



Кристализационни редове при калиевоалкални кварцсиенити от Свидненската асоциация

Людмил Грозданов, Митко Попов, Константин Узунов

Геологически институт, Българска академия на науките, ул. Акад. Г. Бончев, бл. 24, 1113 София

Crystallization trends in potassic-alkaline quartz-syenites from the Svidnya association

Lyudmil Grozdanov, Mitko Popov, Konstantin Uzunov

*Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria
E-mail: mpopov@geology.bas.bg; k_uzun@mail.bg*

Abstract. For the Svidnya potassic-alkaline quartz-syenites are established the following more typical crystallization trends: 1) Main trend. It includes the predominant part of the differentiation process. The rocks have hypidiomorphic texture. In the beginning of the trend, a paragenesis of K-feldspar, amphibole, aegirine-augite and quartz with a supposed cotectic-eutectic characteristic is formed. The pyroxene is locally affected by peritectic reaction and is not presented in the interstices. In the middle parts of the main trend, the pyroxene is affected by a second peritectic reaction. Next stage of the trend, as well as the earlier interstices, leads to a more low-temperature paragenesis of K-feldspar, amphibole and quartz, at the gradually increasing role of K-feldspar and quartz. A transition of supposed cotectic-eutectic four-mineral to three-mineral paragenesis is realized here. It is assumed that the mentioned peritectic reactions are determined by the increasing of water potential. The calculated magma chemical composition of the early interstices without pyroxene is significant of the final magma chemical composition of the main crystallization trend. 2) Porphyritic facies trend. A well presented porphyritic paragenesis of K-feldspar, amphibole and aegirine-augite, to what is added some quartz in the interstices, is observed here. This paragenesis is probably a produce of considerably evolved magma that gained to cotectic-eutectic state. 3) Intermediate trend. It is manifested in the transition zone between the predominate part of potassic-alkaline quartz-syenites (with hypidiomorphic texture) and the rocks of porphyritic facies. An early pyroxene crystallization as small needle-shaped crystals at the lower water potential and a later formation of K-feldspar, amphibole and quartz is inherent here. An early incorporation of the higher-energetic Mg and Ca, compared to Na and Fe^{2+} , is typical of the amphibole both of the main trend and the porphyritic facies trend.

Key words: Svidnya association, potassic-alkaline quartz-syenites, crystallization trends.

Резюме. За Свидненските калиевоалкални кварцсиенити са установени следните три по-характерни кристализационни редове: 1) Главен кристализационен ред. Обхваща преобладаващата част от диференциационния процес, при който са формирани скали с хипидиоморфнозърнеста структура. В началото се достига до парагенеза от К-фелдшпат, амфибол, егирин-авгит и кварц с предполагаем котектично-евтектичен характер. На свой ред, в отделни малки участъци, пироксенът не участва в интерстициите, което говори, че той е претърпял перитектична реакция. В средата на главния кристализационен ред пироксенът претърпява втора перитектична реакция. Последващото развитие на реда, а също и при ранните интерстиции, води до по-нискотемпературна парагенеза от К-фелдшпат, амфибол и кварц при постепенно нарастваща роля на К-фелдшпат и кварца. Преминва се от предполагаема котектично-евтектична четириминерална парагенеза към триминерална. Приема се, че споменатите перитектични реакции са обусловени от повишаване потенциала на водата. Изчисленият химичен състав на остатъчната топилка в локално развитите ранни интерстиции без пироксен е показателен за крайния химичен състав на магмата от главния кристализационен ред. 2) Кристализационен ред при порфирния фацис. Характерна е добре обособена порфирна парагенеза от К-фелдшпат, амфибол и егирин-авгит, към която в интерстициите се прибавя и малко кварц. По всяка вероятност, става въпрос за продукт на магма, претърпяла значителна еволюция, при което тя е придобила котектично-евтектичен състав. 3) Междинен кристализационен ред. Проявен е в преходна зона между преобладаващата част от калиевоалкални кварцсиенити (с хипидиоморфнозърнеста структура) и скали от порфирния фацис. В условия на по-нисък потенциал на водата е присъща ранна кристализация на пироксен като дребни иглести кристали и по-късно образуване на К-фелдшпат, амфибол и кварц. Както в главния кристализационен ред, така и в реда при порфирния фацис е характерно участие на амфиболи с променящ се химичен състав, при които става ранно включване на по-високоенергийните Mg и Ca, спрямо Na и Fe^{2+} .

Ключови думи: Свидненска асоциация, калиевоалкални кварцсиенити, кристализационни редове.

Въведение

Интересът към разкриващите се в района на с. Свидня, Софийско, Западна Стара планина, калиевоалкални магматити се обуславя от техния специфичен минерален и химичен състав, високо съдържание на елементи-следи и широк диапазон на диференциация. Обстойна литературна справка е дадена от Vladykin et al. (2001) и Грозданов и др. (2006). В сред тези магматити Димитров (1937) отделя три групи от последователно образувани скали: шонкинити, калиевоалкални кварцсиенити и калиевоалкални кварцтингвайтпорфири (грорудитпорфири). Тези скали са развити в няколко малки хипоабисални интрузивни и жилни тела, разкриващи се на сравнително ограничена площ (42°N55–57'; 23°E16–18'). От позицията на съвременната петроложка номенклатура последната група скали трябва да се счита за амфибол-егиринови кварцсиенитпорфири. Vladykin et al. (2001) предлагат следната последователност на образуване: клинопироксен-биотитови шонкинити (I фаза), калиевоалкални биотит-амфиболови сиенитпорфири (II фаза), калиевоалкални егирин-амфиболови кварцсиенити (III фаза) и калиевоалкални амфибол-егиринови кварцсиенитпорфири (IV фаза). В настоящото изследване обект на изучаване са скалите от групата на калиевоалкалните кварцсиенити.

В последно време в дисертационния труд на Дюлгеров (2005) е предложена нова концепция за развитието на Свидненската асоциация. Считаните от Димитров (1937) за малки интрузивни тела се приемат от Дюлгеров (2005) за еднократно образувани в пределите на единен Свидненски плутон, в който кристализационната диференциация е протекла *in situ*. При този процес са формирани разнообразни по състав сиенити, а в края на процеса – и гранити. След формирането на Свидненския плутон са образувани сиенитов тип жилни скали. Според предложената от него концепция изучаваните скали принадлежат към Свидненския плутон и са междинни между по-базичните сиенитов тип скали и гранитите.

По своята същност настоящото изследване има интерпретативен характер. Обект на внимание са особености на кристализационния процес при калиевоалкалните кварцсиенити (Грозданов и др., 2008). Интересът към тези скали се предизвиква от добре изразените вариации в минералния и химичния състав, както това проличава още от описанието на Димитров (1937). Характерно е и участието в тях на егирин-авгит и Na-Ca-ви до Na-амфиболи (Grozdanov, 1982; Dyulgerov, 2003, 2005; Grozdanov et al., 2006).

Публикуваните (Владикин и др., 2001; Грозданов и др., 2006) и непубликувани наши данни за състава на скалите, амфиболите и K-фелдшпат дават възможност за разграничаване и

характеризиране на определени кристализационни редове: ред на образуване на минералите и установяване на техни парагенези, както и изменения в химичния им състав, с оглед уточняване на перитектични реакции и котектично-евтектични съотношения. Специално по въпроса за проява на котектична кристализация при изучаваните скали имат принос и Cortesogno et al. (2005). Те съобщават, че при по-примитивните кварцсиенитови топилки се осъществява ранна котектична кристализация на K-фелдшпат, Na-Ca амфибол и егирин-авгит. В работата им конкретни нейни изяви обаче не са посочени.

Във връзка с изложеното по-горе, в настоящата статия са характеризирани три кристализационни реда: един главен кристализационен ред и два допълнителни, съответно ред при порфирен фациес и междинен ред. Като част от главния ред на кристализация, а също и този при порфирния фациес, са включени и данни за химичния състав на амфиболите.

В литературата е прието (Шарков, 1983, с. 62 и редица други автори) за целесъобразно при подобни изследвания да се търси аналогия с данни от експериментално изучени системи. Доколкото за изучавания тип скали не са ни известни експериментално изследвани системи, ние използваме само данните от реалния минерален състав. Ето защо в статията терминът „кристализационен ред“ означава, че магменият диференциационен процес е определен само въз основа на природни данни.

Материал и методика

В настоящото изследване са включени скали от три разкрития, две от които са в най-южните отдели на Свидненската асоциация. Най-източното е в местността Хайдушка падина, разположена в западното подножие на вр. Церице (1233 m). На около 1 km на запад, на билото Рого е второто находище. На север-северозапад от него, на около 1,5 km е третото находище, което е със сравнително по-големи размери и заема северния склон на вр. Лиляко (1125 m). При него денивелацията е особено голяма – около 200 m.

Основната част от използваните данни са взети от трудовете на Димитров (1937) и Грозданов и др. (2006). Използвани са и материали от теренни и микроскопски наблюдения, както и частично данни за химичния състав на минерали и скали (табл. 1 и 2).

В основата на направените тълкувания по отношение на реда, парагенезата и наличието на перитектични реакции на минералите са взети предвид основните положения на концепцията за евтектична кристализация на силикатните топилки – основна тенденция в хода на кристализацията е нарастване на броя на ми-

Таблица 1
Химичен състав на скали (тегл. %)

Table 1
Chemical composition of rocks (wt. %)

Образец №	2		27	5
	скала*	интерсти- ция**	скала	скала*
SiO ₂	58,55	72,89	63,94	57,30
TiO ₂	1,50	0,57	1,13	1,43
Al ₂ O ₃	9,73	8,23	11,00	8,94
Fe ₂ O ₃	4,76	2,45	6,17	6,82
FeO	5,72	3,31	1,26	2,87
MnO	0,25	0,17	0,14	0,26
MgO	4,03	2,21	2,25	5,30
CaO	3,28	0,93	1,80	4,00
BaO	0,28	n.d.	0,21	0,19
Na ₂ O	3,42	1,92	4,20	4,23
K ₂ O	6,46	6,95	6,53	7,08
P ₂ O ₅	0,88	0,14	0,66	0,50
CO ₂	<0,03	-	0,12	0,04
H ₂ O	1,30	0,20	-	0,56
Сума	100,19	100,10	-	99,52
Ka	1,30	1,30	-	1,64
Mg#	41,80	41,67	37,06	51,18

* Grozdanov et al. (2006)

** изчислен на базата на съотношението между К-фелдшпат, амфибола и кварца (виж текста)

** calculated by the relationship between K-feldspar, amphibole and quartz (see the text)

нералите, при което се достигат котектични линии, а те на свой ред водят до точката на евтектика, където се образува най-многобройна парагенеза (Димитров, 1957; Заварицкий, Соболев, 1961; Шарков, 1983). Използвани са и следните, известни от литературата положения: изводът на Костов, (1957, с. 545) за ролята на калия и водата за стабилността на биотита – ако концентрацията на калия и водата в магмата е голяма, биотитът може да предшества образуването на островните и верижните силикати и принципът на Коновалов (Димитров, 1953, с. 110), че в процеса на магмена кристализация в състава на минералите по-рано се включват компоненти, които повишават температурата на топене. Във връзка с приложението на този принцип са използвани и енергийни коефициенти, публикувани от Иванов (1987). Използвани са и изводите на Грозданов и др. (2003) по отношение на хетероморфизма при калиево-алкални скали, показателен за три степени на водонаситеност: 1) повишена, представена от биотит и амфибол; 2) средна – само с амфибол, като K, Al и Si от биотита се включват в К-фелдшпат, а Mg-Fe съдържание на биотита се поема от амфибола; 3) понижена – амфибол-пироксенова, при която част от Ca, Na, Mg, Fe³⁺ и Si на амфибола формират пироксена.

Изчисляването на химичния състав на магмата, формирала интерстициите на скалата от местността Хайдушка падина (Грозданов и др., 2006, обр. № 2) е на базата на данните за коли-

Таблица 2
Микросондови анализи (тегл. %) и структурни формули на амфибол и К-фелдшпат

Table 2
Microprobe analyses (wt. %) and structural formulae of the amphibole and K-feldspar

Образец №	2 ² амфибол*	27 ¹	2 ² К-фелд.	27 ²	
	в интерстици	амфибол	в интерстици	К-фелд.	
SiO ₂	52,13	55,1	63,91	64,05	
TiO ₂	2,40	1,4	0,10	0,08	
Al ₂ O ₃	2,12	1,6	17,57	12,92	
Fe ₂ O ₃	6,60	n.d.	2,26	5,68	
FeO	15,02	18,5	n.d.	n.d.	
MnO	0,54	0,7	0,11	0,00	
MgO	9,48	9,9	0,24	0,00	
CaO	3,92	3,8	0,15	0,06	
Na ₂ O	5,98	6,9	1,36	0,28	
K ₂ O	1,62	1,8	14,93	15,62	
Total	99,14	99,7	100,63	98,69	
K	0,30	0,33	0,88	0,95	
Na	0,32	0,44	0,12	0,03	
ΣA	0,62	0,77	-	-	
Na	1,38	1,45	-	-	
Ca	0,62	0,55	0,01	-	
Mn	0,00	0,00	-	-	
Fe ²⁺	0,00	0,00	-	-	
ΣB	2,00	2,00	-	-	
Mg	2,07	2,09	0,02	-	
Mn	0,10	0,08	-	-	
Fe ²⁺	2,01	0,77	-	-	
Fe ³⁺	0,57	1,39	0,08	0,20	
Al	0,02	0,08	0,96	0,73	
Ti	0,26	0,15	-	-	
ΣC	5,00	4,56	-	-	
Si	7,65	7,81	2,96	3,05	
Al	0,35	0,19	-	-	
Ti	0,00	0,00	-	-	
ΣT	8,00	8,00	-	-	
mg#	0,51	0,73	Or	79,21	76,53
Na	1,70	1,89	Ab	11,88	3,06
Al	0,37	0,27	An	0,99	0,00
Fe	2,58	2,16	Fe**	7,92	20,41

mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺)

* Grozdanov et al. (2006)

** Fe = KFe³⁺Si₃O₈

Микросондови анализи с JEOL 733 Superprobe (Геологически институт на БАН): ¹ по WDS (използвани са 13,0 тегл. % Fe₂O₃ и 6,5 тегл. % FeO, изчислени по 1,423 Fe³⁺ от 15 катиона без K); ² по EDS

Microprobe analyses Jeol 733 Superprobe (Geological Institute, BAS): ¹ by WDS (we use 13.0 wt. % Fe₂O₃ and 6.5 wt. % FeO, calculated by 1.423 Fe³⁺ from 15 cations, without K); ² by EDS

чеството на минералите и техния химичен състав. Интерстициите заемат около 15% от скалата, а количеството на минералите в тях е следното: К-фелдшпат – 7%, амфибол – 3% и кварц – 5%. Използваните данни са приведени в табл. 1 и 2.

Данните за нормативния състав са получени с помощта на компютърната програма (Lowenstern, 2000) въз основа на схемата, предложена от Kelsey (1965) за изчисление по CIPW метод.

Кристализационни редове

Главен кристализационен ред

За начало на процеса на формиране на калиево-алкалните кварцсиенити Димитров (1937) приема скалите от вътрешните, по-едрозърнести и хомогенни части на разкритието в местността Хайдушка падина. Скалите са означени като егириин-амфиболови кварцсиенити с Na-ортоклаз. Анализът на тези скали, означен като № VII, е показателен за техния K-алкален характер. Главни минерали са K-фелдшпат и амфибол, второстепенни – егириин, кварц и албит, акцесорни – биотит, апатит, титанит, магнетит и хематит; структура – хипидиоморфнозърнеста. Главните минерали са кристализирали почти едновременно. Те постепенно издрембняват в основната маса, към тях се присъединява и егириин, като в интерстициите идва и кварц. Албитът запълва пукнатини в K-фелдшпат или е представен като ламели на отсмесване в него. Биотитът замества по пукнатини егирина. По своите оптични свойства амфиболът показва отчетливо изразен зонален характер. Изграждащите скалата минерали са в следните количества (в обемни %): ортоклаз – 69,94; алкален амфибол – 14,53; егириин – 5,77; кварц – 5,37; биотит – 0,44; апатит – 1,69; албит – 0,55; магнетит – 1,03; хематит – 0,47; титанит – 0,77.

Тази скала е характеризирана и от Грозданов и др. (2006, обр. № 2) във връзка с изучаване на химичния състав на зоналния амфибол. Тя е

аналогична на описания от Димитров (1937) обр. № VII. Изключение прави само обстоятелството, че образуването на пироксен в нея се прекратява преди оформянето на интерстиции. Заслужава да се отбележи и това, че: 1) в нея SiO₂ е малко по-ниско, съответно Mg# е малко по-висок (табл. 3) и 2) отсъствието на пироксен в интерстициите е едно локално явление. При сравняване на изчисления състав на интерстициите с този на съдържанието на скалата (табл. 1), проличават забележими различия. Характерно е увеличаване на SiO₂ и съответно намаляване на мафитите. Това е показателно за сравнително голям размах на кристализационния процес в изследваната скала с насоченост към диференциация на магма с кисел, гранитов характер.

В голямото разкритие по северния склон на вр. Лиляко в посока от север на юг обстановката е следната:

– в най-северните му части, съответно на юг от махала Падеж, описаната от Димитров (1937, обр. № VIII) скала е твърде близка до скалата от разкритието при Хайдушка падина (обр. № VII). Като различие се посочва главно наличието на K-фелдшпат, определен по оптичните си свойства като микроклин. Съответно, скалата е означена като егириин-амфиболов кварцсиенит с микроклин;

– в разположено малко по-нагоре разкритие (Димитров, 1937, обр. № IX) скалата е забележимо по-левкократна и в нея не се установява със сигурност егириин, но се приема, че поради по-силно изразени променителни процеси, неговото участие вероятно е заличено;

Таблица 3

Данни за CIPW нормативни минерали, SiO₂ (тегл. %) и Mg# на изследваните скали

Table 3

CIPW norms, SiO₂ (in wt. %) and Mg# for the studied rocks

Sample	5	2	VII	VIII	IX	27	2int*	48	45	47
Q	1,67	5,31	5,56	5,25	9,80	13,84	33,00	5,29	9,34	21,83
Co	–	–	–	–	–	–	–	–	0,04	0,21
Or	41,84	38,18	48,40	53,07	71,51	38,59	41,07	54,96	65,89	63,53
Ab	6,57	14,08	10,00	12,03	1,50	20,22	3,64	3,21	1,96	1,95
Di	13,03	8,56	6,92	7,74	0,72	3,01	3,06	1,35	–	–
Hu	10,40	14,13	8,06	4,07	2,16	4,21	9,44	9,16	4,73	2,24
Ac	19,73	13,09	16,83	11,02	10,01	13,49	7,09	19,18	11,47	–
Mt	–	0,34	0,66	2,69	1,88	1,24	–	–	0,49	1,16
Il	2,72	2,85	1,90	1,71	0,63	2,15	1,08	2,28	1,18	2,58
Hm	–	–	–	–	0,46	0,65	–	–	1,51	3,92
Ap	1,16	2,04	1,16	1,14	0,63	1,53	0,32	0,63	1,09	0,14
Cc	0,09	0,05	–	–	–	0,27	–	0,36	0,18	0,09
Ns	1,59	–	–	–	–	–	1,06	1,41	–	–
DI	50,08	57,56	63,96	70,35	82,81	72,65	77,71	63,45	77,19	87,31
AI	1,64	1,30	1,34	1,20	1,16	1,27	1,30	1,51	1,20	1,00
SiO ₂	57,30	58,55	60,75	60,27	64,04	63,94	72,89	59,69	62,11	65,46
Mg#	51,18	41,80	41,22	42,30	24,42	37,06	41,67	36,84	31,97	19,30

Mg# = Mg/(Mg + Fe_{total})

Ns – Na-метасиликат; DI – индекс на диференциация; AI – апаитов индекс

* Изчислен химичен състав на интерстициите

Ns – Na-metasilicate; DI – Differentiation Index; AI – Apatitic Index

* Calculated chemical composition of the interstices

– южно, в средните части на разкритието, северно от вр. Лиляко по микроскопски данни (Димитров, 1937) скалите са изградени само от К-фелдшпат, амфибол и кварц. Пак поради напреднали постмагматични промени не е възможно подбирането на проби за химичен анализ;

– в най-горните, както и в североизточните части на това находище кварцът нараства значително и започва да играе ролята на главен минерал. Скалите стават левкократни, съдържайки главно кварц и К-фелдшпат. В северозападните отдели под вр. Лиляко те са описани от Андреев (1910) като кератофири;

– описаните от Дюлгеров (2005) гранити също се разкриват в най-горните части на разглежданото находище. Както кератофириите, така и гранитите са засегнати от променителни процеси и не са химично характеризирани.

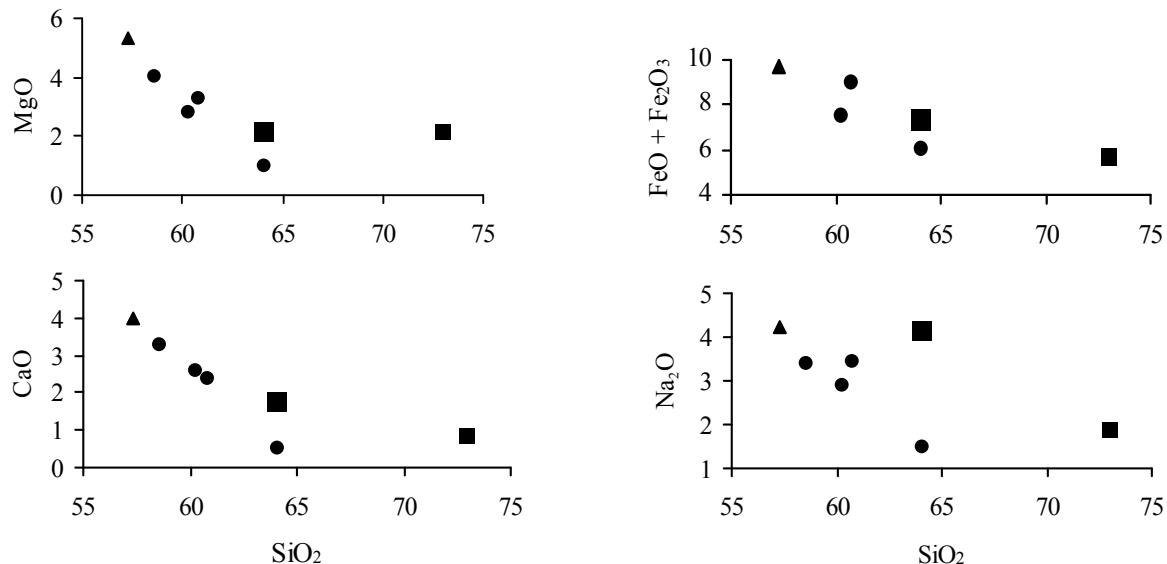
Въз основа на теоретични съображения, Димитров (1937, с. 330) лансира идеята, че при едно по-нататъшно развитие на диференцицията, би се стигнало до образуване на аплити, а на финала – и до чист кварц. Сама по себе си описаната главна тенденция на диференциация може да се счита за един мащабен кристализационен ред.

Известна възможност за характеризиране на началото на безпироксеновата част от развитието на главния кристализационен ред предоставя сравнително добре запазеният амфиболов кварцсиенит от централните части на голямото находище северно от вр. Лиляко (табл. 1, обр. № 27). Скалата е левкократна, среднозърнеста, с размери на кристалите до 3–4 mm. Изградена е глав-

но от К-фелдшпат (~80%), кварц (~10%) и амфибол (~5%). Амфиболът е хомогенен, с рихтеритов химизъм. Данни за състава на К-фелдшпат и амфибола са дадени в табл. 2.

За да се получи една по-цялостна представа за развитието на началната част на главния кристализационен ред, определено внимание заслужава сравняването на състава на скалата от вътрешните части на находището в Хайдушка падина (Грозданов и др., 2006, обр. № 2) с описания по-горе кварцсиенит. Проличават следните особености (в tepl. %): увеличаване на SiO_2 с ~5 %, на Al_2O_3 с ~2%, на Fe_2O_3 с ~1,5%, и на Na_2O с ~1%, и намаляване на FeO с ~4%, на MgO с ~2% и на CaO с ~1,5%.

Отсъствието на данни за химичния състав на крайните продукти на изучавания магматизъм (богатите на кварц скали и гранитите) до известна степен е допустимо да се компенсира от изчисления химичен състав на интерстициите на скалата от местността Хайдушка падина (обр. № 2int, табл. 1). В тях, подобно на крайните етапи от развитието на главния кристализационен ред, не взема участие пироксен, те са също диференциат на този магматизъм и са с гранитов характер. От сравнението на данните за химичния състав на скалата от обр. № 27 с изчисления състав на интерстициите, т.е. на финалния продукт на изучавания магматизъм (неговата безпироксенова част) се установява следното: увеличаване на SiO_2 с ~9%, на FeO с ~2% и на K_2O с ~0,5%, и намаляване на Al_2O_3 с ~3%, на Fe_2O_3 с ~4%, на CaO с ~1% и на Na_2O с ~2,5%. Посочените тенденции проличават добре и на фиг. 1.

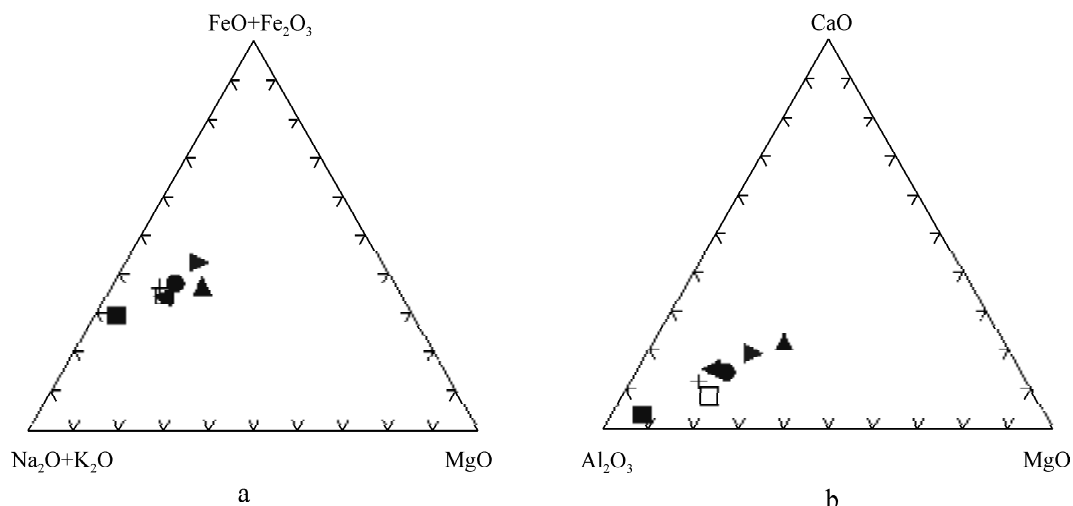


Фиг. 1. Харкерови диаграми на някои оксиди в изследваните скали

▲ порфирен фацис, обр. № 5; ● главен кристализационен ред, обр. № 2, VII, VIII и IX; ■ начало на финалната част на главния кристализационен ред; ■ пироксенова част на главния кристализационен ред, обр. 2int – изчислена магма на интерстициите (предполагам краен член на финалната непироксенова част на главния кристализационен ред)

Fig. 1. Harker diagrams of some major oxides in the investigated rocks

▲ porphyritic facies, sample No 5; ● main trend, samples No 2, VII, VIII and IX; ■ beginning of the final part of the main crystallization trend; ■ pyroxene-bearing part of the main crystallization trend, sample 2int – calculated interstitial magma (supposed end member of the final non-pyroxene part of the main crystallization trend)



Фиг. 2. AFM диаграми за главния кристализационен ред (номерата отговарят на образците в табл. 3)
 Fig. 2. AFM diagrams for the main crystallization trend (the numbers correspond to the samples in Table 3)

► 2; ▲ 5; + 27; ● VII; ◄ VIII; ■ IX; □ Int

Най-общо, с нарастване на SiO_2 , съдържанията на MgO , $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO и Na_2O плавно намаляват, но при Na_2O тази тенденция не е така добре изразена. При прехода към безпироксеновата част на главния кристализационен ред (обр. № 27) става известно увеличаване на MgO , $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ и CaO , а при Na_2O това увеличаване е още по-силно изразено.

На фиг. 2а се наблюдава, че в скалите от началната част на главния кристализационен ред се проявява добре изразена тенденция на намаляване на Mg и Fe и нарастване на ролята на алкалиите, особено на K_2O (в обр. № IX неговото съдържание е особено високо – 12,10 тегл. %). Проличава и близостта в състава на обр. № 27 и 2int, показателно за възможно родство между тези скали при развитието на диференциационния процес. От фиг. 2б се вижда, че в скалите от началната част на главния кристализационен ред ролята на Mg и Ca е малка, за сметка на ролята на Al . Тук, както и на фиг. 2а, е подчертана близостта в състава на обр. № 27 и 2int.

От приведените на табл. 3 данни в последователността на образците с номера 2-VII-VIII-IX от ранната част на главния кристализационен ред, към обр. № 27 и интерстициите (обр. № 2int), проличават следните по-ясно проявени тенденции: постепенно нарастване на нормативния ортоклаз, при прехода към безпироксеновата част той намалява, а в интерстициите нараства. Аналогично е и с индекса на диференциация. При нормативния диопсид и хиперстен, обратно, в посочения ред те намаляват, а в безпироксеновата част и в интерстициите нарастват.

От приведените данни проличават и следните особености. В средата на диференциационния процес образуването на пироксен приключ-

ва. На свой ред отбелязаното отсъствие на пироксен в интерстициите в обр. № 2 от местността Хайдушка падина (Грозданов и др., 2006) сочи, че е възможно в отделни локални участъци и в пределите на ранната диференциация да се стигне също до прекратяване на образуването на пироксен. И двете прекъсвания трябва да се окачествят като израз на перитектична реакция. Отсъствието на корозия на пироксена може да се отдаде на ефекта на по-бързо охлаждане, присъщ за хипоабисални условия.

В контекста на описания от Грозданов и др. (2003) хетероморфизъм при калиевоалкални сиенити, проличава преминаване от ниска степен на водонаситеност (с пироксен) към умерена степен на водонаситеност. При последната Ca , Na , Mg , Fe^{3+} и Si се включват в състава на амфибола. От тази гледна точка отсъствието на пироксен в интерстициите на скалата от местността Хайдушка падина (обр. № 2) може да се отдаде на локално повишаване на количеството на водата в края на кристализацията на магмата. На свой ред отсъствието на пироксен в скалите от финалната част на диференциационния процес може да се счита като показателна за едно по-мощно обогатяване с вода в резултат на напредване на кристализационния процес.

Кристализационен ред при порфирен фациес

Според Димитров (1937) със скалите от главния кристализационен ред чрез постепенни преходи са свързани два вида скали, означени като порфирен (ортофирен) и тингвайтов шпировиден фациес.

Порфирният фациес е свойствен на крайните части на по-големите тела и особено на жилните, където поради по-бързото охлаждане се стига до порфирна структура. Скалите са по-богати на мафични компоненти. Изградени са също от К-фелдшпат, амфибол и егирин. Кварцът варира в известни граници, понякога е в съвсем малко количество и идва само в интерстициите. Тези скали са означени като алкални кварцсиенитпорфири. Албит в тях се установява само като ламели на отсмесване в К-фелдшпат. Минералите от порфирната генерация постепенно издрейбняват и преминават незабелязано в основна маса.

Тингваитовият шпировиден фациес е представен главно в крайните части на по-големите находища. Характерни са разнообразни вариации в количествата на К-фелдшпат, амфибола и пироксена, при нарастваща роля на последния. Приема се, че тук развитието на процесите е показателно за диференциацията на т.нар. кварцтингваитпорфири (Димитров, 1937).

По своята същност разглежданите два допълнителни фациеса също имат характер на кристализационни редове. Към изложеното заслужава да се добави, че в скали от порфирния фациес е установен кородиран кафяво-червен биотит, обгърнат от едри амфиболови кристали (Минчева-Стефанова, 1951, с. 46 и фиг. 5).

Споменатият порфирен фациес според Димитров (1937) е особено добре представен на билото Рого. Скалите са сравнително едрозърнести. Порфирната генерация е представена от добре индивидуализирана парагенеза от К-фелдшпат (~30%), зонален амфибол (~20%) и егирин-авгит (~10%). В интерстициите присъства и малко кварц (~2%). Данни за химичния състав на скалата са публикувани от Грозданов и др. (2006) – обр. № 5. От всички публикувани анализи на изучаваните скали (Димитров, 1937; Vladyskin et al., 2001; Грозданов и др., 2006), обр. № 5 е с най-ниско съдържание на SiO_2 (57,30 тегл. %) и съответно с най-висок Mg\# (51,2). Добре изразената триминерална порфирна парагенеза, в съответствие с двете посочени особености на обр. № 5 (фиг. 1, 2, 3; табл. 1 и 3), дава основание да се предположи, че изследваната скала е продукт на една напреднала в своята еволюция магма. Тя е придобила котектично-евтектичен характер като се достига до крайна четириминерална парагенеза, в интерстициите на която участва и кварц.

Установеният от Минчева-Стефанова (1951) кородиран кафяво-червен биотит в порфирния фациес е също показателен за една по-продължителна еволюция на разглежданата магма. Съгласно споменатият извод на Костов (1957, с. 545) ранното образуване на биотит в порфирния фациес би могло да се отдаде на повишено съдържание на вода в магмата, на фона на присъщото за изследваните скали високо съдържание на калий. На свой ред добре изразената корозия на биотита може да се счита за обусловена от пос-

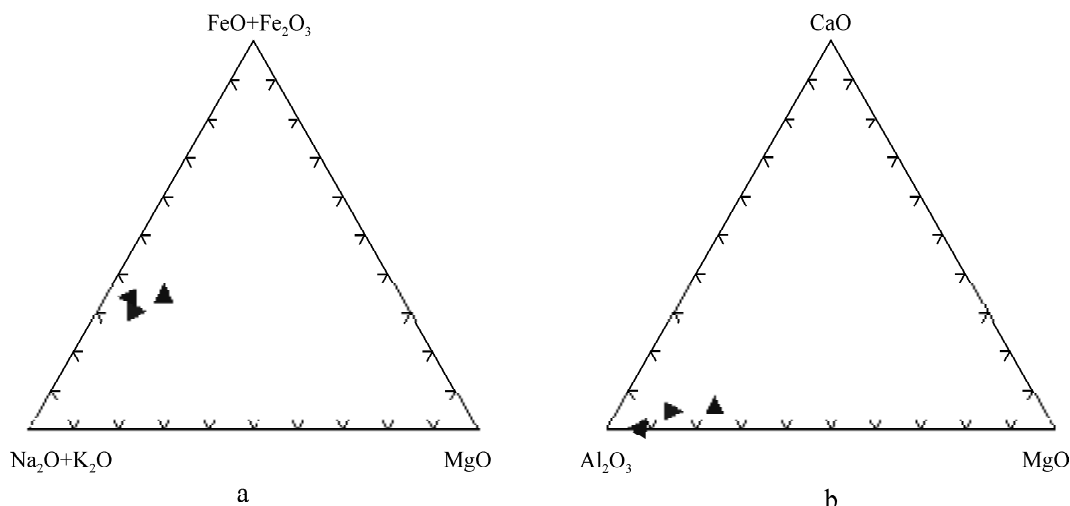
ледващо понижаване на потенциала на водата. Може да се допусне, че образуването на биотит и неговата корозия са протекли при по-дълбочинни условия, където охлаждането е по-бавно, в по-ранните етапи от формирането на калиево-алкалните кварцсиенити.

Известна оценка за размаха на кристализационния ред в посока към порфирния фациес може да се даде при сравняване на химичния състав на скалите от находищата в Хайдушка падина и на билото Рого (Grozdanov et al., 2006, обр. № 2 и 5). Показателно е забележимото увеличаване на Fe_2O_3 (от 4,76% до 6,82%), на MgO (от 4,03% до 5,30%), на CaO (от 3,28 % до 4,00%), на K_2O (от 6,46% до 7,08%), на Na_2O (от 3,42% до 4,23%) и намаляване на FeO (от 5,72% до 2,87%), минималното намаляване на SiO_2 (от 58,55% до 57,30%) и значителното увеличаване на Mg\# (от 41,80 до 51,18). Коефициентът на алкалност нараства (от 1,30 до 1,64).

По-особеното положение на скалата от билото Рого (обр. № 5) проличава и от фиг. 1 – тя е с най-ниско силициево, най-високо магнезиево и сравнително ниско съдържание на FeO спрямо скалите от началото на главния кристализационен ред, маркирано от обр. № 2 (фиг. 2). Особено добре проличава по-ранния характер на разглежданата магма и от фиг. 3, от която се вижда, че влиянието на Al_2O_3 при разглежданата магма е по-малко от това при скалите от главния кристализационен ред. От данните за нормативните минерали (табл. 3) особено внимание заслужава наличието на нормативен Na -силикат. Неговото участие се обуславя от превес на сумата на Na и Fe^{3+} спрямо Al , което може да се счита за критерий за особено висока недоситеност на Al . За разлика от всички включени в настоящото изследване скали, само в тази скала и в изчисленията за интерстициите състав на скалата от Хайдушка падина (обр. № 2int) се наблюдава такъв силен дефицит на алуминий.

Междиен кристализационен ред

В северозападните части на голямото разкритие в северния склон на вр. Лиляко между скалите, илюстриращи главната кристализационна последователност и крайния порфирен фациес се оформя преходна зона с дължина около 200 m. В нейната по-южна част, от север на юг, скалите стават все по-левкократни (Vladyskin et al., 2001, обр. № 48, 45 и 47) с добре представен порфирен К-фелдшпат с размери до 3–4 mm. SiO_2 нараства забележимо (от 59,69 и 62,11 до 65,46 тегл.%), Mg\# силно намалява (от 36,8 и 32,00 до 19,3), К-фелдшпат варира от ~70 до ~80%, мафичните компоненти намаляват, участието на кварц достига до 10%. Пироксенът е представен като дребни иглести кристали. Част от тях са включени в К-фелдшпат. Оформя се кристализационен ред от парагенеза К-фелдшпат и пироксен към па-



Фиг. 3. AFM диаграми за междинния кристализационен ред (номерата отговарят на образците в табл. 3)

Fig. 3. AFM diagrams for the intermediate crystallization trend (the numbers correspond to the samples in Table 3)

► 45; ◄ 47; ▲ 48

рагенеза К-фелдшпат, амфибол и кварц. Този специфичен ред, по всяка вероятност е обусловен от първоначална ниска степен на водонаситеност, благоприятстваща образуването на пироксен, която постепенно се повишава до умерена степен с участие само на амфибол (Grozdanov et al., 2003).

Аналогия с установения кристализационен ред е представена в жилин К-алкален кварцсегнит от Сеславската асоциация (Грозданов и др., 1980, обр. № 8). За тази скала е характерно повишено съдържание на К-фелдшпат, частично на амфибол, минимално на по-ранен егирин, представен от дребни иглести кристали и забележимо количество от кварц. Показателно за тази скала е участието на ранен кородиран биотит. Това, както вече беше отбелязано при порфирния фациес е показателно за етап, протекъл при по-дълбочинни условия и повишен потенциал на водата.

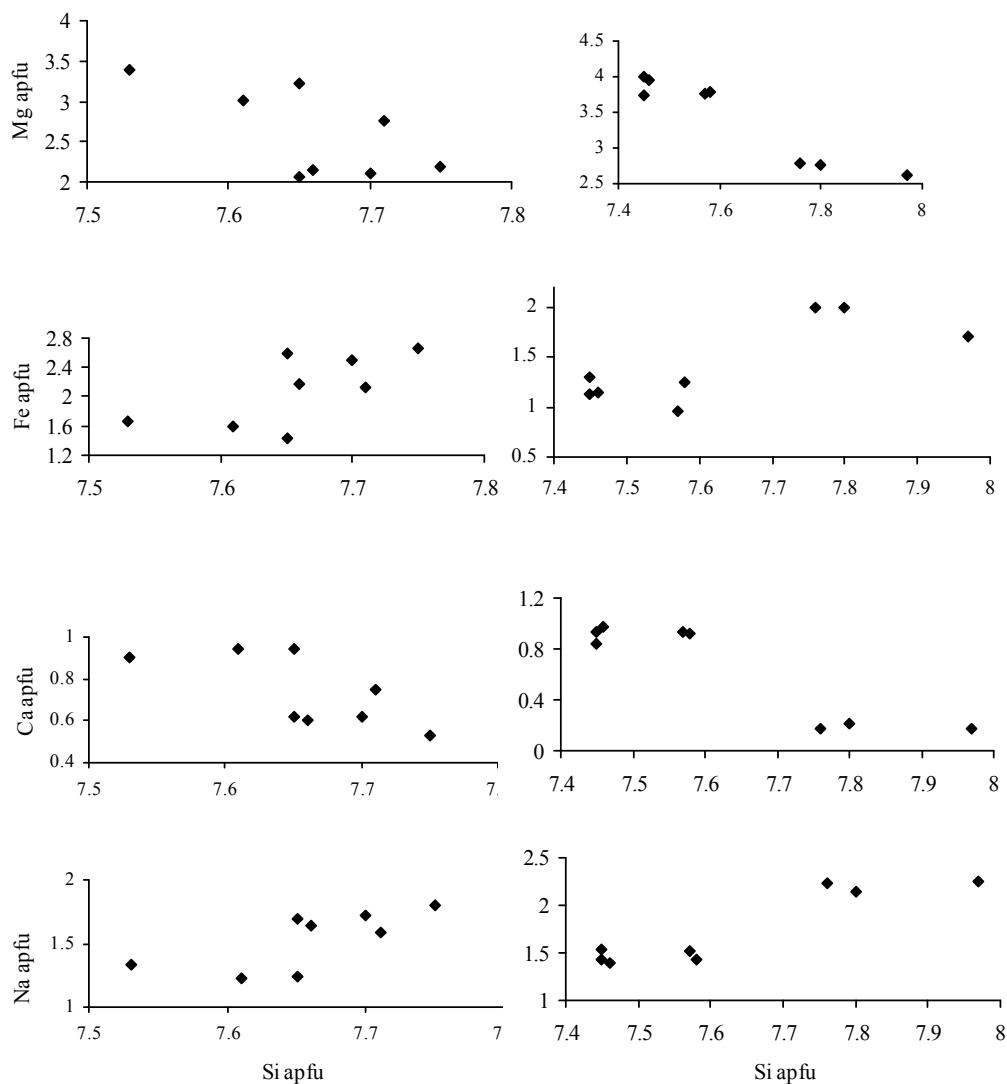
От фиг. 3а се вижда, че размахът на вариациите на компонентите при междинния кристализационен ред е много слаб. За разлика от главния кристализационен ред при междинния ред ролята на Mg е почти два пъти по-слабо изразена. В хода на развитието му проличава едновременно нарастване на ролята на алкалиите и намаляване на ролята на Mg и Fe. На фиг. 3б се наблюдава добре изразена тенденция на намаляване на ролята на Mg, по-слабо изразена тенденция на намаляване на ролята на Ca и значително нарастване на ролята на Al.

От приведените в табл. 3 данни в поредицата от образци 48, 45 и 47 (Vladykin et al., 2001) проличават добре изразена зависимост на нарастване на индекса на диференциация и кварцовото число, намаляване на хиперстена и агапитовия индекс спрямо SiO_2 и $\text{Mg}\#$.

Изоморфизъм при амфиболите

Тенденциите на развитие на изоморфните замествания при амфиболите представляват съществена част, както от главния кристализационен ред, така и от реда при порфирния фациес. Тези тенденции, проявяващи се в изменение на състава на амфиболите при зоналното им изграждане, са характеризирани от Грозданов и др. (2006). При находището в местността Хайдушка падина (обр. № 2) тенденцията е от рихтерит до магнезиоарфведсонит. В находището на билото Рого (образец № 5, порфирен фациес) тенденцията започва от магнезиокатофорит, минава през рихтерит и достига до магнезиоарфведсонит. И при двете зонални изменения главните изоморфни замествания се характеризират с намаляване на Ca и Mg и увеличаване на Na и Fe^{2+} . Изчислените от Иванов (1987) енергийни коефициенти за посочените компоненти са както следва: Ca 5,99; Mg 7,56; Na 5,14 и Fe^{2+} 7,23. По-ранното включване на по-високоенергийните компоненти Ca и Mg, които повишават температурата на топене, е в съответствие с правилото на Коновалов (Димитров, 1953, с. 110). Според Заварицки и Соболев (1961, с. 65) зоналността на амфиболите може да се отдаде на по-бързото охлаждане, присъщо на хипоабисални условия.

От диаграмите на фиг. 4 проличават следните по-ясно изразени промени в зоналността на изучаваните амфиболи: при обр. № 2 с нарастване на Si плавно нараства Na, а Mg и Ca плавно намаляват, докато промяната в съдържанието на Fe има стъпаловиден характер; при обр. № 5 всички изменения показват стъпаловиден характер като съдържанието на Na и Fe нараства, а на Mg и Ca – намалява. Доколкото при порфирния фациес охлаждането е по-бързо, а и при вероятна намеса



Фиг. 4. Тенденции на елементния състав на зоналните амфиболи от изследваните скали
 лява колона – обр. № 2 (Хайдушка падина); дясна колона – обр. № 5 (билото Рого)

Fig. 4. Trends of the elements in the zonal amphiboles of the investigated rocks
 left column – sample No 2 (Haydushka Padina locality); right column – sample No 5 (ridge of Rogo)

на други фактори се стига до стъпаловидните тенденции, но при амфиболите от находището Хайдушка падина все пак се запазва по-добре главната насоченост на изоморфизма.

Повишеното съдържание на Fe_2O_3 в скалата от обр. № 27 и отсъствието на пироксен като консуматор на Fe^{3+} дава известно основание да се допусне максималното възможно съдържание на Fe^{3+} в амфибола (табл. 2). Изчислената структурна формула за амфибола (табл. 2) отговаря на рихтерит. Наличието на около 10% празни октаедрични места е подобно на това при някои амфиболи с по-ниско съдържание на мафичен компонент и алуминий и повишено съдържание на Fe^{3+} , наблюдавано и в някои амфиболи от Свидненската и Сеславската асоциация (Грозданов и др., 1980).

Изводи

1. Разграничени са три кристализационни реда: главен ред, ред при порфирния фациес и междинен ред. Както в главния кристализационен ред, така и при порфирния фациес, е характерно участие на амфиболи с променящ се химичен състав, при които рано се включват повисокоенергийните Mg и Ca, спрямо Na и Fe^{2+} .

2. Характерно за главния ред е преход от четири- към триминерална по-нискотемпературна парагенеза, обусловен от повишаване потенциала на водата. Този преход е резултат от прекъсване в образуването на пироксен поради протекла перитектична реакция. В началото главният кристализационен ред се характеризира с почти едновременно образуване на

К-фелдшпат и зонален амфибол, към които постепенно се прибощава егирин-авгит, а в крайния етап се оформя четириминерална парагенеза с участие и на кварц. Тази четириминерална парагенеза по всяка вероятност е с котектично-евтектичен характер. Оформилата се след мащабната перитектична реакция на пироксена по-нискотемпературна триминерална парагенеза от К-фелдшпат, амфибол и кварц продължава своето развитие с постепенно нарастваща роля на К-фелдшпат и кварца.

3. Формирането на добре индивидуализирана порфирна парагенеза от К-фелдшпат, зонален амфибол и егирин-авгит, в съчетание с побазичен състав на скалата, т.е. сравнително висок Mg#, дава основание да се приеме, че тези скали са произлезли от една претърпяла сравнително дълга еволюция магма с още по-добре изразен котектично-евтектичен характер. Парагенезата се дооформя цялостно в дребнозър-

нещата основна маса, в която се добавя и минимално количество кварц.

4. Изчисленият химичен състав на остатъчната топилка в локално развитите ранни интерстиции без пироксен е показателен за крайния химичен състав на магмата на главния кристализационен ред.

5. В преходната зона между скалите на главния кристализационен ред и порфирния фацис става постепенно повишаване на количеството на К-фелдшпат и кварца и намаляване на Mg# на скалата. Оформя се специфичен ред на кристализация: К-фелдшпат, по-ранен егирин и късна парагенеза от К-фелдшпат, амфибол и кварц.

Благодарности: Авторите изказват своите благодарности на редактора Йоцо Янев за направените критични бележки и ценни препоръки, допринесли за значително подобряване на текста на настоящата статия.

Литература

- Андреев, П. 1910. Еруптивните скали при село Свидня (Искрецко). – *Год. СУ*, 5, 1–19.
- Грозданов, Л., Т. Томов, С. Асенов. 1980. Химизъм, рентгенография и мьосбауерови спектри на натриево-калциеви и алкални амфиболи от районите на селата Сеславци и Свидня, Софийско. – *Геохим., минерал. и петрол.*, 13, 45–60.
- Грозданов, Л., К. Узунов, Н. Владыкин. 2006. Химичен състав на зонални амфиболи от Свидненските калиево-алкални магмени скали. – *Геохим., минерал. и петрол.*, 44, 57–71.
- Димитров, С. 1937. Принос към изучаването на нашите калиево-алкални скали. Еруптивните скали при с. Свидня. – *Год. СУ, Физ.-мат. ф-т.*, 33, 3–ест. история, 291–343.
- Димитров, С. 1953. *Специална петрография*. С., Наука и изкуство, 372 с.
- Заварицкий, А. Н., В. С. Соболев. 1961. *Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород*. М., Госгеолтехиздат, 383 с.
- Иванов, И. М. 1987. Об одном способе определения динамики распределения редких элементов в процессе становления гранитных пегматитов. – *Геохим., минерал. и петрол.*, 23, 18–31.
- Костов, И. 1957. *Минералогия*. С., Наука и изкуство, 820 с.
- Минчева-Стефанова, Й. 1951. Върху алкалните амфиболи от калиево-алкалните кварцсиенити при с. Свидня, Софийско. – *Изв. Геол., геогр. и хим. инст.*, 1, 41–62.
- Шарков, Е. В. 1983. *Петрология магматических процессов*. М., Недра, 200 с.
- Cortesogno, L., L. Gaggero, L. Grozdanov, S. Yanev, L. Buzzi, F. Slejko. 2005. Carboniferous peralkalic polyphase intrusions in the Bulgarian segment of the Variscan belt. – In: *Geophys. Res. Abst.*, 7, 03619, 2005. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-03619. European Geosciences Union 2005.
- Dyulgerov, M. 2003. Comparative mineralogical study on pyroxenes and amphiboles from Variscan potassic-alkaline magmatism in Stara Planina Mts., Bulgaria. – In: *Abstracts of the Annual Sci. Conf. of the Bulg. Geol. Soc. "Geology 2003"*. Sofia, December 11–12, 27–29.
- Dyulgerov, M. M. 2005. *Le plutonisme de tendance alcaline potassique de Stara Planina, Bulgarie: étude pétrologique des complexes de Buhovo-Seslavitzi, Svidnya et Shipka*. Thèse, Docteur en Sci., l'Université Paris XI – Orsay, 310 p.
- Grozdanov, L. 1982. Crystallochemistry of amphiboles from the potassium-alkaline igneous rocks from the village of Svidnya, Western Stara Planina Mountain. – In: *Papers of 13th General IMA, Meet.* Varna, September 19–25, 119–120.
- Grozdanov, L., K. Uzunov, A. Andreev. 2003. New data on the heteromorphic relationships of K-alkaline magmatites in the area of Seslavitzi and Svidnya village, Sofia district. – In: *Abstracts of the Annual Sci. Conf. of the Bulg. Geol. Soc. "Geology 2003"*. Sofia, December 11–12, 46–48.
- Grozdanov, L., M. Popov, K. Uzunov. 2008. Crystallization trends in potassic-alkaline quartz-syenites. – In: *Abstracts of the Annual Sci. Conf. "Minerogenesis 2008"*. Sofia, Bulg. Geol. Soc. and Bulg. Min. Soc., 41–42.
- Kelsey, C. H. 1965. Calculation of the C.I.P.W. norm. – *Mineralogical Magazine*, 34, 276–282.
- Lowenstern, J. 2000. CIPW Norm Calculation Software. http://volcanoes.usgs.gov/yvo/aboutus/jlowenstern/other/software_jbl.html
- Vladykin, N. V., L. A. Grozdanov, I. K. Bonev. 2001. Chemical composition and geochemical characteristics of the Svidnya magmatic potassic-alkaline association, Western Stara Planina Mountain. – *Geochem., Mineral., Petrol.*, 38, 3–22.

(Постъпила на 20.12.2008 г., приета за печат на 24.02.2009 г.)
Отговорен редактор Йоцо Янев