

## Алкалност и фазови съотношения амфибол-плагиоклаз

Людмил Грозданов

Grozdanov, L. 1996. Alkalinity and the amphibole-plagioclase phase relations — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, **31**, 23—28

The paper presents arguments that a theoretical conclusion, derived by V. S. Skodzinskij (B. C. Шкодзинский) in 1970 from a mineral reaction proposed by him, is obeyed under natural conditions during alkalinity (alkalies potential) increase which favours the formation of calcium-rich common hornblende as a result of the redistribution of calcium from plagioclase to amphibole. The study is based on published data of rocks from five localities: amphibolite from the northern parts of Krivoj Rog, analcime trachyte from Hocheiffel, quartz monzonite from the Plovdiv pluton, pegmatoid mineralization in gabbro from the Vitosha pluton, and quartz diorite from the Petrohan pluton. Quantitative (numerical) data for alkalinity are derived from the  $(Na + K + Ca)/Al$  ratio in amphiboles. By comparison with average amphibole compositions it is found that calcium in amphibole increases by 0,12 to 0,17 when alkalinity increases by 0,85 to 1,18. The data given show that if the alkalinity value is about 2,00 or larger it is permissible to reduce the values of T obtained from the amphibole-plagioclase geothermometer, published by L. L. Perchuk and I. D. Ryabchikov (Л. Л. Перчук, И. Д. Рябчиков, 1976) even if the sum total of  $Ca + Na + K$  in amphibole is below 2.3. V. S. Skodzinskij's reaction implies that increased oxidation potentials will also favour a shift of the equilibrium towards calcium-rich amphiboles, which has been confirmed by the data obtained for the three Bulgarian localities.

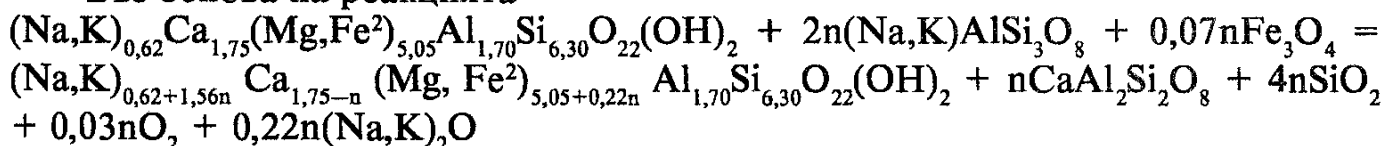
*Key words:* alkalinity, amphibole, plagioclase, calcium, temperature deviations, oxidation potential  
*Address:* Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia

*Ключови думи:* алкалност, амфибол, плагиоклаз, калций, температурни отклонения, окислителен потенциал

*Адрес:* Българска академия на науките, Геологически институт, 1113 София

### Увод

Въз основа на реакцията



Шкодзинский (1970, с. 19) стига до извода, че повишаването на алкалността на системата (потенциала на алкалиите) способства за образуването на богати на калций обикновени амфиболи, което се осъществява посредством преразпределение на калция от плагиоклаза към амфибола.

В настоящата статия са приведени данни за природни системи, в които намира изява тази, изведена по теоретичен път зависимост, като е взето отношение и за нейното влияние върху амфибол-плагиоклазовия геотермометър на Перчук, Рябчиков (1976). Използвани са публикувани от автора материали и от Перчук, Рябчиков (1976). При проведените изследвания, алкалността на системата е определяна по предложеното от Шкодынский (1970) отношение  $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca})/\text{Al}$  в състава на амфиболите. Възможността за количествено, цифрово изразяване на алкалността, е предпоставка за обособяване на фацисии на алкалност с фиксирани граници: ниско алкален, умерено алкален, субалкален и алкален. Интервалите за тях са съответно 0,45—1,20; 1,20—1,58; 1,58—2,70 и над 2,70 (Шкодынский, 1970).

### Фазови съотношения в отделни находища

Във връзка с прилагането на амфибол-плагиоклазовия геотермометър, Перчук, Рябчиков (1976) изтъкват необходимостта да се отчита величината на сумата  $\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}$  в състава на амфибола. Когато тази сума е под 2,3 се приема, че средата е с понижена алкалност и отчетените стойности на  $T$  са рязко повишени. Ако посочената сума е над 2,9, алкалността се счита за повишена и стойностите за  $T$  могат да бъдат понижени. За илюстриране на първото положение са приведени данни за калциев амфибол и плагиоклаз от амфиболит с кьмингтонит и жедрит от находище в северната част на Кривой рог. Количеството на калция в амфибола е 1,614, плагиоклазът е  $\text{An}_{95}$ . Характерен за второто положение е аналцимовият трахит от района на Хохайфел. Калцият в амфибола е 2,125, плагиоклазът е  $\text{An}_{25}$ . Проличава значително преразпределение на калция от плагиоклаза към амфибола с повишаване на алкалността. Отчетената по амфибол-плагиоклазовия геотермометър  $T$  е  $520^\circ\text{C}$ , докато действителната  $T$ , определена по двуфелдшпатовия геотермометър, е около  $920^\circ\text{C}$ . Количествени данни за алкалността не са приведени. По отношение  $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca})/\text{Al} = 0,94$  в амфибола от находището в северните части на Кривой рог, проличава понижена алкалност, присъща на ниско алкалния фацис (по Шкодынский, 1970). За аналцимовия трахит, изчислената стойност на алкалността е 1,23, но, според Шкодынский (1970), при вулкански скали отношението  $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca})/\text{Al}$  в амфибола не е подходящо за определяне на този параметър. По предложеното от Перчук (1967) отношение  $(\text{Na} + \text{K}) : (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca})$  в състава на амфибола, за двете разглеждани находища се изчислява алкалност 0,178 и 0,256.

Изследвания върху скалите от Пловдивския плутон са проведени от редица автори (Николов, 1932; Möbus, 1959; Дабовски, 1969; Бояджиев, 1973). Вариациите по отношение на  $\text{SiO}_2$  са в пределите 56—65%, а сумата  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  е в интервала от 7 до 9 %. Средният тип на скалата е определен като адамелит-левкогранодиорит (Бояджиев, 1973). Данни за състава на амфибола са публикувани за находище в основата на южния склон на Хълм на младостта (Грозданов, 1975). Съдържанието на  $\text{SiO}_2 = 61,66\%$  и  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7,91\%$  в скалата от това находище я определят като кварцов монцонит (по класификацията, дадена в Магматическите горные породы. . ., 1983). Изчислената на база от 23 кислородни атома кристалохимична формула на амфибола, при корекция за апатит, е  $(\text{K}_{0,16} \text{Na}_{0,38})_{0,54} (\text{Na}_{0,05} \text{Ca}_{1,94} \text{Mn}_{0,01})_{2,00}$

$(\text{Mg}_{2,87} \text{Mn}_{0,13} \text{Fe}^{2+}_{1,36} \text{Fe}^{3+}_{0,48} \text{Ti}_{0,16})_{5,00} (\text{Si}_{6,69} \text{Al}_{1,20} \text{Fe}^{3+}_{0,11})_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH})_{1,74} \text{F}_{0,22} \text{Cl}_{0,01}$  (едени-  
тов амфибол, вид 11,15 по L e a k e, 1978). Анализи на съществуващия с ам-  
фибола плагиоклаз са проведени на микросонда JEOL-733 по метода на EDS в  
лаборатория Електронна микроскопия и микроанализ към секция Минерало-  
гия на Геологическия институт. Изчислени са кристалохимичните формули  
 $(\text{Na}_{0,73} \text{Ca}_{0,24})_{0,97} (\text{Si}_{2,76} \text{Al}_{1,24})_{4,00} \text{O}_8$  и  $(\text{Na}_{0,71} \text{Ca}_{0,26})_{0,97} (\text{Si}_{2,74} \text{Al}_{1,27})_{4,01} \text{O}_8$ , съответстващи  
на  $\text{An}_{25}$  и  $\text{An}_{27}$ . Алкалността е 2,11, вместваща се в пределите на субалкалния  
фациес (Ш к о д з ы н с к и й, 1970). Отношението  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}) = 0,303$  в съ-  
става на амфибола е присъщо за сравнително висок окислителен потенциал в  
минеролообразуващата среда. Показателни в това отношение са и количест-  
вата на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$  в скалата, съответно 3,28 и 2,80 %. Минералният и химич-  
ният състав на скалата допускат сравняване със средния състав на амфиболи  
от диорити, гранодиорити и кварцови диорити, изчислен от К о с т ю к (1970,  
с. 46). Количеството на калция в посочения среден амфиболов състав е 1,796,  
алкалността е 1,34, степента на окисление на желязото е 0,216. При амфибола  
от Пловдивския плутон калцият е повишен с 0,14, алкалността — с 0,77 и сте-  
пента на окисление на желязото — с 0,087. Предвид на хипоабисалното ниво на  
Пловдивския плутон (Д и м и т р о в, 1939, 1946, 1958; Б о я д ж и е в, 1973;  
В о у а д ж и е в, 1979), минералния и химичния състав на скалата, отношението  
 $100.\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 41$  в амфибола, което е в интервала 40—60, и парагенезата  
с биотит, е допустимо сравнение и със средния състав за амфиболи от хипо-  
абисални гранитоиди, изчислен от М а н у й л о в а и др. (1975). Количеството  
на калция в последния е 1,80, алкалността е 1,59, степента на окисление на  
желязото е 0,196. При амфибола от Пловдивския плутон калцият е с 0,12 пове-  
че, алкалността е повишена с 0,52, степента на окисление на желязото е по-  
голяма с 0,107. От направените сравнения проличава увеличаване на количест-  
вото на калция в амфибола успоредно с повишаване на алкалността, като се  
набелязва и права зависимост и със степента на окисление на желязото. Докол-  
кото в дясната част на съставената от Ш к о д з ы н с к и й (1970) реакция участ-  
тва и кислород, посочената зависимост с окислителния потенциал дава осно-  
вание за извода, че изтеглянето в природни условия на равновесието към обо-  
гатен на калций амфибол, се благоприятства и от нарастването на този генети-  
чен параметър. Отчетената по амфибол-плагиоклазовия геотермометър на  
П е р ч у к, Р я б ч и к о в (1976) стойност за  $T = 480\text{—}500^\circ\text{C}$  ( $X_{\text{Ca}}^{\text{am}} = 0,77$ ,  $X_{\text{Ca}}^{\text{pl}} =$   
 $0,25\text{—}0,27$ ). Тази стойност е неприемливо ниска. Доводите са следните. На мяс-  
тото на затвърдяването на продуциралата Пловдивския плутон магма са обра-  
зувани само водосъдържащи фемични минерали (амфибол и биотит), което  
според Ш е в и ш в и л и (1973) е показателно за сравнително висока водонаси-  
теност на магмата. Най-новите данни за температурите на кристализация на  
кварцови диорити и гранити, са съответно 750—850 и 680—750°C (Петрогра-  
фия..., 1981, с. 279). Предвид на междинния химизъм на скалите на Пловдив-  
ския плутон и повишеното съдържание на вода в магмата, обуславящо пони-  
жаване на температурата на нейната кристализация, като най-долна граница за  
този генетичен параметър се очертава стойността 720—730°C. Прави впечатление,  
че сумата  $\text{Ca} + \text{Na} + \text{K} = 2,54$  в състава на амфибола е значително  
под граничната стойност от 2,9, над която могат да се очакват понижени стой-  
ности за  $T$ . Установеното отклонение явно трябва да се отдаде на преразпреде-  
лението на калция от плагиоклаза към амфибола, обусловено от повишената  
алкалност.

Подробна характеристика на генетично свързаните с Витошкия плутон пегматоидни минерализации е дадена от Д и м и т р о в (1942). Амфибол и плагиоклаз са характеризирани от находище на пегматоидна минерализация, развита в северната габрова ивица (Г р о з д а н о в, 1988а, обр. No 25). Тази пегматоидна минерализация фактически представлява едрозърнесто прекристализирани части на пироксен-амфиболово габро, изградена от амфибол и плагиоклаз. Кристалохимичната формула на амфибола е  $K_{0,05} (Na_{0,22})_{0,27} (Na_{0,02} Ca_{1,98})_{2,00} (Mg_{2,53} Mn_{0,10} Fe^{2+}_{1,16} Fe^{3+}_{0,56} Al_{0,21} Ti_{0,11})_{4,73} (Si_{7,27} Al_{0,73})_{8,00} O_{22} (OH)_{1,74} F_{0,11}$  (актинолитов амфибол, вид 11,5 по L e a k e, 1978). Алкалността е 2,41, съответно в пределите на субалкалния фацис (по Ш к о д з ы н с к и й, 1970). Тя е с 1,18 по-висока от алкалността на средния състав на амфиболи от габра, изчислен от К о с т ю к (1970, с. 46), която е 1,23. Прави впечатление високото съдържание на калций в амфибола — повишено с 0,17 спрямо това в споменатия среден състав, където калцият е 1,809. Парагенетичният с амфибола плагиоклаз е  $An_{50}$ . Отчетената по амфибол-плагиоклазовия геотермометър на П е р ч у к, Р я б ч и к о в (1976)  $T$  е  $510^{\circ}C$  ( $X_{Ca}^{am}=0,87$ ,  $X_{Ca}^{pl}=0,50$ ). Според Д и м и т р о в (1942) кристализацията на амфибола е протекла през фаза D, т.е. приблизително в интервала  $600-550^{\circ}C$ . Сумата  $Ca + Na + K = 2,27$  в разглеждания образец от амфибол съвпада с граничната стойност от 2,3. Определената по амфибол-плагиоклазовия геотермометър  $T$  е близка до долната граница на посочения температурен интервал. Повишената алкалност не е обусловила забележимо понижение на  $T$ .

Данни за Петроханския плутон са приведени в значителен брой публикации (Д и м и т р о в, 1927, 1930, 1932; В у т о в, 1970а, 1970б, 1972; Д и м и т р о в а, А р н а у д о в а, 1977; Х а й д у т о в, 1979; М а р и н о в, 1986). Обект на внимание в настоящата статия е намиращо се на около 800 m западно от Петроханския превал находище (Г р о з д а н о в, 1988б, обр. No 2).  $SiO_2$  и  $Na_2O + K_2O$  в скалата са съответно 58,35 и 6,38 %, което я определя като кварцов диорит (по класификацията, дадена в Магматическите горные породы. . ., 1983). Кристалохимичната формула на амфибола е  $(K_{0,19} Na_{0,07})_{0,26} (Na_{0,21} Ca_{1,63} Mn_{0,06} Fe^{2+}_{0,10})_{2,00} (Mg_{3,11} Fe^{2+}_{1,15} Fe^{3+}_{0,46} Al_{0,19} Ti_{0,09})_{5,00} (Si_{7,17} Al_{0,83})_{8,00} O_{22} (OH)_{1,95}$  (магнезио-амфибол, вид 11,7 по L e a k e, 1978). Алкалността е 2,06, съответно в обхвата на субалкалния фацис (по Ш к о д з ы н с к и й, 1970) и е с 0,72 над алкалността на изчисления от К о с т ю к (1970, с. 46) среден състав на амфибола от диорити, гранодиорити и кварцови диорити — 1,34. Количеството на калция е под това на посочения среден състав — 1,796, но и съдържанието на  $CaO$  в скалата е сравнително ниско — 4,81 %. По-особено внимание заслужава разликата на  $T$ , определена по двойката амфибол-биотит —  $760-770^{\circ}C$  (Г р о з д а н о в, 1988б) и по амфибол-плагиоклазовия геотермометър на П е р ч у к, Р я б ч и к о в (1976) —  $560-600^{\circ}C$  ( $X_{Ca}^{am}=0,78$ ,  $X_{Ca}^{pl}=0,37-0,43$ ). Въпреки твърде ниската сума  $Ca + Na + K = 2,10$  в състава на амфибола, вместо очакваното повишаване на  $T$ , е налице понижаване.

## Дискусия

Сложните и все още слабо изучени зависимости в природните силикатни системи от магматичен и метаморфен тип, ограничават в значителна степен цялостното характеризиране на протичащите в тях процеси. Това оказва влия-

ние и на построения, каквито са геотермометрите, основаващи се на разпределението на компоненти между двойки от съществуващи минерали, което на свой ред, в хода на тяхното приложение, налага въвеждането на съответни корекции или уговорки. Показателно за разглеждания амфибол-плагиоклазов геотермометър в това отношение е обстоятелството, че към първоначалния му вид (Перчук, 1970), по-късно е добавена споменатата уговорка за влиянието на алкалността. Доколкото, както се посочва от Перчук, Рябчиков (1976), повишаването на алкалността води до отчитането на по-ниски от действителните стойности за  $T$ , то от приведените данни за находищата в България проличава, че при алкалност около и над 2,00, дори и при твърде ниска сума  $Ca + Na + K$  в състава на амфибола, могат да се отчетат понижени стойности за температурата.

## Литература

- Бояджиев, С. 1973. Петрология на Пловдивския плутон. — Изв. Геол. инст., сер. геохим., минерал. и петрол., 22, 163—192.
- Вутов, И. 1970а. Петрохимични изследвания на интрузивните скали от Западна Стара планина между Петроханския проход и Ржана поляна. — Год. ВМГИ, 14, No 2, 153—179.
- Вутов, И. 1970б. Върху интрузивните жилни скали от Западна Стара планина между Петроханския проход и Ржана поляна. — Год. ВМГИ, 14, No 2, 179—189.
- Вутов, И. 1972. Принос към петрохимията на магматичните скали от Вършецкия Балкан. — Год. ВМГИ, 18, No 2, 147—165.
- Грозданов, Л. 1975. Амфибол от Пловдивския плутон. — Геохим., минерал. и петрол., 3, 59—68.
- Грозданов, Л. 1988а. Амфиболи от пегматоидни минерализации от Средногорската област. — Геохим., минерал. и петрол., 25, 3—19.
- Грозданов, Л. 1988б. Амфиболы Петроханской интрузии. — Докл. БАН, 41, No 9, 89—92.
- Дабовски, Х. 1969. Структурни изследвания на пловдивските „сиенити“. — Сп. Бълг. геол. д-во, 30, No 3, 295—305.
- Димитров, С. 1927. Еруптивните скали на Балкана между Петроханския проход и Ржана поляна. — Сп. БАН, 36, 93—169.
- Димитров, С. 1930. Петрографски изследвания в контактено променените зони на интрузивните скали в Балкана между гр. Берковица и Ржана поляна. — Сп. Бълг. геол. д-во, 2, No 2, 1—104.
- Димитров, С. 1932. Петрохимични изучавания върху еруптивните скали между долината на р. Бързия и Орханийската котловина. — Тр. Бълг. природоизп. д-во, 15—16, 125—158.
- Димитров, С. 1939. Постижения и задачи на петрографските изучавания у нас. — Год. СУ, Физ.-мат. фак., 35, No 3, 225—253.
- Димитров, С. 1942. Витошкият плутон. — Год. СУ, Физ.-мат. фак., 38, No 3, 89—173.
- Димитров, С. 1946. Метаморфните и магматичните скали в България. — Год. Дир. геол. и минни проучвания. А, 4, 61—93.
- Димитров, С. 1958. О развитии магматизма и размещении связанных с ним рудных месторождений Болгарии. — Изв. АН СССР, сер. геол., No 8, 3—9.
- Димитрова, Е., Р. Арнаудова. 1977. Върху петрографските особености на гранитоидите от Западна Стара планина. — Геохим., минерал. и петрол., 6, 48—65.
- Костюк, Е. А. 1970. Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород. М., Наука, 312 с.
- Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография, 2, 1983. М., Наука, 370—768 с.
- Мануйлова, М. М., В. В. Зарубин, Ю. И. Михайлова. 1975. Составы роговых обманок и биотитов как критерий глубинности гранитоидов. — Изв. АН СССР, сер. геол., No 12, 37—49.
- Маринов, Т. 1986. Петрохимични и геохимични аспекти на алкалнометасоматичния процес в палеозойски гранитоиди от Западна Стара планина. — Год. ВМГИ, 32, No 2, 43—52.

- Николов, Н. 1932. Пловдивският сиенит. — Тр. Бълг. природоизп. д-во, 15–16, 333–349.
- Перчук, Л. Л. 1967. Анализ термодинамических условий минеральных равновесий в амфибол-гранатовых породах. — Изв. АН СССР, сер. геол., No 3, 57–63.
- Перчук, Л. Л. 1970. Равновесия породообразующих минералов. М., Наука, 391 с.
- Перчук, Л. Л., И. Д. Рябчиков. 1976. Фазовое соответствие в минеральных системах. М., Недра, 287 с.
- Петрография, Т. II. 1981. М., Моск. унив., 385 с.
- Хайдутков, И. 1979. Напречни магмопроводящи структури при формирането на плутонични тела в Западна Стара планина (по примера на Петроханския плутон). — Геотект., тектонофиз. и геодинам., 10, 16–30.
- Шавишвили, И. Д. 1973. К вопросу исследования физико-химических условий формирования Мериского массива (Западная Грузия). — В: Вопросы геохимии и петрологии. Тр. Геол. инст. АН Гр. ССР, новая серия, 38, 128–152.
- Шкодзынский, В. С. 1970. Минеральные парагенезисы на контакте гранитоидов с основными породами. М., Наука, 109 с.
- Boyardjiev, S. 1979. The Srednogorie neointrusive magmatism in Bulgaria. — Geochem., Mineral. and Petrol., 10, 74-90.
- Leake, B. E. 1978. Nomenclature of amphiboles. — Min. Mag., 42, No 324, 533-563.
- Möbus, G. 1959. Der "Syenit" von Plovdiv in Bulgarien. — Abh. Geotectonik, 17, 34-57.

*Приета на 22.05.1996 г.*

*Accepted May 22.05.1996*