. Сравнителни минераложки изследвания на жилните пегматити от Витошкия и Планския плутон. — *Окончателен отчет по договор МУ-Ф-02/96*, 33.
- Dabovski, H., A. Harkovska, B. Kamenov, B. Mavrudchiev, G. Stanisheva-Vassileva, Y. Yanev. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. — *Geologica Balc.*, 21, 4, 3—15.

- Blundy, J. B., B. Holland, 1990. Calcic amphibole equilibria and new amphibole-plagioclase geothermometer. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 208—224.
- Leake, B., A. Woolley, C. Arps, W. Brich, M. Glibert, J. Grice, F. Hawthorne, A. Kato, K. Kisch, V. Krivovichev, K. Linthut, J. Laird, J. Mandariano, W. Maresch, E. Nickel, N. Rokcs, J. Schumacher, D. Smith, N. Stephenson, L. Ungaretti, E. Whittaker, G. Youzhi. 1997. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles in the IMA on new minerals and minerals names. — *Eur. J. Mineral.*, 9, 623—651.
- Schmidt, M. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of Al-in-hornblende barometer. — *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 110, 304—310.