

Акцесорният циркон от метаморфния комплекс в Централните Родопи

*Иван Иванов, Митко Попов, Анелия Радулова,
Цветослав Илиев*

Ivanov, I. M., M. Popov, A. Radulova, Tz. Iliev. 1995. Accessory zircon in the Central Rhodope metamorphic complex. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 30,

Accessory zircon occurs in all kinds of gneisses and migmatites throughout the stratigraphic section of the Central Rhodope metamorphic complex. It forms prismatic crystals, less than 1 mm in size, with length-to-width ratios of 1,5 to 3. The crystals are distinctly divided into two groups or generations: dull translucent crystals with strongly corroded faces and edges, zonal structure and numerous inclusions; transparent crystals of smooth brilliant faces, commonly with rounded edges, homogeneous internal structure and varying quantity and type of inclusions. According to the morphogenetic classification of Pupin, the main morphological zircon types of this study fall into the field of crustal leucogranites and migmatites with temperatures of formation between 600 and 750°C. Only the zircons from the Bachkovo and Byala Cherkva Formations lie in the upper right corner of the typological diagram which indicates lower temperatures of their formation and a higher alkalinity of the environment.

The electron-probe microanalysis has shown small variations of the zircon chemical composition and a comparatively low content of trace elements (Hf, U, Th) in the crystals. These elements are concentrated in the crystal peripheries which is a magmatic type of zonal distribution. The Zr/Hf ratios are always higher in the zircon crystals than in the host rocks.

The first zircon generation is most widespread in the Shiroka Laka and Bachkovo Formations which are of proven protomagmatic genesis. These zircons are probably also of a primary magmatic origin. The second zircon generation is a product of the metamorphic and ultrametamorphic processes in the protolith involving metamorphic differentiation, subsolidus differentiation and anatexis, the role of which was different in the different parts of the metamorphic complex.

Key words: accessory zircon, morphology, chemical composition, metamorphic rocks, Central Rhodope Mts.

Address: Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia.

Акцесорният циркон се използва отдавна и широко за петроложка и генетична корелация на магмени скали, особено за гранитоиди. Това се дължи на две характерни особености на този минерал: той присъства във всички разновидности на скалите и реагира чувствително на измененията на физикохимичните параметри на скалообразувания процес със съответни изменения в морфологията, хабитуса и химичния състав на кристалите.

Първоначално са използвани хабитусните особености на цирконовите кристали за корелация на магмени комплекси на базата на прости сравнения. Постепенно се набират достатъчно факти за непосредствена връзка

между морфологията и хабитуса на цирконовите кристали и физикохимичните параметри на скалообразуващите процеси — температура, химизъм на средата и др. На тази основа е разработена известната кристалогенетична диаграма на циркона от К o s t o v (1973), която отразява тенденциите в изменението на морфологията и хабитуса на цирконовите кристали в зависимост от изменението на температурата, химизма, скоростта на кристализация и наличието на елементи-примеси.

Френските изследователи Р и р і п и Т и г с о използват емпирично доказаните факти за влияние на химизма (отношението на алуминия към сумата на алкалите) върху относителното развитие на пирамидалните стени, и на температурата върху развитието на призматичните стени в цирконовите кристали, като разработват една подробна морфоложка диаграма (Р и р і п, Т и г с о, 1972а). Те разработват цяла методика за количествена тиположка характеристика на цирконовите популации в отделни проби и за тяхната генетична интерпретация. Изследванията им са главно върху гранитоиди, но обхващат и мигматити. Тази методика се използва широко от петролозите.

С въвеждането на микросондовия и особено на йонния микроанализ вече се провеждат комплексни морфоложки, геохимични и изотопни изследвания на цирконите за възрастова и генетична корелация на магмени комплекси. В тези изследвания постепенно се включват и метаморфните скали.

В процеса на изучаването на геохимията на метаморфните скали в Централните Родопи е събран значителен материал по съдържанието и видовия състав на акцесорните минерали, в това число и за циркона. Той присъства в достатъчни за изследване количества във всички гнайси, шисти и мигматични образувания от целия стратиграфски разрез на комплекса.

В настоящия труд се обсъждат резултатите от морфоложките и геохимичните изследвания на акцесорния циркон от метаморфния комплекс в Централните Родопи.

Обект и методика на изследването

Обект на изследването са акцесорните циркони от амфибол-биотитовите, биотитовите, двуслюдените, аплитонидните, лептитонидните гнайси-гнайсошистите, мигматичните пегматити и пегматоидната левкосома от целия стратиграфски разрез на метаморфитите от Централните Родопи между Девин, Кричим, Асеновград, Чепеларе, Пампорово. Изучени са циркони от 31 представителни проби, разпределени по свити (съгласно стратиграфската схема на И в а н о в и др., 1984), както следва: Широколъшка и Върбовска свита — 7 проби, Чепеларска свита — 5 проби, Лясковска свита — 4 проби, Посестримска свита — 9 проби, Добралъшка свита — 2 проби, Бачковска свита — 3 проби, Белочерковска свита — 1 проба.

Мономинерални фракции от акцесорен циркон са получени в резултат на рутинна обработка на скалните проби за шлихов анализ в едноименната лаборатория на Геологическия институт (дробене, промиване на концентриционна маса, разделяне в тежки течности и електромагнитна сепарация).

Под бинокулярна лупа са изучени редица физични свойства на цирконовите кристали: цвят, степен на прозрачност, наличие на разяждане, разтваряне или механична обработка на стените и ръбовете, размери и коефициент на удължение на кристалите.

В изкуствени препарати с имерсионни течности под поляризационен микроскоп е изучен вътрешния строеж на цирконовите кристали: наличието и характера на включения, зоналност на кристалите и вътрешни нееднородности.

Морфоложката типизация на цирконите е направена по методиката, разработена от Purin, Tugso (1972a, 1972b) и Purin (1980). Под бинокулярна лупа на сто произволно отделени цирконови кристала се определя морфоложкия тип по разработената от посочените автори тиположка диаграма, основана на относителното развитие на призматичните и пирамидалните стени. Определенията се извършват визуално и чрез измерване на ъгъла между дадени призматична и пирамидална стена на кристал, лежащ върху една от призматичните стени, с използването на специална палетка (Cagiba, Tugso, 1971). За удобство при измерванията сме монтирали масичка от поляризационен микроскоп върху бинокулярна лупа. Такива измервания са правени и върху снимки на кристали.

Химически анализ на цирконите е направен на електронен микроанализатор JEOL „Superprobe — 733“, снабден с EDS, Ortec System 5000 по метода Standardless ZAF Analysis AUTOZAP, version 3.16. Анализирани са отделни цирконови кристали най-малко в две точки — в централната част и в периферията на кристала. Определени са основните компоненти и елементи-примеси.

Описание на цирконите

Широколъшка и Върбовска свити

Изследвани са циркони от амфибол-биотитови гнайси, биотитови гнайси, аплитонидни гнайси и пегматоидна левкосома. В пробите се срещат два типа циркони: добре оформени прозрачни призматични кристали с гладки стени и много газовотечни включения, и полупрозрачни замътнени кристали с матови или частично кородирани стени. Най-често преобладават прозрачните циркони, но в някои проби (382, 377-а) двата типа са в почти еднакви количествени съотношения. Обикновено прозрачните кристали имат еднороден вътрешен строеж, без зоналност. Сред замътнените циркони много често се срещат зонални кристали. Най-типични са кристалите със замътнени полупрозрачни ядра и светла, прозрачна периферия или обратното — прозрачно ядро и замътнена периферия. Сравнително по-редки са сложно-зоналните кристали, изградени от по няколко зони с различна степен на прозрачност или различни оптични показатели (377-а, 573-г, 385-б). Почти винаги зоните имат добре изразени кристалографски очертания, което показва, че са формирани в процеса на растежа на кристалите. Само в единични случаи се наблюдават кристали със заоблени ядра. Големината на кристалите е в границите 0,1—0,5 mm дължина и 0,03—0,1 mm дебелина. Срещат се отломки от по-едри кристали. Коефициентът на удължение ($K_{уд}$) — отношението на дължината към дебелината на кристалите, е в интервала 1,5—3, рядко достига до 4—5.

Чепеларска свита

Изследвани са циркони от биотитови и двуслюдени гнайси. Преобладават прозрачните, безцветни или светложълти призматични цирконови кристали с гладки блестящи стени, понякога с леко заоблени ръбове. По-



Фиг. 1. Морфоложки типове циркон от метаморфитите в Централни Родопи
a — Q₃, 444, Посестримска свита; *б* — G₁, 6016, Бачковска свита; *в* — S₃, 528, Ля-
 сковска свита; *г* — S₁₂, 401, Чепеларска свита; *д* — S₁₃, 4726, Посестримска свита;
е — S₁₈, 573г, Широколъшка свита; *ж* — S₂₅, 379а, Широколъшка свита

Fig. 1. Morphological zircon types of the metamorphites in Central Rhodopes
a — Q₃, 444, Posestrimo Formation; *б* — G₁, 6016, Bačkovо Formation; *в* — S₃, 528,
 Ljaskovo Formation; *г* — S₁₂, 401, Čepelare Formation; *д* — S₁₃, 4726, Posestrimo
 Formation; *е* — S₁₈, 573г, Široka Laka Formation; *ж* — S₂₅, 379а, Široka Laka For-
 mation

малко са полупрозрачните циркони с леко кородирани стени. Обикновено цирконите имат еднороден вътрешен строеж без зони и ядра, съдържат редки включения. Само в проба 349-а са наблюдавани кристали с полупрозрачно ядро и светли прозрачни краища. Цирконовите кристали са късопризматични, в отделни случаи до псевдоизометрични. Срещат се и сплеснати кристали (345-а). Големината на кристалите е в границите 0,1—0,5 *mm* дължина, 0,05—0,1 *mm* дебелина, $K_{уд}$ — от 1—1,5 до 2—3.

Лясковска свита

Изучени са циркони в четири проби от биотитови гнайси. Преобладават прозрачни, бледожълти или розови призматични кристали с гладки блестящи стени и леко заоблени ръбове, особено на пирамидалните стени, с редки включения. Значително по-малко са замътнените полупрозрачни цирконови кристали с множество включения. Обикновено цирконовите кристали са с незонален строеж. Само в проба 521 са наблюдавани единични кристали със слабо изразена зоналност, а в проба 520 — единични кристали със зонално разпределение на включенията, които оформят псевдоядра. Големината на кристалите е в границите 0,1—0,5 *mm* дължина, 0,04—0,1 *mm* дебелина, $K_{уд}$ — 2—4. Срещат се доста отломъци от значително по-едри кристали.

Посестримска свита

Изследвани са циркони от амфибол-биотитови гнайси, биотитови гнайси и мигматични пегматити.

В гнайсите основната маса от циркона образува прозрачни, безцветни или бледорозови и жълтеникави призматични кристали с гладки блестящи стени и силно заоблени ръбове, различни включения и еднороден вътрешен строеж без видима зоналност. Срещат се също единични замътнени бледожълти кристали с множество включения. Големината на кристалите е 0,1—0,4 *mm* дължина, 0,05—0,1 *mm* дебелина, $K_{уд}$ — 1,5—3.

В мигматичните пегматити цирконът образува прозрачни, добре оформени кристали с гладки блестящи стени, без включения и зоналност. По хабитус ние ги разделяме на три групи: псевдоизометрични със слабо развити призматични стени, розовочервени с едрина 0,1—5,0 *mm* и $K_{уд}$ 1,5—2; късопризматични, светлорозови или жълтеникави с едрина под 0,5 *mm*, $K_{уд}$ — 1,5—2; дългопризматични, безцветни, прозрачни, с едрина под 0,2 *mm*, $K_{уд}$ — 4—5. В същите пегматити A r n a u d o v et al. (1990) отделят следните пет хабитусни типа циркон: почти изометрични, относително едри, призматични, дългопризматични, подчертано призматични.

Добралъшка свита

Изследвани са циркони в три проби от двуслюдени гнайси. Около 80% от цирконовите кристали са замътнени, светложълти, призматични, силно кородирани, с множество включения. Останалите са прозрачни, безцветни. В някои от замътнените кристали се наблюдава добре изразена зоналност като ивици на нарастване, главно по пирамидалните стени. В единични кристали се наблюдават и тъмни ядра, вероятно резултат от частична метамиктизация. Големината на кристалите е под 0,5 *mm*, $K_{уд}$ — 1,8—3,4, рядко до 5.

Таблица 1

Сравнителна характеристика на акцесорните циркони по свити
Comparative characteristics of the accessory zircons in the formations

Свити	Количествени отношения на основните генерации циркон	Зонален строеж на кристалите	Характер на стените и ръбовете	Включения
Широколъшка и Върбовска	замътнени към прозрачни — от 70:30 до 50:50%	много зонални кристали	без съществени промени	много газово-течни включения в прозрачните кристали
Чепелерска	прозрачните циркони над 50 %	почти отсъства	срещат се кристали със заоблени ръбове	редки включения
Лясковска	прозрачните циркони над 50 %	редки зонални кристали	често кристали със заоблени ръбове	редки включения
Посестримска	прозрачните циркони над 80 %	отсъства	широко развити кристали със заоблени ръбове	доста включения
Добралъшка	замътнените циркони над 80%	много зонални кристали	кородирани стени и ръбове	много включения
Бачковска	замътнените циркони над 90 %	много зонални кристали	кородирани стени и ръбове	много включения
Белочерковска	замътнените циркони около 60 %	срещат се зонални кристали	кородирани стени и ръбове	единични включения

Бачковска свита

Изследвани са циркони от биотитови, двуслюдени и лептитоидни гнайси. Цирконите от всички проби са много сходни. Това са полупрозрачни светлобежови, късопризматични до псевдоизометрични кристали с много включения и силно кородирани стени. Наблюдават се голям брой зонални кристали с по една или няколко зони, а също кристали със светло прозрачно ядро и замътнени краища. Големината на кристалите е под 0,4 *mm*, $K_{уд}$ — 1—2.

Белочерковска свита

Изучени са цирконите в една проба от гранат-дистенов шист. Част от цирконите са прозрачни, безцветни, добре оформени, без зони и ядра, с единични включения. Другата, по-голямата част от кристалите са полупрозрачни, светложълти със силно кородирани стени. Срещат се зонални кристали с тъмнокафяви непрозрачни (вероятно метамиктизирани) ядра и прозрачна периферна част. Едрината на кристалите е под 0,3 *mm*, $K_{уд}$ — 2—3.

Сравнителна характеристика на някои основни белези на акцесорните циркони по свити от целия стратиграфски разрез на метаморфния комплекс в Централните Родопи е дадена в табл. 1.

Цирконите съвсем определено се обособяват в две основни групи, които на сегашния етап ние приемаме за две основни генерации.

Първата генерация са полупрозрачни до непрозрачни, бели, жълти, сиви призматични кристали със силно матирани или кородирани стени и ръбове, най-често със зонален строеж. Срещат се кристали с по-късни нараствания от прозрачен циркон по пирамидалните им краища. Наблюдават се кристали с частична метамиктизация.

Втората генерация са прозрачни, безцветни до слабо жълти, розови, червеникави призматични кристали с гладки блестящи стени, често със заоблени ръбове, с различни по количество и вид включения, без прояви на зонален строеж.

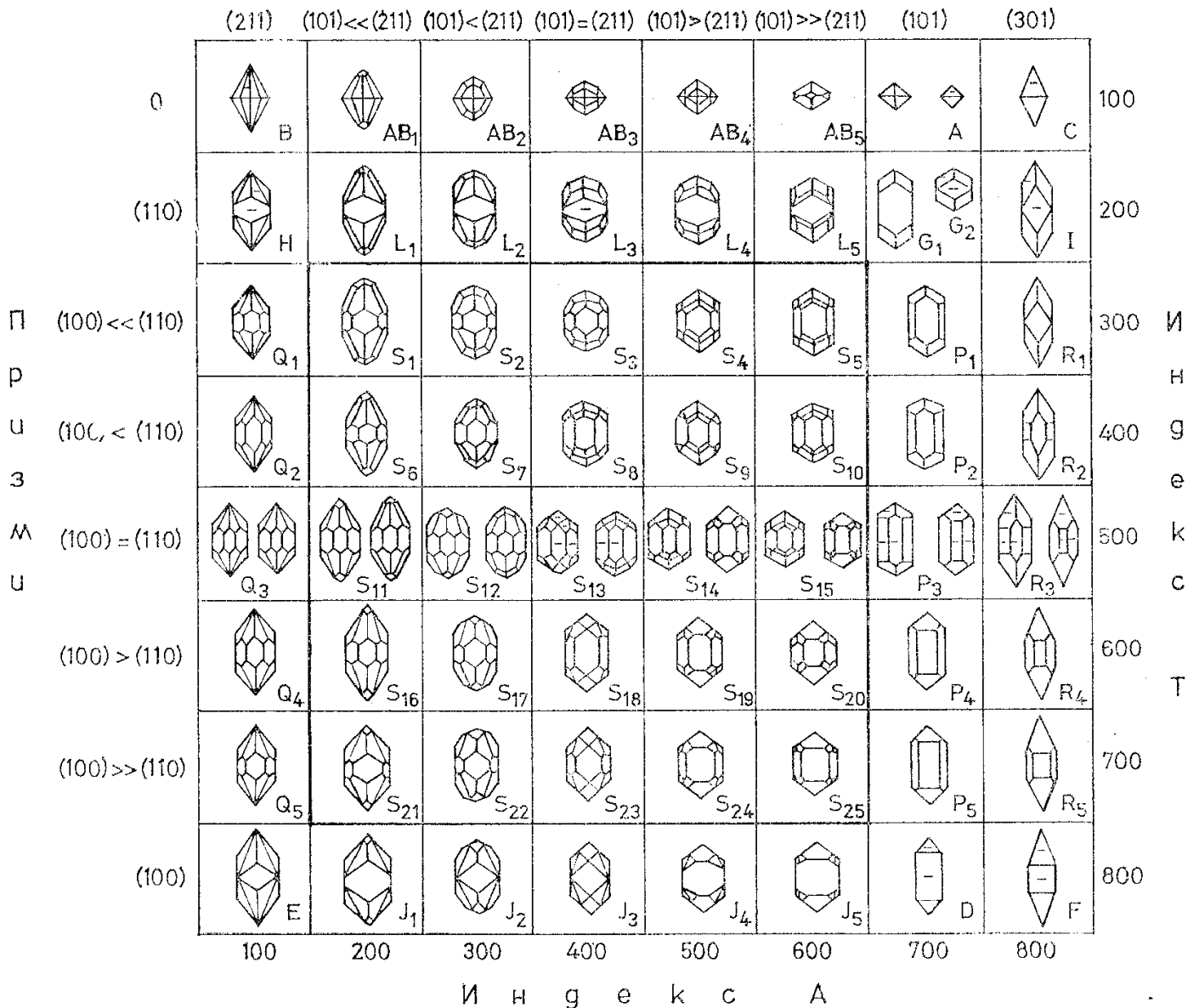
Разпределението на двете генерации циркони в стратиграфския разрез на комплекса е неравномерно. В най-долната част на разреза — Широколъшка и Върбовска свита, те присъстват в почти еднакви количества. Нагоре по разреза бързо нараства количеството на втората генерация и в средната му част тя рязко преобладава — до 90—95% в Посестримската свита. По-нагоре бързо нараства количеството на първата генерация и стига до 90—100% в Бачковската свита.

Морфология на акцесорния циркон

Морфоложката типизация на акцесорния циркон е направена по методиката на Р и р и п, Т и г с о (1972а, 1972в) и Р и р и п (1980). На фиг. 1 са показани електронномикроскопски снимки на характерни морфоложки типове циркон от изследваните метаморфити. Данните от определенията на морфоложките типове циркони и техните количествени съотношения за всяка проба или всяка цирконова популация са нанасяни на тиположката диаграма в нейния съкратен вид (Р и р и п, 1980), която включва 64 типове и субтипове циркон в зависимост от относителното развитие на двете основни призми $\{110\}$ и $\{100\}$ и бипирамидите $\{211\}$, $\{101\}$ и $\{301\}$ — фиг. 2. На абцисата на тази диаграма са нанесени съотношенията на основните бипирамиди $\{211\}$ и $\{101\}$ — общо 7 различни съотношения, и накрая появата на $\{301\}$ — осмото положение. Авторите свързват развитието на една или друга бипирамида с химизма на средата, изразен в отношението на алуминия към сумата на алкалите. Сравнявайки голямо количество емпирични данни, те установяват, че при по-високоалуминиеви магми, в акцесорния циркон преобладава бипирамидата $\{211\}$, а при по-високоалкални — $\{101\}$. Това им дава основание да изразят чрез индекс „А“, с относителни количествени стойности от 100 до 800, относителното развитие на бипирамидите. По ординатата са нанесени съотношенията на двете призми $\{110\}$ и $\{100\}$ — седем положения и отсъствието на призма — едно положение. развитието на призмите и съотношенията между тях авторите свързват с температурата на кристализация. Съотношенията на призмите са изразени количествено чрез индекс „I“ с относителни стойности от 100 до 800. Авторите са направили температурна калибровка на диаграмата за магмени скали, която обхваща интервала от 500—550°C за кристали без призми или с призма $\{110\}$, до 900°C за кристали с призма $\{100\}$ — фиг. 3з.

Основно достоинство на тиположката диаграма на Р и р и п, Т и г с о е възможността да бъдат количествено отразени всички морфотипове циркони от дадена популация. Освен това, индексите IА и IТ позволяват чрез някои елементарни статистически операции да се получи средноуравновесен морфотип и тиположки тренд на еволюция на дадена цирконова популация.

П и р а м и д и



Фиг. 2. Морфоложка диаграма на циркона (по Р и р и н, 1980)
 Fig. 2. Morphological diagram of zircon (P u r i n, 1980)

Това дава възможност за отделяне на последователни генерации циркони и за разкриване на измененията на физикохимичните условия в процеса на формиране на скалите. По същия начин могат да се извеждат средно уравновесени морфотипове и тиположки трендове на еволюция за различни групи скали.

Съществен недостатък на методиката на Р и р и н, Т и г с о е, че тя не отчита удължението на кристалите. Известно е, че К о с т о в сочи съществената роля на този показател в своята кристалогенетична диаграма на циркона, който пряко отразява скоростта на кристализация или степента на пресищане (К о с т о в, 1973). Ние се опитахме да отстраним този недостатък, като наред с определянето на морфотиповете, измервахме и $K_{уд}$ на кристалите от всяка проба.

Друг недостатък на тази методика е, че тя не разглежда кинетиката на растежа на кристалите, а само крайния резултат — актуалната им морфоло-

Таблица 2

Характеристика на цирконите от метаморфния комплекс в Централни Родопи по морфологичната систематика на Рипин, Турсо (1972)

Table 2

Characteristic of the zircons of the Central Rhodope Metamorphic Complex according to the Rypin and Turso (1972) morphological system

Проба №	Литоложки състав	Морфоложки типове циркон в %	IA	IT	К _{уд}
1	2	3	4	5	6
Широколъшка и Върбовска свита					
379a	Амф Би Гн	S ₃ -60, L ₃ -35, S ₁₃ -3, S ₂₅ -2.	404	279	1,7—2,3
382	Би Гн	S ₃ -52, G ₁ -20, S ₂ -12, S ₅ -9, S ₇ -7.	459	287	1,8—4,5
377a	Би Гн	G ₁ -51, S ₄ -26, L ₄ -12, P ₂ -6, L ₅ -3, P ₃ -2	621	244	2,0—3,0
573a	Би Гн	S ₈ -38, S ₁₃ -22, S ₆ -12, S ₁ -4, S ₃ -6, S ₉ -4, P ₁ -4, L ₃ -3, S ₁₂ -2, S ₄ -2, S ₇ -2, S ₂ -1.	381	401	2,0—2,7
573б	Би Гн	S ₂ -58, S ₇ -38, S ₆ -2, L ₃ -2.	300	338	3,0—3,8
385б	Апл Гн	S ₃ -50, S ₄ -18, S ₈ -17, S ₂ -15.	403	317	2,3—4,0
573г	Пегм Левк	S ₈ -62, L ₃ -13, S ₁₃ -9, S ₁₈ -6, G ₁ -6, S ₇ -2, L ₂ -2.	414	379	1,2—3,1
Чепеларска свита					
349a	Би Гн	L ₃ -58, S ₃ -28, S ₁₃ -14	400	270	
345a	Би Гн	S ₈ -68, S ₁₃ -25, S ₁₂ -3, G ₁ -3, L ₂ -1.	405	420	1,5—3,2
347б	Би Гн	S ₈ -56, S ₇ -22, S ₁₃ -12, P ₁ -10.	368	442	1,6—2,6
401	2 Сл Гн	L ₂ -48, S ₂ -40, L ₄ -5, S ₇ -3, S ₄ -2, S ₁₂ -2	314	254	
388a	2 Сл Гн	S ₇ -39, S ₂ -21, S ₁₃ -16, S ₄ -17, S ₁₂ -4, S ₃ -3.	353	379	1,5—3,0
Лясковска свита					
528	Би Гн	S ₃ -65, S ₁₃ -10, S ₄ -9, S ₁ -5, L ₄ -5, S ₆ -4, L ₃ -2.	396	317	2,0—4,0
521	Би Гн	S ₈ -67, P ₂ -28, S ₇ -5.	479	400	1,5—3,0
520	Би Гн	S ₈ -76, S ₁₃ -24.	400	424	2,2—5,0
552a	Би Гн	S ₃ -55, S ₂ -25, S ₁₃ -19, S ₈ -12, Q ₅ -5, L ₃ -4.	360	366	
Посестримска свита					
444	Амф Би Гн	S ₁₂ -30, S ₁₁ -20, Q ₃ -20, S ₁₇ -30.	420	530	1,6—2,5
472a	Амф Би Гн	S ₈ -66, P ₁ -17, S ₁₃ -7, S ₃ -7, S ₅ -3.	457	380	
407б	Би Гн	S ₁₂ -62, S ₁₇ -15, S ₁₁ -11, S ₃ -7, S ₄ -5.	306	491	1,5—3,0
458a	Би Гн	S ₇ -37, L ₃ -25, S ₁₂ -12, S ₃ -8, Q ₄ -8, Q ₁ -5, L ₁ -3, L ₂ -2.	304	355	2,5—3,5
472б	Би Гн	S ₃ -40, S ₄ -35, S ₁₃ -15, S ₂ -10.	478	401	1,7—4,0
451a	Би Гн	S ₃ -50, S ₂ -44, S ₅ -6.	468	300	1,1—6,3
1061	Мигм Пегм	S ₁₃ -30, АВ ₃ -21, S ₃ -19, S ₇ -17, S ₁ -8, P ₁ -3, S ₉ -2.	378	337	1,0—1,5
1059	Мигм Пегм	L ₃ -40, G ₁ -11, S ₃ -8, Q ₁ -6, S ₆ -5, S ₁ -5, S ₂ -5, L ₄ -4, P ₄ -3, S ₈ -3, S ₉ -2, S ₁₁ -2, L ₁ -2, L ₂ -1, S ₇ -1, S ₄ -2.	397	257	1,0—2,2

Т а б л и ц а 2 (продължение)

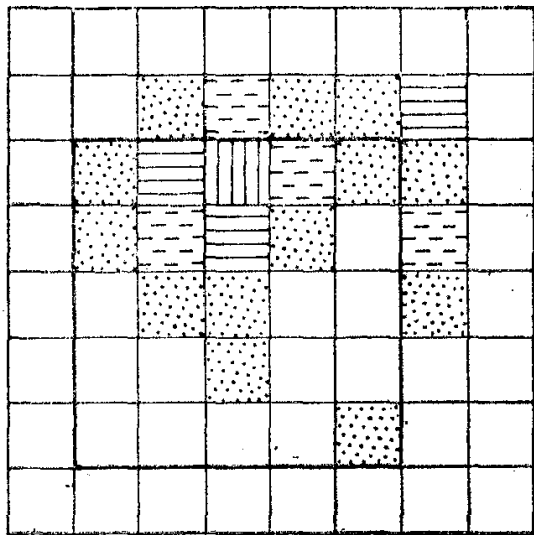
1	2	3	4	5	6
1060	Мигм Пегм	L ₃ -32, G ₁ -25, S ₃ -14, L ₂ -6, S ₂ -4, S ₁₂ -4, S ₅ -3, P ₁ -8, L ₄ -2, S ₁₃ -2.	493	247	1,6—3,2
Добралъшка свита					
332a	Би Мус Гн	L ₃ -61, S ₃ -15, G ₁ -13, L ₂ -6, P ₁ -1, S ₁ -2, S ₆ -1, S ₁₂ -1.	429	223	
332b	Би Мус Гн	L ₃ -41, L ₄ -26, S ₃ -25, Q ₂ -3, L ₂ -2, S ₁ -2, S ₂ -1.	410	232	
Бачковска свита					
600b	Би Гн	G ₁ -100.	700	200	1,0—2,0
601a	2 Сл Гн	G ₁ -60, G ₂ -18, P ₂ -14, P ₁ -6, P ₃ -2.	700	240	1,7—2,4
600a	Лепт Гн	G ₁ -95, G ₂ -5.	700	200	1,0—1,5
Белочерковска свита					
2254	Гр Ки Ши	G ₁ -90, S ₃ -5, P ₁ -2, L ₅ -3.	682	207	

Означения: Амф Би Гн — амфибол-биотитов гнайс, Би Гн — биотитов гнайс, Апл Гн — аплитонден гнайс, Пегм Левк — пегматоидна левкосома, 2 Сл Гн — двуслюден гнайс, Мигм Пегм — мигматичен пегматит, Би Мус Гн — биотит-мусковитов гнайс, Лепт Гн — лептитонден гнайс, Гр Ки Ши — гранат-кианитов шист.

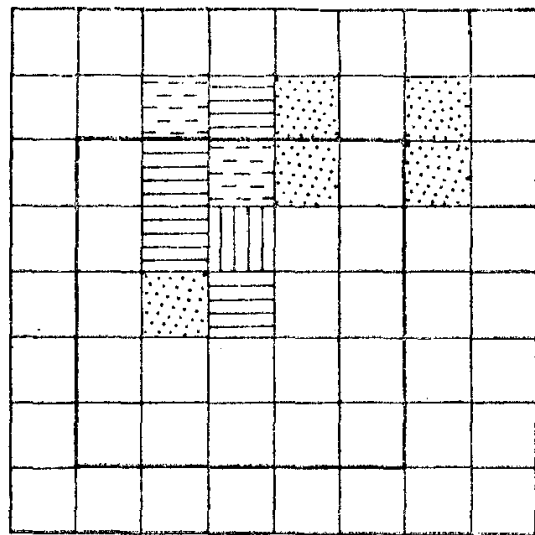
гия. Опит за отстраняване на този недостатък прави V a v g a (1993), който предлага нов количествен метод за характеристика на растежа на циркононите кристали на базата на скоростите на растеж на кристалографските стени, с използването на катодолуминесценцията. Този по-детайлен подход в изучаването на циркона може да даде и нови ценни резултати. Например B e n i s e k, F i n g e r (1993), като изучават под микроскоп разрези на цирконови кристали, перпендикулярни на С-оста, установяват тясна корелация между съдържанието на определени елементи-примеси и развитието на призмата {110}, поставяйки под съмнение общоприетата представа, че развитието на едната или другата призма в цирконовите кристали зависи от температурата.

Данните за морфоложките типове циркони и техните количествени съотношения и за стойностите на $K_{уд}$ за всички изследвани проби са дадени в табл. 2. Броят на установените морфоложки типове циркон за отделните популации варира в широки граници — от 1—2 в биотитовите и лептитондените гнайси на Бачковската свита, до 16 в някои мигматични пегматити от Посестримската свита. Най-често те са между 5 и 8 в повечето проби от изследваните гнайси. Някакви закономерни различия по отношение броя и количествените съотношения на морфоложките типове циркон между отделните литоложки типове гнайси не се наблюдават. Коефициентът на удължение на цирконовите кристали също не показва закономерни изменения.

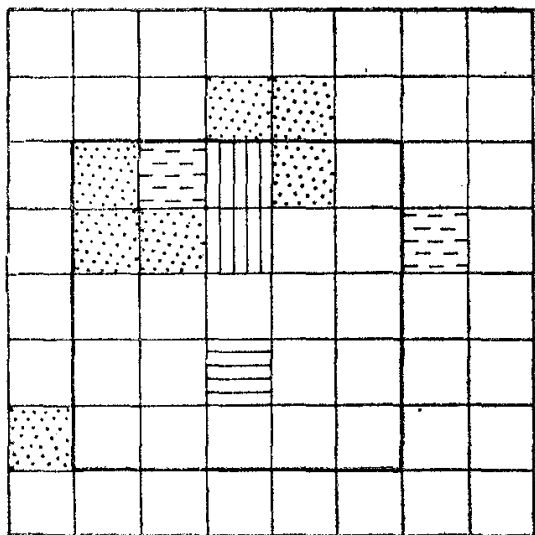
На фиг. 3 а-ж е показано тиположкото разпределение на цирконовите популации по свити, получено като средно уравновесено от данните за всички изследвани проби от дадена свита. Най-голям набор от морфоложки типове циркон се наблюдава в свитите с голямо разнообразие в литоложкия състав (Широколъшка и Върбовска — 21 броя, Посестримска — 23 броя) и съответно, най-малък брой морфоложки типове — в свитите с по-еднообразен състав — Бачковска и Белочерковска — по 4 броя. Преобладаващите по



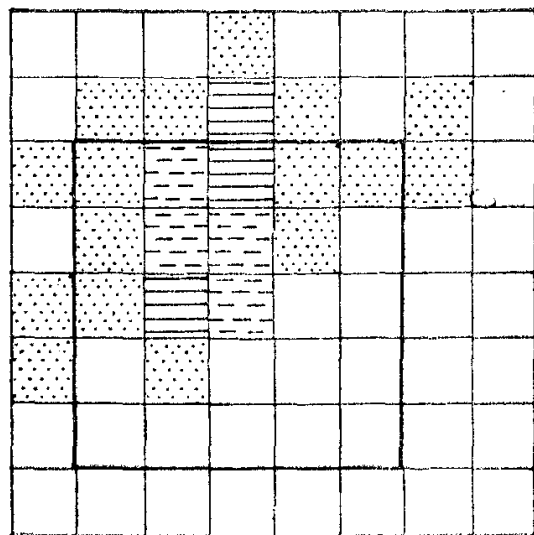
а



б



в



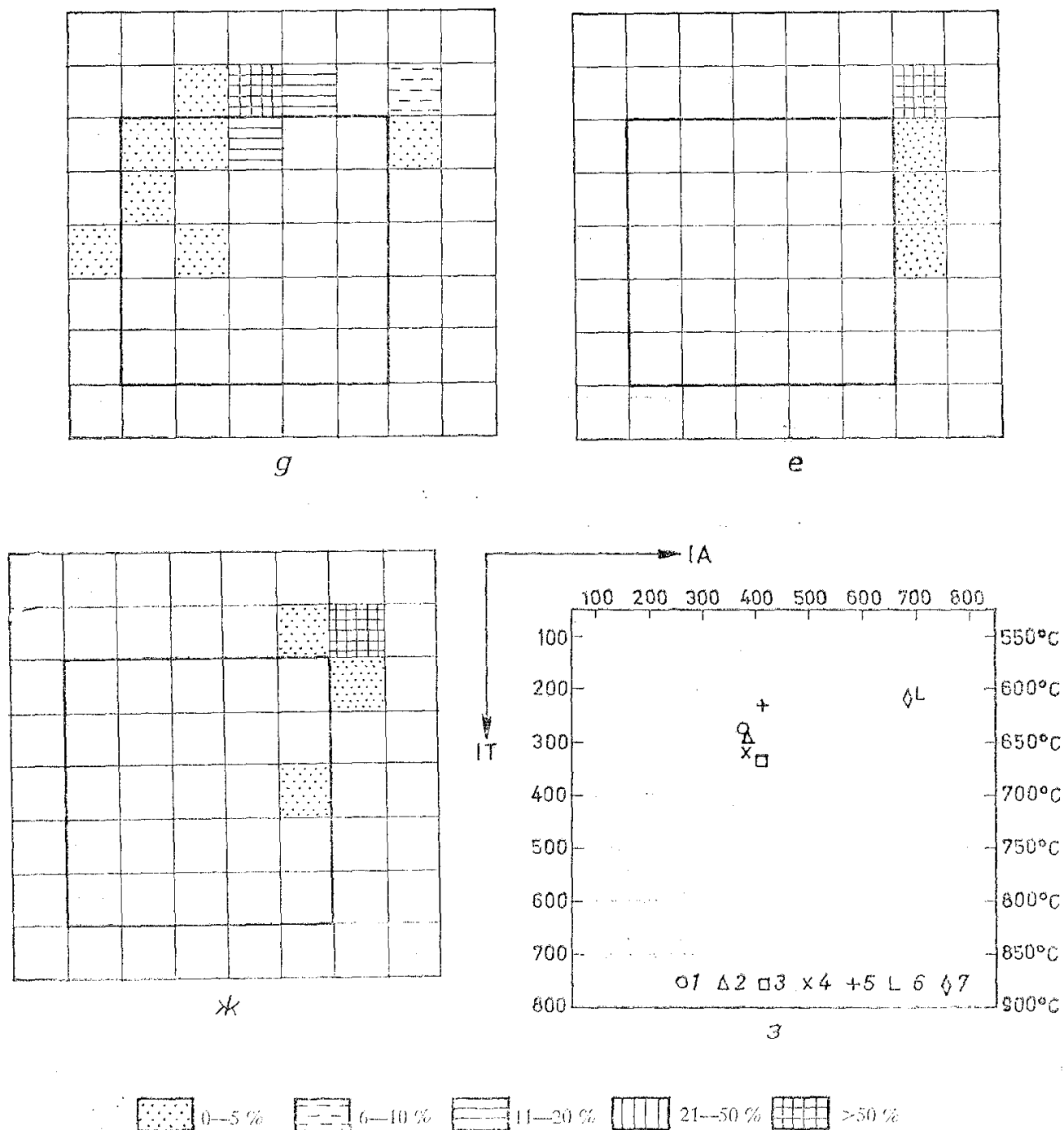
г

количество морфоложки типове циркон за отделните свити са: S_3 за Широколъшка и Върбовска, S_8 — за Чепеларска, S_3 и S_8 — за Лясковска, L_3, S_3, S_{12} — за Посестримска, L_3 — за Добралъшка, G_1 — за Бачковска и Белочерковска свита.

На фиг. 3з в координати IA — IT са нанесени средните уравновесени морфотипове циркони по свити. Точките се разполагат в областта на коровите гранити и мигматити с температура на образуване в интервала 620—700°C (по Р и р і п, 1980) и само цирконите от скалите на най-горните свити — Бачковска и Белочерковска — се разполагат в горния десен ъгъл на диаграмата, което сочи относително по-ниска температура (около 600°C) на образуване, при по-висока степен на алкалност на средата.

Химичен състав на цирконите

Направен е химичен анализ на 55 броя цирконови кристали от 36 проби от целия разрез на метаморфния комплекс. Всеки кристал е анализиран в две точки: в централната част и в периферията на кристала, някои и в меж-



Фиг. 3. Диаграми на разпределението на морфоложките типове циркон по свити *a* — Широколъшка и Върбовска; *б* — Чепеларска; *в* — Ляковска; *г* — Посестримска; *д* — Добралъшка; *е* — Бачковска; *ж* — Белочерковска; *з* — средноуравновесени морфоложки типове циркон по свити в координати IA — IT: 1 — Широколъшка и Върбовска; 2 — Чепеларска; 3 — Ляковска; 4 — Посестримска; 5 — Добралъшка; 6 — Бачковска; 7 — Белочерковска

Fig. 3. Distribution diagrams of the morphological zircon types in the formations *a* — Širokalaka and Vârbovo; *б* — Čepelare; *в* — Ljaskovo; *г* — Posestrimo; *д* — Dobralâk; *е* — Bačkovo; *ж* — Bjala Čerkva; *з* — weighted mean morphological zircon types by formations: plots of IA against IT: 1 — Širokalaka and Vârbovo; 2 — Čepelare; 3 — Ljaskovo; 4 — Posestrimo; 5 — Dobralâk; 6 — Bačkovo; 7 — Bjala Čerkva

динни участъци, с цел да се установи възможно зонално разпределение на компонентите. Направени са общо 114 броя анализи. Определени са основните компоненти на циркона — SiO_2 , ZrO_2 и HfO_2 , и елементите-примеси уран и торий. Резултатите са показани в табл. 3.

Таблица 3

Химичен състав на цирконите (%) от метаморфния комплекс в Централни Родопи

Table 3

Chemical composition of the zircons (%) of the Central Rhodope Metamorphic Complex

Проба №	Литоложки състав	Място на анализа*	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	UO ₃	ThO ₂	Zr/Hf ср.	Zr/Hf скала
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Широколъшка и Върбовска свита									
379a-1	Амф Би Гн	п	35,23	63,02	1,13	0,34	—	48,57	
		ц	38,33	60,22	0,88	—	0,51	59,41	
379a-2		п	36,04	62,64	1,00	0,20	—	54,53	
		ц	36,52	62,69	0,69	—	—	78,63	
382-1	Би Гн	п	47,91	49,00	1,09	0,88	1,12	50,57	37,1
		ц	40,09	59,05	0,87	—	—	59,05	
382-2		п	35,89	63,19	0,92	—	—	59,95	
		ц	35,82	63,44	0,74	—	—	74,51	
382-3		п	35,85	63,18	0,74	0,24	—	74,21	
		ц	34,33	63,29	1,29	0,53	0,56	42,57	
377a	Би Гн	п	43,03	55,29	1,37	0,31	—	35,27	26,9
		ц	38,34	60,24	1,42	—	—	36,84	
573a-1	Би Гн	п	42,49	55,20	1,68	0,54	0,09	28,57	
		ц	40,62	57,62	1,76	—	—	28,43	39,8
573a-2		п	42,00	56,43	1,57	—	—	31,40	
		ц	40,57	56,68	1,44	1,31	—	34,38	
573б-1		п	34,02	64,46	1,53	—	—	36,69	
		ц	35,27	62,39	1,44	0,79	0,11	37,84	37,2
573б-2		п	34,31	63,72	1,56	0,41	—	35,45	
		ц	34,93	63,48	1,58	—	—	35,05	
385б	Апл Гн	п	36,89	61,96	1,15	—	—	44,93	
		ц	36,33	60,76	2,91	—	—	18,20	39,8
573г	Пегм Левк	п	36,96	61,69	1,35	—	—	39,70	
		ц	33,92	64,59	1,42	0,01	0,06	39,50	43,0
		ц	33,49	64,00	1,39	1,12	—	40,14	
Чепеларска свита									
349a	Би Гн	п	36,33	60,76	2,91	—	—	18,20	27,9
		ц	36,96	61,69	1,35	—	—	39,70	
345a	Би Гн	п	37,68	59,45	1,31	0,03	—	39,63	32,8
		ц	33,93	64,51	0,79	—	0,75	71,25	
401		п	42,98	55,77	1,26	—	—	38,57	
		ц	37,17	60,95	1,13	0,57	0,19	46,98	
347б-1	Би Гн	п	33,79	64,69	1,35	—	—	41,63	
		ц	33,82	62,95	1,13	0,15	—	48,52	32,6
347б-2		п	34,85	63,52	1,63	—	—	34,06	
		ц	31,22	66,64	1,03	0,97	0,15	56,03	
388a	2 Сл Гн	п	34,59	64,19	1,01	0,21	—	55,23	42,5
		ц	35,34	63,56	1,09	—	—	50,57	
Лясковска свита (западна част)									
528	Би Гн	п	35,78	62,04	2,18	—	—	24,82	40,2
		ц	36,00	62,75	1,26	—	—	43,40	
521	Би Гн	п	35,61	62,63	1,76	—	—	30,90	34,8
		п	35,49	62,68	1,82	—	—	29,92	
		ц	35,72	62,62	1,32	—	—	41,38	
		ц	35,95	62,80	1,25	—	—	43,84	
520-1	Би Гн	п	35,91	61,71	2,38	—	—	22,60	28,4
		м	35,88	61,56	2,56	—	—	20,89	
		ц	36,21	62,33	1,46	—	—	37,19	
520-2		п	34,39	64,17	1,44	—	—	38,92	
		ц	33,04	65,69	1,27	—	—	45,01	

Таблица 3 (продължение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лясковска свита (източна част)									
522a	Би Гн	п	39,52	58,91	1,58	—	—	32,53	38,5
		ц	38,13	59,99	1,28	0,60	—	40,72	
Посестримска част									
444	Амф Би Гн	п	36,97	61,70	1,33	—	—	40,41	
		ц	37,51	61,96	0,53	—	—	101,89	
472a	Амф Би Гн	п	34,99	63,79	1,22	—	—	45,58	34,7
		ц	33,36	65,52	1,12	—	—	51,03	
407b	Би Гн	п	34,88	63,22	1,26	0,63	—	43,72	38,9
		ц	33,29	65,27	1,44	—	—	39,59	
		п	33,43	65,01	1,56	—	—	36,17	
458a-1	Би Гн	п	36,20	62,77	1,03	—	—	52,78	29,6
		ц	32,64	66,18	1,19	—	—	48,48	
458a-2		п	37,56	60,89	1,55	—	—	34,12	
		ц	33,77	65,06	1,17	—	—	48,62	
472b-1	Би Гн	п	38,00	60,35	1,38	0,27	—	38,17	35,5
		ц	34,74	63,59	1,08	0,60	—	51,15	
472b-2		ц	33,01	65,00	1,18	0,81	—	48,10	
451a	Би Гн	п	35,64	61,67	2,70	—	—	19,84	36,0
		м	35,92	62,18	1,90	—	—	28,40	
		ц	35,54	62,40	2,06	—	—	26,39	
1061	Мигм Пегм	п	38,14	60,68	1,18	—	—	44,76	
		ц	35,03	63,54	1,43	—	—	38,85	
1061a-1	Мигм Пегм	п	37,79	61,07	1,14	—	—	47,07	
		ц	37,94	60,78	1,29	—	—	41,26	
1061a-2		п	37,80	60,89	1,31	—	—	40,74	
		ц	37,96	60,68	1,36	—	—	39,08	
1061b-1	Мигм Пигм	п	37,69	60,75	1,56	—	—	34,10	
		ц	37,86	60,81	1,33	—	—	40,03	
1061b-2		п	37,40	61,53	1,07	—	—	50,36	
		ц	37,49	61,31	1,19	—	—	45,37	
1061в-1	Мигм Пегм	п	37,86	60,67	1,47	—	—	36,14	
		ц	37,68	61,07	1,25	—	—	42,79	
1061в-2		п	37,42	60,82	1,76	—	—	30,26	
		ц	37,61	60,85	1,54	—	—	40,90	
1060-1	Мигм Пегм	п	37,80	60,55	1,65	—	—	32,14	
		ц	37,65	60,88	1,47	—	—	36,27	
1060-2		п	37,57	60,71	1,72	—	—	30,91	
		ц	37,77	60,78	1,45	—	—	36,72	
1059-1	Мигм Пегм	п	37,68	60,37	1,94	—	—	27,25	
		ц	37,33	60,76	1,92	—	—	27,72	
1059-2		п	37,72	60,30	1,99	—	—	26,54	
		ц	37,78	60,44	1,78	—	—	29,73	
Добралъшка свита									
332a	Би Мус Гн	п	33,41	64,84	1,55	—	0,20	36,35	
		ц	34,12	63,87	1,21	0,33	0,47	45,88	
332b	Би Мус Гн	п	37,50	60,22	1,58	0,71	—	33,25	
		ц	35,68	62,88	1,25	—	0,19	43,90	
332в	Би Мус Гн	п	33,71	64,30	1,45	0,53	—	38,68	
		ц	35,23	63,76	1,00	—	—	55,50	
Бачковска свита									
600b	Би Гн	п	36,86	60,67	2,46	—	—	21,48	30,1
		ц	36,55	60,92	2,54	—	—	20,87	
601a-1	2 Сл Гн	п	41,61	55,64	1,74	1,01	—	27,82	25,7
I вид		ц	34,39	63,36	0,79	1,00	0,46	44,24	

Таблица 3 (продължение)

1	2	3	4	5	5	7	8	9	10
601а-1		п	33,04	63,64	1,88	1,42	0,03	29,43	25,7
II вид		ц	31,79	66,14	1,66	0,41	—	34,71	
601а-2		п	35,44	62,77	1,24	0,54	—	42,49	
I вид									
601а-2		п	36,87	60,97	2,06	0,10	0,01	25,78	
II вид		ц	35,77	61,39	2,09	0,76	—	25,52	
600а	Лепт Гн	п	35,01	63,17	1,29	0,52	—	42,49	20,7
		ц	33,94	64,75	0,96	0,01	—	58,44	
Белочерковска свита									
2254-1	Гр Ки Ши	п	40,47	57,86	1,38	0,29	—	36,60	
I вид		ц	36,86	62,02	1,10	0,01	—	48,82	
2254-2		п	40,14	57,96	1,00	0,64	0,26	50,46	
I вид		ц	37,24	61,12	1,00	0,62	—	53,21	
2254-1		п	33,71	65,25	1,00	—	—	56,80	
II вид		ц	32,78	66,00	0,94	0,28	—	61,05	
2254-2		п	39,80	58,31	1,84	0,05	—	27,66	
II вид		ц	35,64	62,38	1,69	0,29	—	32,06	

* — п: в периферията, ц: в центъра, м: в междинна точка.

Означения: Амф Би Гн — амфибол-биотитов гнайс, Би Гн — биотитов гнайс, Апл Гн — аплитоиден гнайс, Пегм Левк — пегматондна левкосома, 2 Сл Гн — двуслоден гнайс, Мигм Пегм — мигматичен пегматит, Би Мус Гн — биотит-мусковитов гнайс, Лепт Гн — лептитоиден гнайс, Гр Ки Ши — гранат-кианитов шист.

Всички анализирани циркони са нискохафниеви. Съдържанието на HfO_2 е в границите 0,5—3,0% и се изменя незакономерно в различните литоложки типове скали и по стратиграфския разрез на комплекса. Стойността на отношението Zr/Hf в анализирани цирконови кристали е в интервала 25,0—71,0, но средните му значения по свити се групират около две стойности: 35,0 за цирконите от скалите на Лясковската и Бачковската свита и 45,0 — за останалите. Във всички анализирани проби са установени значително по-ниски стойности на отношението Zr/Hf в скалите (по Иванов и др., 1990), в сравнение със съответните циркони. Тези съотношения са точно противоположни на съотношенията в Южнобългарските гранитоиди, където стойностите на Zr/Hf в цирконите са значително по-ниски от тези в гранитите (Иванов и др., 1977).

За точното обяснение на този факт са нужни допълнително изследвания, но той несъмнено сочи една специфика на формиране на цирконите в метаморфния комплекс, отлична от тази в гранитоидите.

Същевременно анализите в табл. 3 показват, че в отделните цирконови кристали хафният, уранът и торият се концентрират в периферните им части. Отношението Zr/Hf в периферията на кристалите има значително по-ниски стойности в сравнение с това в централните им части. Това се наблюдава в преобладаващото болшинство от анализирани 36 цирконови проби. Изключение правят само 8 от тях.

Такъв тип зонално разпределение на посочените елементи-примеси в кристалите е характерно за циркони, образувани от магми, кристализиращи в условията на относително затворена система при бавно понижение на температурата (Бибикова и др., 1991, и др.).

Тази особеност на цирконите от изследваните метаморфити показва, че при формирането им в метаморфитите са протичали процеси, близки до магмената кристализация на гранити. Такива процеси са мигматизацията и анатексиса, чието присъствие е доказано.

Изводи

Изложените особености на цирконите от метаморфния комплекс в Централните Родопи позволяват да се направят следните изводи.

Цирконите от първа генерация са най-широко застъпени в тези части на разреза, за които е доказано присъствието на скали с протоматичен генезис — Ширококоляшката и Бачковската свити (Чернева и др., 1987; Cherneva et al., 1991; Станчева, Чернева, 1992). Най-логично е да се допусне, че тези циркони също имат първично магматичен произход.

Цирконите от втора генерация са образувани в процеса на метаморфната и ултраметаморфната преработка на протолита с участието на процесите на метаморфна диференциация, субсолидушна диференциация и анатексис, чиято роля е била различна в различните части на разреза на метаморфния комплекс.

Литература

- Бибикова, Е. В., В. Г. Сенин, Г. А. Сенина. 1991. Геохимическая и возрастная гетерогенность акцессорных цирконов Новопапавловского комплекса Украинского щита. — *Геохимия*, **10**, 1426—1436.
- Иванов, Ж., С. Московски, К. Колчева, Д. Димов, Л. Клайн. 1984. Геологическое строение Централных Родоп. I. Литостратиграфическое расчленение и особенности разреза метаморфических пород в северных частях Централных Родоп. — *Geologica Balc.*, **14**, № 1, 3—42.
- Иванов, И., Д. Апостолов, Л. Дайева. 1977. Цирконий и хафний в южно-българските гранитоиди. — *Геохим., минерал. и петрол.*, **6**, 3—12.
- Иванов, И., Л. Дайева, Е. Станчева. 1990. Цирконий и хафний в метаморфните скали от Централните Родопи. — *Геохим., минерал. и петрол.*, **26**, 92—104.
- Станчева, Е., З. Чернева. 1992. Геохимия на лептитоидните гнайси от Бачковската свита в Централните Родопи. — В: „Постижения и задачи на българската минералогия и петрология.“ Научна сесия, посветена на 100-годишнината от рождението на академик Страшимир Димитров. София, 24—25 септември 1992 г., 60—61.
- Чернева, З., Е. Станчева, Л. Таджер. 1987. Геохимия мигматизированных ортогнейсов из северных склонов Ширококоляшской реки в Централных Родопях. — *Geologica Balc.*, **17**, № 5, 41—63.
- Агпандов, V., В. Амов, Тз. Балджијева, М. Павлова. 1990. Tertiary magmatic pegmatites in the Central Rhodope crystalline complex. Uranium-lead zircon dating. — *Geologica Balc.*, **20**, No 6, 25-32.
- Benisek, A., F. Finger. 1993. Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, **114**, 441-451.
- Саруба, R., G. Турсо. 1971. Mise au point sur la notation des faces du zircon. Elaboration d'une méthode d'indexation rapide des faces des zircons accessoires des roches par utilisation d'abaques. — *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, **94**, No 4, 427-436.
- Cherneva, Z., A. Kotov, D. Vinogradov, E. Salticova. 1991. Metamorphosed I-granites from the Central Rhodopes, Bulgaria. — *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, **44**, No 10, 85-88.
- Köstov, I. 1973. Zircon morphology as a crystallogenic indicator. — *Krist. Techn.*, **8**, No 1/3, 11-19.
- Pupin, J. 1980. Zircon and granite petrology. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, **73**, 207-220.
- Pupin, J., G. Турсо. 1972a. Une typologie originale du zircon accessoire. — *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, **95**, 348-359.
- Pupin, J., G. Турсо. 1972b. Le zircon accessoire en géothermométrie. — *C. R. Acad. Sci., Paris*, **274** (D), 2121-2124.
- Вауга, G. 1993. A guide to quantitative morphology of accessory zircon. — *Chem. Geol.*, **110**, 15-28.

Одобрена 27. IV. 1994 г.

Accepted April 27, 1994