

Терциерна Pb-Pb възраст на камерни пегматити от метаморфния комплекс в Централни Родопи

Васил Арnaudов, Благой Амов

Arnaudov, V., B. Amov. 1998. Tertiary Pb-Pb age of chamber pegmatites from the Central Rhodope crystalline complex. - *Geochem., Mineral. and Petrol.*, **34**, 83-90

Abstract. Oligocene Pb-Pb thorogenic model age of 35 Ma is reported for blocky K-feldspar from chamber pegmatites cross-cutting granite-gneisses in lower migmatitic levels of the metamorphic complex in Central Rhodopes. Close age values are obtained by mineral isochrone Rb-Sr method, 35.4 ± 1.8 Ma, and K-Ar method, 35-33.4 Ma, in K-feldspars from the same pegmatites. These results show that model Pb-Pb data can be used for age determinations of rocks in regions for which radiometric results, obtained by other independent methods, are available. Abnormal high $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ values in adularia from the chamber pegmatites, as well as the high contents of some trace-elements as Ba, Sr, Mn, Ti etc. are due to the chemical composition of the hydrothermal solutions at the final stage of the pegmatite forming process. These low-temperature solutions are enriched in uraniumogenic lead related probably to the host rocks chemistry or another external source of lead.

U-Pb age of zircons from different migmatitic pegmatites in the same region, as well as the model age calculated from lead isotope ratios in K-feldspars are very close within the range of 65-30 Ma. They confirm the former conclusions of young Alpine age of pegmatite formation related to the processes of metamorphism and magmatism in the tectonically thickened crust of the Rhodope region.

Key words: Pb-Pb model age, chamber pegmatites, metamorphic rocks

Address: V. Arnaudov - Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria; B. Amov - Institute for Nuclear Research and Nuclear Energetics, Bulgarian Academy of Sciences, 1784 Sofia, Bulgaria

Ключови думи: Pb-Pb моделна възраст, камерни пегматити, метаморфни скали

Адрес: В. Арnaudов - Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София; Б. Амов - Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките, 1784 София

Увод

Схващанията за възрастта на пегматитите в метаморфния комплекс на Родопската област са свързани с възгледите на изследователите му за възрастта на кристалинните скали, в т.ч. и на внедрените в метаморфитите гранитоиди от групата

на т.н. южнобългарски гранити, много от които са генерирани разнотипни жилни скали. Приема се, че мигматичните пегматити, залягащи предимно послойно сред скалите на метаморфния комплекс, са продукт на ултраметаморфни процеси през архая и протерозоя (Боянов и др., 1963; Кожухаров, 1968 и др.), а секущите

пегматити и аплити, с малки изключения, са свързани предимно с внедряването на „южнобългарските гранити“, за които се постулира най-често палеозойска възраст (Димитров, 1939, 1946; Бояджиев, 1959, 1963; Вергилов и др., 1961, 1963; Кожухаров, 1971 и др.).

През 1969 г. (Арнаутов и др., 1969) бяха публикувани U-Pb данни за възрастта на циркони и уранините както от послойни пегматити, залягащи сред метаморфни скали в Родопите и Рила, така и от пегматити пресичащи гранитоиди от Рило-Родопския батолит. Тези възрасти са много по-млади (130-35 млн. г.) от битуващите в нашата геоложка литература възгледи съответно за докамбрийска и палеозойска възраст. И по-късните масспектрометрични определения по Pb-Pb метод на фелдшпати (моделни възрасти), както и по U-Pb метод на циркони от разнотипни пегматити в родопския кристалин са в границите креда-палеоген (Amov et al., 1973, 1982; Арнаутов и др., 1978, 1986, 1989; Arnaudov et al., 1990a, 1990b). В този интервал попадат и върастови стойности, получени по т.н. треков метод за мусковити от слюдоносни пегматити в метаморфния комплекс от Рила и Родопите (Кашукеев и др., 1970; Арнаутов и др., 1980).

Във връзка с проучването през последните 7-8 г. на камерните пегматити от района на с. Латинка при г. Ардино, бяха събрани образци за изследване минералогията на адулара и направен опит за изотопни определения на възрастта на тези пегматити по два различни метода - Rb-Sr и Pb-Pb. В настоящето съобщение се сравняват Pb-Pb върастови стойности, получени за фелдшпати от пегматитова жила „Латинка-1“ и публикувани вече Rb-Sr върастови определения за фелдшпатови минерали от същия пегматит (Пейчева и др., 1993, 1994). Прави се анализ и на други изотопно-геохронологички данни за пегматити и вместващите ги метаморфити от кристалина на Родопската област в същия район.

Геоложка обстановка

Районът, в който се разкриват най-характерните у нас представители на морфогенетичния тип камерни пегматити, се намира северозападно от г. Ардино, между с. Гълъбово (Ахряне) и махалите на с. Латинка, в източната периферия на т.н. Маданско-Давидковско подуване. Може да се говори за наличието на обособено пегматитово поле от жилообразни тела, достигащи на дължина до 90-100 m и дебелина до 6 m (Пейчева и др., 1994). Те залягат сред метаморфити с гнайсов състав, описвани като инжекционни гнайси (Костов, 1954) или по-често като гранитогнайси с преходи към гранитизирани гнайси, мигматични гнайси с редки прослойки от силиманитови гнайси и амфиболити (Димитров, 1958, Dimitrov, 1959; Иванов, 1959, 1961; Кожухаров, 1971, 1979 и др.). На много места обаче, особено в централните части на Маданско-Давидковското подуване, например в околностите на селата Дрянкя и Баните, т.н. гранитогнайси имат масивен изглед и недеформирани калиевофелдшпатови впръследи. Димитров (1958) предполага, че поне част от тях са ортогнайси, производни на стари, дълбочинни гранитни интрузии, което не изключва развитието и на мигматични образувания. Според същия автор възрастта на кристалинния фундамент е докамбрий-камбрий (?). Скалите, вместващи камерните пегматити северозападно от г. Ардино се приемат от преобладаващата част изследователи на родопския кристалин за докамбрийски (архайски ?). Кожухаров (1968, 1979) ги отнася към т.н. Арденска група на Прародопската супергрупа.

Строеж и състав на камерните пегматити

Костов (1954, 1955) описва в местността Шейтанкюпрю, северно от г. Ардино, лецовидно оформени, често кавернозни пегматити, обикновено секущи „инжекционните гнайси“ с посока 120-130°; предполагаема възраст - креда-терциер. Основни минерали - ортоклаз, албит,

кварц; присъстват още биотит, мусковит, кордиерит, андалузит, берил, алмандин, турмалин. Камерни пегматити с аналогичен минерален състав се разкриват и по-северно, в околностите на с. Латинка. Най-често това са диференцирани пегматитови жили, понякога с множество апофизи. Строежът им е сравнително прост: графична зона, изградена от ортоклаз, олигоклаз и кварц, следвана понякога към центъра на жилите от апографична (пегматоидна) зона със същия състав и в най-вътрешната част - блокова кварц-ортоклазова зона, в която се наблюдават празнини с дължина до 3 m, запълнени от глинесто-серицитова маса. В каверните често кристализират добре оформени кристали от кварц, албит, турмалин, мусковит, гранат (алмандин-спесартин), берил, адулар и др. (Костов, 1954; Пейчева и др., 1994; Арнаудова, Арнаудов, 1995).

Изотопни Pb-Pb определения

Изотопните отношения на оловото са определени в същите образци от блоков калиев фелдшпат и адулар от пегматитова жила „Латинка-1“, които са използвани от Пейчева и др. (1993) за Rb-Sr възрастови определения.

След електромагнитна сепарация и с тежки течности са отделени две мономинерални проби с размери на зърната между 0,065 mm и 0,125 mm - от блоков ортоклазов кристал и от адуларова зона (дебелина ~ 1,5 cm), нараснала върху същия ортоклазов индивид. След фазов анализ и отделяне от пробите на лесно-разтворимото олово на минералните микропримеси (Pb_{sf}), на останалата част, т.н. силикатно олово (Pb_{sj}), за което приемаме, че е включено в структурата на фелдшпатите при тяхното образуване (Арнаудов и др., 1974), е направен масспектрометричен анализ (табл. 1).

Различията между стойностите на изотопните отношения на оловото в двата калиеви фелдшпата свидетелстват, че хидротермалният разтвор (Т 290-310°C) (Пейчева и др., 1994), от който се е образувал адуларът е имал различен състав

от този на пегматитовия флуид (топилка-разтвор). Аномално високите стойности на радиогенното олово в адулара отразяват съответно високото му съдържание в разтвора. От същия разтвор, заедно с адулара, е кристализирал и циркон - циртолит, или малакон. Той е непрозрачен, бежов на цвят, метамиктен - следователно съдържа повишени количества от уран, а вероятно и торий; около цирконовите зърна се наблюдават радиални пукнатини, резултат от разпада на радиогенните елементи. За различията между химизма на първичния пегматитов флуид и хидротермалния разтвор, от който са кристализирали адуларът и метамиктният циркон, може да се съди и по рязкото нарастване на съдържанието на Ba 1260 ppm, Sr 367 ppm, Mn 367 ppm, Ti 1330 ppm, Zr 39 ppm в адулара, в сравнение с по-рано образувалите се, типично пегматитови калиеви фелдшпати от графичната и блоковата зона, в които съдържанието на същите елементи е много ниско - Ba < 40 ppm, Sr 7-12 ppm, Mn 46-55 ppm, Ti 8-93 ppm, Zr 7 ppm (Пейчева и др., 1994). Тези елементи-примеси не са характерни за редкометалните гранитни пегматити и обикновено съдържанието им намалява от по-рано образувалите се калиеви фелдшпати към по-късните им генерации. Повишените им количества в адулара отразяват относително високите им съдържания в хидротермалния разтвор. Приемаме, че при завършващия, нискотемпературен хидротермален етап от формирането на камерните пегматити при с. Латинка, е имало привнос от вещество отвън - от вместващите скали, възможно и на мобилизат от по-дълбоките нива на кората в Родопската област. Трудно е засега да се определи дали високата стойност на отношението $^{206}Pb/^{204}Pb$ в блоковия калиев фелдшпат (У-2341) характеризира първичния източник на оловото или е резултат от смесване вследствие въздействието на хидротермалния разтвор. Аналогични високи значения на това отношение са определени и за метамагматити (мигматични гнайси) с кисел характер от района на селата Широка лъка и

Таблица 1

Изотопни данни за К-фелдшпати. Моделна възраст на камерен пегматит "Латинка-1" и мигматични образувания от Егри дере

Table 1

Isotope composition of K-feldspars. Model age of the chamber pegmatite "Latinka-1" and of migmatic formations from Egri Dere

Проба	Изотопни отношения			Моделна възраст		Моделен параметър Т (млн. г.)
	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	Ураногенна възраст (млн. г.)	Торогенна възраст (млн. г.)	
967	18,512	15,636	38,760	175	53	3,145
968	18,491	15,622	38,695	187	62	3,110
965	18,562	15,658	38,836	142	42	3,185
966	18,563	15,665	38,852	145	42	3,110
У-2341	18,882	15,671	38,822	-65	35	3,175
У-2342	19,065	15,672	38,953	-175	-40	3,160

967 - К-фелдшпат от биотитов гнайс; 968 - К-фелдшпат от послойна левкосома; 965 - К-фелдшпат от метатектична аплит-пегматитова жила; 966 - К-фелдшпат от метатектична гранитова жила; У-2341 - блоков К-фелдшпат от камерен пегматит; У-2342 - адулар от камерен пегматит

967 - K-feldspar from biotite gneiss; 968 - K-feldspar from bedded leucosome; 965 - K-feldspar from aplite-pegmatite metatect; 966 - K-feldspar from granite metatect vein; У-2341 - blocky K-feldspar from chamber pegmatite; У-2342 - adularia from chamber pegmatite

Лясково, които принадлежат също, според литостратиграфската схема на Кожухаров (1984), на Прародопската (архайска) супергрупа.

Изчислената по модела на Амов (Амов, 1983а, 1983б) торогенна възраст на блоковия калиев фелдшпат е олигоценска - 35 млн. г. (табл. 1). Останалите определения по изотопните отношения, които отразяват аномално високи стойности на ураногенното олово както в блоковия фелдшпат, така и в адулара, нямат реално възрастово значение.

Олигоценска Rb-Sr възраст - $35,4 \pm 1,8$ млн. г. определят по фелдшпати от същия пегматит Пейчева и др. (1993). Rb-Sr изохрона ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $0,7091 \pm 36$) е построена по 4 проби - албит и три калиеви фелдшпата от зонален кристал, изграден от розов ортоклаз, преходна зона от бял ортоклаз и адулар.

Доброто съвпадение между Rb-Sr изохронна възраст и моделната Pb-Pb възраст потвърждава убеждението ни, че Pb-Pb торогенни възрастови стойности, определени по изотопните отношения на оловото във фелдшпати, могат успешно да се използват за геохронологички изследвания на магмени и метаморфни скали в райони, където има сравнимост с

данни, получени по други, независими изотопни методи.

Rb-Sr и Pb-Pb възрастови стойности на калиеви фелдшпати от пегматитова жила „Латинка-1“ намират потвърждение в К-Аг възрасти (непубликувани данни на П. Лилов и Л. Грозданов) за калиеви фелдшпати от камерен пегматит от същия район, в околностите на с. Гълъбово. За блоков калиев фелдшпат е определена възраст 34 млн. г., а за адулар - 33,4 млн. г.

Обсъждане

Най-често камерните пегматити залягат на малка дълбочина в хипоабисални кисели или среднокисели интрузии; по-рядко се наблюдават в метаморфни или седиментни скали от мантията на такива магмени тела. Допускайки млада, кредна или терциерна възраст за камерните пегматити при Шейтанкюпрю и с. Гълъбово (Ахряне), Костов (1954, 1955) предполага генетичната им връзка с млади гранитоиди от типа на Юговските гранодиорити, а формирането на предимно послойните „стари“ пегматити, обвързва генетично с вероятно залягаща дълбоко гранитова (каледонска) интрузия

зия. Изчислените по Rb-Sr, Pb-Pb и K-Ar метод възрасти за камерните пегматити в района на селата Гълъбово и Латинка потвърждават схващането на Костов (1954, 1955) за младата им възраст. Твърде вероятно е в Маданско-Давидковското подуване да има неразкрити ненашистени гранитоиди, но надали те са палеозойски; логично е да се предположи, че трябва да имат също терциерна възраст. Основания за това се намират в направените досега радиогеохронологични определения на магмени и метаморфни скали в тази част на Родопите.

Показателно е, че терциерната възраст на камерните пегматити кореспондира с терциерни моделни оловни (торогенни) възрасти на мигматични образувания в граитогнайси от същата Арденска група на Прародопската супергрупа (по схемата на Кожухаров), които се разкриват по Егри дере, северно от г. Ардино. За послойни тънкоивчести мигматити и пресичащи ги метатектични аплит-пегматитови жили, представляващи според Кожухаров (1971, 1979) и Zagorcev (1976) два отделени във времето етапа на мигматизация през архая (?), както и за метатектична гранитова жила, характеризираща трети етап на мигматизация, през протерозоя (Кожухаров, 1971), са изчислени торогенни оловни възрасти в интервала 62-30 млн. г. (Arnaudov et al., 1990a). В този диапазон (53-33 млн. г.) са и възрастовите стойности, определени по U-Pb метод за различни фракции от циркон в левкократни мигматични гнайси от същото ниво на метаморфния комплекс, северно от г. Ардино (Arnaudov et al., 1990a).

И в по-високите нива на метаморфния комплекс, но също в мигматизирани метаморфити, са установени пегматити с терциерна възраст. В района на с. Долен, Златоградско, слудоносни пегматити с монацит пресичат биотитови гнайси и гнайсошисти с дистен (Иванов, Арnaudov, 1966); U-Pb възрасти, определени по циркони и уранините за отношенията $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ са в границите 53±8 - 38±5 млн. г. (Арnaudov и др., 1969). Много близки до тези значения са и въз-

растовите стойности (56±17 - 30±10 млн. г.), изчислени по метода на следите в мусковити от същите пегматити (Кашукеев и др., 1979). И мигматичните пегматити с аланит и циркон, които залягат в мигматизирани гнайси при язовир Вьча (Антонивановци), южно от г. Кричим (Иванов, 1990), имат подобна възраст; за циркони, по U-Pb метод, са определени стойности между 58,1 и 49±5 млн. г. (Arnaudov et al., 1990b). Терциерна възраст (52±10 - 51±5 млн. г.) е получена по U-Pb метод и за циртолит от диференциран редкометален пегматит, пресичащ биотитов гранит от Рило-Родопския батолит в местността Вищерица, Западни Родопи (Арnaudov и др., 1969).

Заклучение

Съпоставянето на възрастовите данни за фелдшпати от камерните пегматити при г. Ардино, Централни Родопи, получени по три метода - Rb-Sr, K-Ar и Pb-Pb, позволява да се приеме с голяма сигурност реалността на определената младотерциерна възраст и възможността за използването на моделните торогенни Pb-Pb възрастови определения за датирание на геоложки събития, при наличието на сравними данни от други, независими геохронологични методи.

Генезисът на камерния тип пегматити се свързва обиковено с внедряването на гранитоидни магми, но също и с огнища на пегматитови топилки-разтвори, които могат да възникнат и при процеси на ултраметаморфизъм. Минералният състав и химизмът на камерните пегматити при селата Гълъбово и Латинка свидетелстват за формиране от корово вещество, най-вероятно диференциат на гранитоидна топилка. За това говорят и високите стойности на $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, които са сравними със съответните значения на същото отношение в метатектитите - аплит-пегматитовата жила и гранитовата жила от Егри дере (табл. 1) (Arnaudov et al., 1990a). Подчертано по-ниски са изотопните отношения на оловото в калиевите фелдшпати на левкосомите от мигматичните гнайси при Егри дере

(табл. 1), което вероятно се дължи на различен източник на оловото, в който има значимо участие и на мантийно вещество.

Резултатите от възрастовите определения на мигматичните образувания и на камерните пегматити от района на г. Ардино позволяват да се очертае тенденция в последователността на образуването им, която намира потвърждение в резултатите от минералого-петроложките, геохимичните и структурните изследвания на мигматитите от Централни Родопи (Arnaudov et al., 1990a; Чернева и др., 1995, 1997). Най-ранни са съгласните на фолиацията на гнайсите левкосоми, следвани от метатектитите - аплит-пегматитовата и гранитовата жила от Егри дере, а най-млади са секущите „гранитогнайсите“ в Мадан-Давидковското подуване камерни пегматити. Вероятно близки по време на формиране до метатектичните жили от Егри дере са мигматичните пегматити с аланит и циркон по р. Вьча, които според Чернева и др. (1995) съответстват по положение, минерален състав и структурни особености на описаните при Симеонов мост, южно от с. Михалково, бластомилонитови пегматоидни жили.

По-голямата част от пегматитовите и аплит-пегматитовите жили в Централни Родопи се разкриват в дълбоките нива на метаморфния комплекс, изграден от метаморфитите (с преобладаващ магмен произход) на т.н. Ардинска тектонска единица (Иванов, 1989; Ivanov, 1988; Burg et al., 1990), в която са съсредоточени и проявите на мигматизация. Съпоставянето на наблюденията върху структурната последователност на мигматичните образувания в разкрития от различни нива на Ардинската единица с резултатите от минералтермометричните изследвания на фелдшпатите от тези мигматити, позволява на Чернева и др. (1997) да обосноват извода за генерирането на значими обеми от анатектични топилки в мигматизираната кора на Родопската област. Техни проявления в съвременните разкрития на метаморфитите от Ардинската единица са гранитните, пег-

матитовите и аплитовите жили (Чернева и др., 1997).

Изложените радиогеохронологички данни за камерни пегматити от Маданско-Давидковското подуване и сравнителният анализ на данните за различни мигматични образувания, в т.ч. пегматити, аплит-пегматити и гранитови жили, повечето от които с доказана генетична връзка с процесите на ултраметаморфизъм в Ардинската тектонска единица, свидетелстват за последователност във формирането им в алпийско време, в интервала 65-30 млн. г. Тези резултати потвърждават още веднъж публикуваните досега възрастови стойности и изводи от тектонски, минералого-петроложки и геохимични изследвания за връзката между метаморфизма, гранитообразуването и пегматитообразуването в Родопската област в условията на тектонски удебелена кора през периода креда-терциер.

Литература

- Арнаулов, В., Бл. Амов, М. Павлова. 1969. Върху абсолютната геоложка възраст на някои пегматити от Южна България. - *Изв. Геол. инст., сер. геохим., минерал. и петр.*, **18**, 19-27.
- Арнаулов, В., М. Павлова, Бл. Амов, Ц. Балджиева. 1974. Възраст и генезис на пегматити от Южна България по данни от изопния състав на оловото във фелдшпатите. - В: Й. Минчева (ред.) *Минерогенезис*. С., БАН, 315-332.
- Арнаулов, В., Т. Танева, Р. Игнатова. 1980. Геохронологички изследвания по метода на следите на пегматити от Рила планина. - *Геохим., минерал. и петрол.*, **13**, 19-26.
- Арнаулов, В., Бл. Амов, М. Павлова. 1986. Свинец-свинцови и уран-свинцови изотопни радиогеохронологически изследвания гранитоидов и метаморфических пород в Болгарии. - В: *Радиологическое датирование геологических процессов и геохимия изотопов*. Проблема IX, проект 6 многостороннего сотрудничества. С., БАН.
- Арнаулов, В., Бл. Амов, М. Павлова. 1988.

- Геохронология и изотопен състав на оловото в калиеви фелдшпати и плагиоклази от интрузивни и метаморфни скали в Родопската зона. - *Геология и минерални суровини на Родопския масив, VIII научна сесия на Бълг. геол. д-во*, Сб. резюмета, 89-91.
- Арнаулов, В., Бл. Амов, Е. Н. Бартницкий, М. Павлова. 1989. Изотопна геохронология магматических и метаморфических пород в Балканидах и Родопском массиве. - *XIV конгресс КБГА*, София, Тезиси докладов, 1154-1157.
- Арнаулова, Р., В. Арнаудов. 1995. Адулар в различни генетични типове минерализации от България. - *Геохим., минерал. и петрол.*, **30**, 31-50.
- Бояджиев, Ст. 1960. Магматичните скали в Западните Родопи. - *Год. Упр. геол. и минни проучв.*, **10**, 89-125.
- Бояджиев, Ст. 1963. По въпроса за възрастта на южнобългарските гранити. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, **24**, 2, 155-163.
- Боянов, Ив., Б. Маврудчиев, Ив. Вапцаров. 1963. Върху структурно-формационните особености на част от Източните Родопи. - *Изв. Геол. инст.*, **12**, 125-186.
- Вергилов, В., Д. Кожухаров, Б. Маврудчиев. 1961. Бележки върху западнородопския батолит и метаморфната му мантия. - *Изв. Геол. инст.*, **9**, 153-197.
- Вергилов, В., Д. Кожухаров, Ив. Боянов, Б. Маврудчиев, Е. Кожухарова. 1963. Бележки върху допалеозойските метаморфни комплекси в Родопския масив. - *Изв. Геол. инст.*, **12**, 187-211.
- Димитров, Стр. 1939. Постижения и задачи на петрографските изучавания у нас. - *Год. Соф. Унив., Физ.-мат. ф-т*, **35**, 225-253.
- Димитров, Стр. 1946. Метаморфните и магматичните скали в България. - *Год. Дир. Геол. и минни проучв.*, **А**, 4, 61-93.
- Димитров, Стр. 1958. О развитии магматизма и размещении связанных с ним рудных месторождений Болгарии. - *Изв. АН СССР, сер. геол.*, **8**, 3-9.
- Иванов, Ив. М. 1990. Върху геохимията и генезиса на мигматичните пегматити от метаморфния комплекс в Централните Родопи. - *Геохим., минерал. и петрол.*, **26**, 65-75.
- Иванов, Ив. М., В. Арнаудов. 1966. Редкометалната минерализация в слюдоносните пегматити от находище Долен, Златоградско. - *Изв. Геол. инст.*, **15**, 145-157.
- Иванов, Р. 1961. Стратиграфия и структура на кристалина в Източни Родопи. - *Труд. върху геол. на Б-я., сер. геохим. и пол. изк.*, **2**, 69-119.
- Кашукеев, Н., Бл. Амов, В. Арнаудов, М. Кашукеева, Т. Танева, Р. Игнатова. 1979. Изследвания върху геоложката възраст на слюдоносни пегматити от Източни Родопи по метода на следите. - *Геохим., минерал. и петрол.*, **10**, 3-10.
- Кожухаров, Д. 1968. Протерозойски комплекс. - В: В. Цанков, Хр. Спасов (ред.) *Стратиграфия на България*. С., Наука и изк., 21-62.
- Кожухаров, Д. 1979. Докембрий восточной периферии Мадано-Давидского поднятия. - В: *Докембрий Родопского массива и обрамляющие его фанерозойские метаморфические формации. Проблема IX многостороннего сотрудничества АНСС*, 56-61.
- Кожухаров, Д. 1971. Структурни комплекси в Източнородопския блок. - В: *Тектонски строеж на България.*, С., Техника, 99-110.
- Кожухаров, Д. 1984. Литостратиграфия докембрийских метаморфических пород Родопской супергруп в Централных Родопах. - *Geologica Balc.* **14**, 43-88.
- Костов, Ив. 1954. Андалузит от пегматитите в Ардинско, Централните Родопи. - *Год. СУ, БГГ ф-т*, **48**, 2, геол., 1-21.
- Костов, Ив. 1955. Върху кордиеритовите псевдоморфози. - *Год. СУ, БГГ ф-т*, **49**, 2, геол., 1-18.
- Пейчева, И., С. Соколов, А. Секиранов. 1993. Rb-Sr изотопно датирование пегматитов района г. Ардино, Централни Родопи. - *Докл. БАН*, **46**, 7, 63-65.
- Пейчева, И., Р. Арнаулова, В. Арнаудов, А. Секиранов. 1994. Адулар от камерни пегматити при с. Латинка, Централни Родопи. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, **55**, 1, 25-35.
- Чернева, З., Д. Димов, Е. Станчева, Л. Даиева.

1995. Субсолидусни и анатектични жили в мигматизирани гнайси от долината на р. Вьча в Централните Родопи. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, **56**, 3, 91-109.
- Чернева, З., Р. Арnaudова, Ц. Илиев, К. Рекалов. 1997. Фелдшпатова термометрия на мигматични образувания от Централните Родопи. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, **58**, 3, 139-156.
- Amov, B. 1983a. Evolution of uranogenic and thorogenic lead. I. A dynamic model of continuous isotopic evolution. - *Earth Planet. Sci. Letters*, **65**, 61-74.
- Amov, B. 1983b. Evolution of uranogenic and thorogenic lead. II. Some differences in the variations of the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$. - *Earth Planet. Sci. Letters*, **65**, 311-321.
- Amov, B., Ts. Baldjieva, V. Arnaudov, M. Pavlova. 1979. Isotopic composition of lead in potassium feldspars and the geological age of pegmatites in Southern Bulgaria. - *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **26**, 11, 1513-1516.
- Amov, B., V. Arnaudov, M. Pavlova. 1982. Lead isotope data and age of granitoids and metamorphic rocks from Sredna Gora and Pirin. - *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **35**, 11, 1535-1537.
- Arnaudov, V., B. Amov, Z. Cherneva, R. Arnaudova, M. Pavlova, E. Bartnitsky. 1990a. Petrological-geochemical and lead-isotope evidence of Alpine metamorphism in the Rhodope crystalline complex. - *Geologica Balc.*, **20**, 5, 29-44.
- Arnaudov, V., B. Amov, Ts. Baldjieva, M. Pavlova. 1990b. Tertiary migmatitic pegmatites in the Central Rhodope crystalline complex. Uranium-lead zircon dating. - *Geologica Balc.*, **20**, 6, 25-32.
- Burg, J.-P., Z. Ivanov, L. E. Ricou, D. Dimov, L. Klain. 1990. Implications of shear-sense criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodope massif, Southern Bulgaria. - *Geology*, **18**, 451-454.
- Dimitrov, Str. 1958. Über die Alpidische Regional-metamorphose und ihre Beziehungen zu der Tektonik und dem Magmatismus in Sudostbulgarien. - *Geologie*, **7**, 3-6, 560-568.
- Ivanov, Z. 1988. Aperçu general sur l'évolution géologique et structurale du massif des Rhodopes dans le cadre de Balkanides. - *Bull. Soc. Geol. Fr.*, **8**, 227-240.
- Ivanov, Z. 1989. Structure and tectonic evolution of the central parts of the Rhodope massif. - In: *Guide to Excursion E-3, CBGA, XIV Meeting*, Bulgaria.
- Zagorcev, I. 1976. Tectonic, metamorphic and magmatic markers in the polycyclic ultrametamorphic Ograzdenian complex. - *Geologica Balc.*, **6**, 2, 17-34.

Приета на 29.05.1998 г.

Accepted May 29, 1998