

Епитермални аргилизити и съпътстващи ги околорудни изменения в полиметалното находище Брястово, Източни Родопи

Ангел Кунов, Лиляна Кацева, Никола Райнов

Kunov, A., L. Katseva, N. Raynov. 1997. Epithermal argillizites and associated wallrock alterations in the polymetallic deposit Briastovo, Eastern Rhodopes. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 32, 67-84

The polymetallic deposit Briastovo is a part of the Spahievo ore field. It is characterized by the broad occurrence of wallrock alterations developed at the expense of intermediate to acid volcanites (andesites, latites, rhyolites and rhyodacites) and monzonites. Best represented are the propylites, argillizites and secondary quartzites formations (advanced argillization). The argillization is the main wallrock alteration in the deposit. Endogene epithermal (premineral and pre-ore) and supergene argillization are distinguished.

The wallrock epithermal argillizites include: quartz, kaolinite, hydromica, chlorite, mixed layers minerals, little less carbonates, occasionally montmorillonite, rarely dickite, pyrophyllite and halloysite. The following tendencies are interesting:

- large development of micas and argillaceous minerals with predomination of the first one;
- development of the hydromicas $2M_1 > 1M$ in the inner zones and $1M$ or transitional type $1M-2M_1$ in the outer zones;
- the micas of muscovite type $1M > 2M_1$ change at depth or into the ore zones from the first to the second type.

An analysis of the compositional variations in the argillizites based on a chemical balance with quantitatively evaluation of the migration mobility of the components has been done.

The deposit is a typical example of the metasomatic zonation with clear overimposing of the various wallrock alterations. In the argillizites (based on the mineralogical-petrological principle) are distinguished outer, intermediate and inner zones. The outer zone is characteristic by relatively fresh biotite, lot of calcite and chlorite + argillaceous minerals in the ground mass. The intermediate zone contains components of the other zones. In the inner zone the phenocrysts are strongly altered (occasionally excepting the potassium feldspar) and make unclear the contours between them and ground mass. The monoquartzite zones are formed as result of intensive acid leaching.

The relation between the metasomatic alterations and the ore show the next order of originating: premineral stage (propylites, secondary quartzites ± argillizites) ⇒ ore stage: pre-ore argillizites → proper-ore alterations → post-ore alterations.

The pre-ore argillizites (especially the inner zones and in the cases when the monoquartzite zones occur in them), the ore chlorite and hydromica, quartz-barite and quartz-adularia metasomatites accompany the ore mineralizations and could be used in the search of economical ore mineralizations.

Key words: argillization, metasomatic zonation, clay and mixed layer minerals, hydromica, chlorite, sericite, adularia.

Address: A. Kunov — Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia ; L. Katseva,

Ключови думи: аргилизация, метасоматична зоналност, глинести и смесенослойни минерали, хидрослюда, хлорит, серицит, адулар.

Адрес: А. Кунов — Българска академия на науките, Геологически институт, 1113 София; Л. Кацева, Н. Райнов — „Геология и геофизика“ АД, Предприятие за лабораторни и геохимични изследвания, 1113 София

Увод

Полиметалното находище Брястово се намира в северната част на Спахиевското рудно поле, разположено в североизточната периферия на Боровишкия вулкански район (H a r k o v s k a et al., 1989). Според Г е о р г и е в и М и л о в а н о в (1989) находището е вместено в т. нар. от тях Брястовски грабен с бортови разломи, които са равнозначни на Мечковецкия дислокационен сноп на юг и Пилашевския разломно-дайков сноп на север (Б о я н о в, М а в р у д ч и е в, 1961). Находището е локализирано в централната част на Брястовския вулкан (У а п е в, Р е с с к а у, 1997) почти изцяло във вулкански скали, свързани с долноолигоценски среднокисел и средноолигоценски кисел по състав вулканизъм. Разкриват се феноандезити, едро- и среднопорфирни висококалиеви латити, риолити, трахириодацити и перлити, а със структурен сондаж в дълбочина се навлиза в Брястовската монзонитоидна интрузия (У а п е в, Р е с с к а у, 1997; Я н е в — непубликувани данни за пълната петроложка характеристика на магматизма в находището; Г е о р г и е в, М и л о в а н о в, 1989; К у н о в, 1986, 1994).

Характеристика на метасоматичните изменения

Хидротермално-метасоматичните изменения в находище Брястово се характеризират с редица особености, които произлизат от цялостното магмотектонско развитие на района. Подобно на създадения емпиричен модел на примери от Зап. Средногорие (В е л и н о в, 1973) могат да се отделят три типа изменения: регионално-хидротермален, контактно-хидротермален и къснохидротермален. Най-значително място по разпространение и важност заемат метасоматитите от къснохидротермалния тип, за чието развитие и взаимоотношения има различни мнения (частично разгледани от К у н о в, 1994а). Всъщност повече от тях са типични околорудни изменения.

Пропилитизацията на вулканските скали е сравнително добре застъпена, но е и неравномерно разпределена. В процеса на пропилитизация новообразуваните минерали заместват псевдоморфно първичните или запълват прожилки и гнезда. Интензивността на изменение нараства от тъмнобойните минерали към фелдшпатите. Обликът на пропилитите се определя най-вече от разпространението на хлорита и карбоната (калцит), добре е представен серицитът, сравнително по-рядко се среща епидотът, докато актинолитът е установен в единични случаи, главно около и в Брястовската интрузия. Пропилитизацията засяга и самата интрузия, но само частично. Албитизацията не е постоянна; пълна албитизация на фелдшпатите се наблюдава на отделни места. Макар и различно, тенденцията към зоналност е изразена навсякъде.

Формацията на вторичните кварцити е една от основните метасоматични формации за Спахиевското рудно поле (Р а д о н о в а, 1973; К у н о в, 1986). В

находище Брястово се наблюдават следните фащиални разновидности (К у н о в, 1991):

— монокварцити. По-големи неправилни или линейни изтеглени тела се наблюдават в местн. Св. Неделя, южно и западно от находището. Изградени са почти само от кварц и рутил, но могат да съдържат и малко диаспор.

— диаспорови и диаспорсъдържащи кварцити в неголеми разкрития се наблюдават в местн. Св. Неделя и западно от Черния камък. Скалите съдържат кварц и диаспор (5—15 %, в единични случаи до 60 %), каолинит.

— алунитови кварцити. Заемат част от площите с хидротермално изменени скали в местн. Св. Неделя и в северозападната част на находището, където в дълбочина се пресичат от сондаж 958. Изградени са от кварц, алунит, каолинит, дикит, пирофилит, железни хидроокиси, ярозит, \pm диаспор, \pm пирит, \pm хематит.

— каолинит-дикитови — от тях са установени единични разкрития.

Аргилизитовият тип изменение е основно за находище Брястово, като при това се отделят ендеогенна (дорудна и предрудна епитермална) и супергенна аргилизация.

Ендеогенната аргилизация е средно- до нискотемпературно хидротермално изменение на различни скали в приповърхностни и умерени дълбочини, на чието достатъчно широко разпространение не съответства степента на нейното познаване. Терминът аргилизация се появява в литературата в края на миналия век, но като понятие за хидротермално изменение на скали с основни продукти глинести минерали е въведено от L o v e r i n g (1941). Едва в последните 20-30 години с по-силното навлизане и с увеличаването на разделителните възможности на рентгеноструктурния анализ в научните изследвания и взаимното допълване с микроскопия, ДТА, микросондов анализ и др., позволи в детайлната характеристика на аргилизацията да се включат освен глинести, още хидрослюди, хлорити, смесенослойни минерали и др.

Според Р у с и н о в (1989) епитермалните аргилизити се развиват по субаерални вулканити и се свързват с внедряването на масиви от гранодиорит-порфири, съпроводени от ореоли на хорнфелзуване и пропилизация. Аргилизитите се налагат върху пропицити и неизменени скали. Формацията на епитермалните аргилизити е съвкупност от фацисии на киселинни метасоматити от постмагматичния стадий, образуващи се на дълбочина 0,5-1 km с отдалечаване от магматичния контакт на гранитоидни интрузии на субвулканско ниво.

В о л о с т н ы х (1972) отделя предшествващи аргилизацията изменения (скарнообразуване, грайзенизация, микроклинизация, албитизация и т. н.) и съпътстващи (вторични кварцити, пропицити, средно- и нискотемпературни метасоматити и др.).

Примерите от литературата и от наши находища показват, че в някои случаи трудно се характеризират отношенията между вторични кварцити, аргилизити и пропицити. Такива затруднения възникват особено когато трябва да се определи формационно-фащиалната принадлежност на метасоматити:

— съдържащи алунит — съдейки най-общо само по минералния състав, според едни автори те са от формацията на вторичните кварцити, а според други — от тази на аргилизитите;

— с минерални парагенези без епидот — такива случаи са известни на преходите аргилизити-пропицити и с еднакъв успех могат да се приемат като крайни зони на едната или другата формация;

— аргилизитов тип, но във външни зони на формация вторични кварцити;

— пропицитов тип, но като външни зони на формация аргилизити.

При решаването на тези случаи е необходимо да се оценят както минералният състав на метасоматитите, така и типоморфните минерални парагенези, метасоматичната зоналност и геоложката позиция.

Особености в минералообразуването на епитермалните аргилизити

Основни скалообразуващи минерали са: кварц, каолинит, хидрослюда, хлорит, серицит, смесенослойни; по-малко са карбонатите, участието на монтморилонит е неравномерно, по-рядко се доказват дикит, пирофилит и халуазит (табл. 1).

Интерес представляват следните тенденции:

— широко развитие на хидрослюдите, с привиден превес над глинестите минерали;

— независимо от съвместното съществуване на хидрослюди и серицит, степента на хидратация на хидрослюдите в дълбочина намалява и се увеличава съдържанието на серицита;

— хидрослюдите $2M_1 > 1M$ се развиват във вътрешните зони, а във външните - $1M$ или преходния тип $1M - 2M_1$;

— от слудите мусковитов тип $1M > 2M_1$ с преход в дълбочина или в рудните зони от първия към втория тип;

— в някои вътрешни зони (сондажи 872 и 939) се установяват безрудни участъци с каолинит-Са монтморилонитов състав, зони с бедни руди със смесенослойни минерали без каолинит (сондажи 965, 992) и сравнително по-богати рудни участъци (напр. в сондаж 894) с подчертано хидрослюдов състав;

— при аргилизацията не се стига винаги до появата на мономинерални тилови зони, типични за метасоматозата крайни продукти. Често се образуват дву-, а понякога полиминерални парагенези;

— макар и не всякога ясно поради налагане на процеси, продуктите на аргилизацията оформят външни, междинни и вътрешни зони.

Известно е, че при аргилизацията силикатите са главната реагентноспособна част (В о л о с т н ы х, 1972), а главен продукт на заместване са глинестите алумосиликати. Продуктите заместват псевдоморфно порфирните минерали, развиват се по основната маса или в прожилки и гнезда. Естествени са различията в количествено и качествено отношение при метасоматичното отлагане в различните зони. Прегледът на псевдоморфозите по основните скалообразуващи минерали на латитите по зони показват следното (табл. 2):

П и р о к с е н и а м ф и б о л

Между всички мафити и скалообразуващи минерали те се променят напълно още във външните зони. Най-често изоморфните форми се запълват от карбонат, частично от хлорит. От междинните към вътрешните зони те постепенно се заместват от кварц, рядко от глинести минерали (каолинит). Не са изключение рутилът, пиритът и понякога хидротермалният апатит.

Б и о т и т

Във външните зони той е почти свеж, частично опацифициран, с отложен по него каолинит \pm карбонат или хлоритизиран по пукнатини с отделяне на рутил. В междинните зони се наблюдават реликти от вътрешните части на порфирите, докато в перифериите и по пукнатини се отлагат хлорит и кварц. Във вътрешните зони е заместен напълно от мусковит и/или от глинести минерали \pm рутил.

Таблица 1

Минерален състав на околорудните метасоматити по обобщени данни от рентгенова дифрактометрия, комбинирана с диференциално-термичен анализ

Table 1

Mineralogical composition of the wall-rock altered metasomatites by generalized data of diffractogram with DTA

| Политипия и хидратация на слюдите | Вид на хлоритите | Вид на глинестите минерали | Други минерали |
|---|----------------------------|----------------------------|--|
| Мусковит | клинхлор Ia(железист) | каолинит | арсенопирит, пиротин, пирит, молибденит, сфалерит, халкопирит, борнит, халкоцит, галенит, диаспор, магнетит, хематит, рутил, флуорит, гибсит, кварц, b-кристобалит, тримит, плагиоклаз, албит, ортоклаз, микролин, санидин, ерионит?, офретит, стилбит, клиноптилолит?, анацим, томсонит, епидот, апатит, флуорапатит, карбонатхидроксилapatит, хидроксилapatит, монацит?, лаубманит?, шренгит, хинсдалит, алунит, нагрозунит?, анхидрит, барит, базалуминит?, мендоцит?, гипс, анхидрит, калцит, родохрозит, сидерит, арагонит, доломит, анкерит, пирсонит? |
| Мусковит 1M | клинхлор IIb(железист) | каолинит 1T | |
| Хидратиран мусковит 2M ₁ до илит 2M ₁ | клинхлор IIb | дикит | |
| Силно хидратиран мусковит до илит 2M ₁ | (магнезиално-железист) | дикит 2M ₁ | |
| Силно хидратиран мусковит 2M ₁ до илит 2M ₁ | клинхлор IIb | халуазит | |
| Силно хидратиран мусковит | (железисто-магнезиален) | пирофилит | |
| Силно хидратиран мусковит 1M | клинхлор IIb (магнезиален) | пирофилит 2M ₁ | |
| Серицит; нехидратиран серицит 2M ₁ | | монтморилонит | |
| Мусковитов тип серицит 1M | | Са-монтморилонит | |
| Серицит преходен тип 1M-2M ₁ | | коренсит | |
| Слабо хидратиран серицит 1M | | К-ректорит | |
| Слабо хидратиран серицит преходен тип 1M>2M ₁ | | | |
| Слабо хидратиран серицит преходен тип 2M ₁ >1M | | | |
| Хидрослюда | | | |
| Хидрослюда 1M | | | |
| Хидрослюда мусковитов тип 1M | | | |
| Хидрослюда 2M ₁ и 2M ₂ | | | |
| Илит | | | |
| Илит 1M | | | |
| Илит 2M ₂ и 2M ₁ | | | |
| Биотит, биотит 1M | | | |
| Хидробиотит | | | |
| Флогопит | | | |

Минералогията на находището се допълва от непопадналите в анализиранияте проби нерудни (ломонит, актинолит, селадонит, сванберит, гюркоаз, мелантерит, ярозит, манганокалцит — данни на А. Кунов) и рудни минерали (витихенит, тенантит, айкинит, фридрихит, хамарит, косалит, бурсаит, никел-кобалтов сулфид, марказит, ковелит, шромайерит, бисмутинит — данни на К. Петрова, А. Мутафчиев)

Анализите са извършени в лаборатория „Рентгеноструктурен анализ и ДТА“ на Геология и геофизика АД, София от д-р Н. Райнов (р-л), В. Чунева, И. Чехларова, Р. Атанасова, В. Христова, Р. Цанкарска, С. Кожухарова.

All samples have been analyzed at the laboratory “X-ray structural analysis and DTA” of Geologia i Geofysica AD, Sofia by Dr N. Raynov (leader), V. Chuneva, I. Chehlarova, R. Atanasova, V. Hristova, R. Tsankarska, S. Kojouharova.

Таблица 2

Псевдоморфни замествания в процеса на предрудна аргилизация (по микроскопски данни)

Table 2

Pseudomorphous replacements in the process of the wall-rock argillization (microscopic data)

| | Зони на аргилизация | | |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|---|
| | външна | междинна | вътрешна |
| Реликтови порфирни минерали | ± пироксен, биотит ± плагиоклаз, калиев фелдшпат | ± биотит, калиев фелдшпат | ± калиев фелдшпат |
| Едукт | Продукти на аргилизацията | | |
| пироксен | карбонат, хлорит | карбонат, ± дребнозърнест кварц | дребнозърнест кварц, рутил, ± пирит, ± хидротермален апатит |
| биотит | хлорит, карбонат, опацитизация | каолинит, ± дребнозърнест кварц | каолинит, дребнозърнест кварц, мусковит |
| плагиоклаз | финодисперсен глинест агрегат, албит, карбонат, ± хлорит | хидрослюди ± глинести, серицит | финодисперсен агрегат от глинесто-хидрослюдести продукти ± каолинит |
| калиев фелдшпат | сравнително свеж, ± албит | ± карбонат | дребнозърнест кварц, глинести минерали, хидрослюди |
| Текстура, структура | масивна; пилотакситова, хиалопилитова | масивна; неясно пилотакситова | масивна; заличена |

П л а г и о к л а з

Плагиоклазът във външните зони е петнисто заместен до албит, с финодисперсни глинести минерали в сърцевината, карбонатизиран, хлоритизиран по пукнатини. Във вътрешните зони е изцяло заместен от хидрослюда, серицит, понякога хлорит или от смес от 2-3 минерала. Макар че не е типично, окварцяването не е непознато. Често плагиоклазите са адуларизирани.

К а л и е в ф е л д ш п а т

Той е най-стабилен от всички минерали по отношение на промените. Във външните зони обикновено е сравнително свеж или албитизиран на места, със слабо развитие на глинести и хидрослюдести продукти. Въпреки че стабилността му във вътрешните зони се съхранява до известна степен, наблюдават се понякога частични до пълни псевдоморфози от кварц, глинести и хидрослюдести продукти.

Както отбелязва В о л о с т н ы х (1972), хидротермалната глинеста метасоматоза се съпровожда с образуването на глинести минерали в следните случаи:

- излишъкът от вещество се отделя под формата на окиси (кварц, бьомит, хидраргирит, левкоксен, хематит) или образува пирит с анионите на разтвора;
- компонентите, не влезли в състава на глинестите минерали, се свързват

с анионите на разтвора (карбонати, флуорит) или влизат в състава на силикати (албит, епидот, зеолити);

— при неблагоприятни условия за образуване на глинести минерали, в централните части на ореола се изявява серицит вместо хидрослюда (при $T > 400^\circ\text{C}$), адулар и албит вместо хидрослюда (високи значения на рН, излишък на Si, K, Na):

— повишаването на киселинността на разтворите в близост до повърхността (рН < 4) води до образуване на кварц и сулфати вместо глинести минерали.

Адуларизация. За нейни прояви, свързани с жилното орудяване и кварцовите прожилки сред едропорфирните латити в т. нар. Спахиевско рудно поле, най-напред съобщава Р а д о н о в а (1973). Извършените впоследствие ревизионни научноизследователски работи (В е л и н о в и др., 1980 — непубликувани данни, К у н о в; 1991) показаха значително разпространение на този процес по цялата площ в североизточната част на периферията на Боровишкия вулканически район, както и в самата Сърнишка калдера (У а п е в et al., 1986; Р а й н о в, Я н е в, 1991).

В изучаваното находище адуларизацията е развита както по скалите на среднокиселия латитов, така и по тези от киселия (трахириодацитов и риолитов) вулканизъм, главно северозападно и североизточно от с. Брястово. На повърхността зоните са по-слабо проявени и се характеризират с вариращи до няколко сантиметра дебелина на кварц-адуларовите прожилки. Съдържанието на Na_2O и K_2O в тях варира, като достигат съответно 0,56 и 8,40 тегл. %. Адуларът е представен от типичните псевдоромбични прерези или е ксеноморфен (табл. I. 1). Освен това се установява и широко псевдоморфно заместване на порфирни плагиоклази от адулар, при което се наблюдава вълновидно и мозаично потъмнение (табл. I. 2).

Адуларизацията е пряко свързана с полиметалното орудяване, но за разлика от находище Чала (намиращо се на юг в непосредствена близост), тя не е така интензивна и засега злато е установено в единични случаи.

Зеолитизацията в част от Спахиевското рудно поле е разгледана най-подробно от К о с т о в и др. (1966), като са показани максимумите в нейното разпределение и отношението ѝ към другите процеси. Авторите обвързват зоните (югоизточно от с. Спахиево) на зеолитизация със зоните на каолинизация, пиритизация, хлоритизация и диаспоровите кварцити. Прави се заключение, че зеолитизацията е генетически свързана с полиметалната минерализация, независимо от тяхната разграниченост във времето. Съсредоточаването на зеолити в отделните зони се обяснява с привързването им към по-интензивно променени участъци или разломни линии.

За района, западно от Сърнишкия разлом, У а п е в et al. (1986) отбелязват развитието на зеолити в строго определени части от киселите куполи, но винаги около кварц-адуларови образувания. Те предполагат, че метасоматичното заместване на перлитите е станало от порови разтвори, като високото съдържание на SiO_2 в стъклото е довело до образуването на високосилициеви зеолити, опал-кристобалит и монтморилонит.

При предишни (К у н о в, 1986) и сегашните изследвания се попадна на зеолитови минерали (стилбит, аналцим, томсонит, ломонтит) сред хидротермално изменени скали, което позволява да се направи следното уточнение:

— описаната от У а п е в et al. (1986) и установената от нас зеолитизация е свързана с късноалкалния стадий. В нашия случай тя се налага върху зоните на киселинно извличане, така че не съществува преход между нея и вторичните кварцити. Новите данни показват несъмнената връзка на зеолитизацията в находище Брястово с рудообразователния процес.

Баритизация. Данните за Спахиевското рудно поле са откъслечни и също са получени попълно при други изследвания (Рашков, 1962; Костов и др. 1966; Димитров, Димитров, 1974 и др., както и в доклади за геоложките картировки). Обобщаването на тези данни и нашите изследвания (вкл. и в находище Брястово) показват:

— привързаност на зоните на баритизация към дългоживуци разломни нарушения;

— случаи на съвместно развитие на барит с адулар и рудни минерализации;

— взаимоотношенията с орудяванията са сложни, но изглежда превес имат случаите на отлагане върху оловно-цинковите минерализации.

Карбонатизацията конкретно за разглежданото находище е проявена в широк диапазон: от дорудните пропилити през рудообразуването и включително в следрудните отлагания. Докато при пропицитите се развива калцит, при предрудните аргилизити калцитът отново е водещ карбонат, но вече се появява и доломит. В рудния стадий се отлагат калцит, доломит, сидерит, а в следрудния — главно калцит. През различните стадии на хидротермално-рудния процес освен самостоятелно карбонатите се отлагат и в прожилки заедно с кварц, понякога със зоолити. Основни елементи на карбонатите в низходящ ред са: $\text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Fe}$.

Биотитизацията на скалите от Сърнишката интрузия (Маврудчиев, Ботеv, 1966), е отнесена към автотетасоматичните минерализации (заедно с албитизация, епидотизация, хлоритизация и т. н.), свързани с хидротермални постмагматични разтвори.

Кунов (1986) описва вторична биотитизация по североизточния контакт на Сърнишката интрузия и в кварц-адуларова зона при р. Величка (южно от Сърница). Новите данни от сондажите в находище Брястово показват, че:

— биотитизацията, изразена в образуването на струпвания от вторичен дребнолюспест биотит, се развива без избирателност по всички порфирни минерали и в основната маса на вулканските и интрузивните скали; тя не се ограничава тясно по контакта, а има сравнително по-широк размах;

— вторичният биотит е една от изявите на калиева метасоматоза вероятно от късноалкалния стадий.

Картината на късната хидротермална дейност се допълва от апатит, анхидрит и флуорит — нов минерал за Спахиевското рудно поле (табл. I. 3). Флуоритът е сравнително постоянен в много сондажи с орудявания с тенденция за разпространение в средните и по-дълбоките хоризонти, при това с различна морфология на кристалите (кубична, октаедрична и комбинация от двете). Всичко това разширява възможностите за тълкуване на генезиса на хидротермалните разтвори.

Геохимия на петрогенните компоненти

Оценката на измененията на веществения състав на скалите от различните метасоматични колонки е извършена въз основа на химични анализи. В статията като пример се представя количественият баланс при епитермалните предрудни аргилизити (табл. 3, фиг. 1). От анализа на резултатите по изменението на химизма в установената зоналност може да се даде следната количествена оценка за миграционната подвижност на основните компоненти:

SiO_2 — незначителните количествени изменения се дължат на износа на другите компоненти. Значителното увеличение на SiO_2 при монокварцовите

Таблица 3

Изменение на химичния състав на вулканиски скали при образуването на предрудни аргилизити

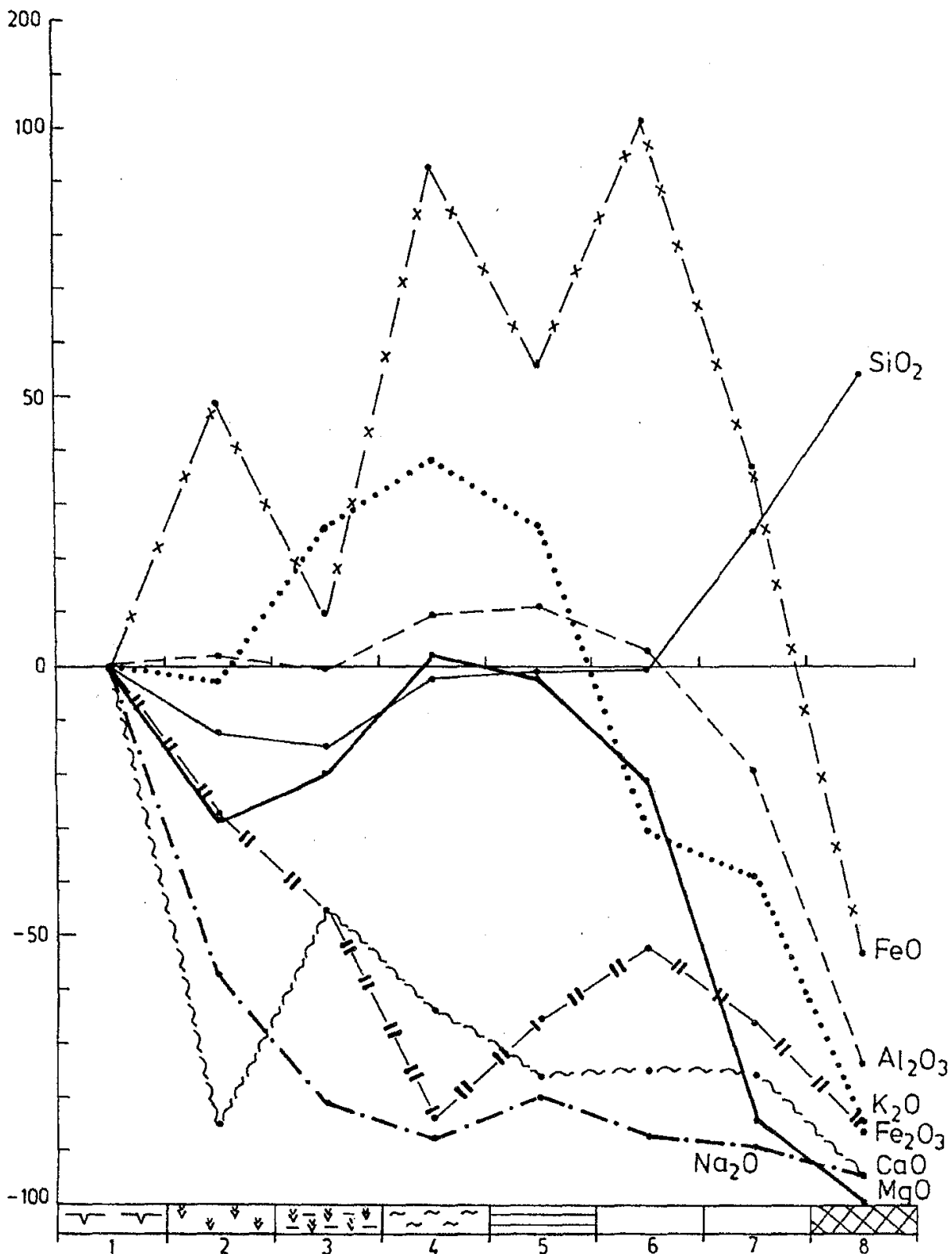
| Компоненти | Тегловни %, преизчислени до 100% | | | | | | | | Привнос-износ, относителна разлика в % | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| SiO ₂ | 59,13 | 59,00 | 56,28 | 59,17 | 61,44 | 69,97 | 73,60 | 91,17 | 0 | -12,4 | -14,9 | -1,8 | 1,1 | -0,8 | 24,5 | 54,2 |
| TiO ₂ | 0,59 | 0,58 | 0,66 | 0,65 | 0,57 | 0,66 | 0,55 | 0,61 | 0 | -13,5 | -0,7 | 7,5 | -6,0 | 4,8 | -6,3 | 4,1 |
| Al ₂ O ₃ | 14,29 | 16,54 | 15,88 | 15,87 | 16,34 | 15,83 | 1,57 | 3,74 | 0 | 1,7 | -0,7 | 8,9 | 11,3 | 3,2 | -19,0 | -73,9 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,74 | 3,09 | 2,27 | 0,61 | 1,31 | 1,91 | 1,27 | 0,51 | 0 | -27,3 | -45,7 | -84,1 | -65,7 | -52,5 | -65,9 | -86,3 |
| FeO | 2,19 | 3,69 | 2,69 | 4,31 | 3,51 | 0,20 | 3,01 | 1,02 | 0 | 47,9 | 9,8 | 92,6 | 55,6 | 108,6 | 37,1 | -53,3 |
| MnO | 0,12 | 0,26 | 0,19 | 0,31 | 0,35 | 3,26 | 0,04 | 0 | 0 | 90,6 | 42,7 | 152,2 | 183,7 | 56,1 | -66,5 | -100,0 |
| MgO | 3,85 | 3,14 | 3,44 | 3,99 | 3,85 | 1,46 | 0,60 | 0 | 0 | -28,4 | -20,1 | 1,9 | -2,5 | -21,1 | -84,4 | -100,0 |
| CaO | 5,46 | 0,94 | 3,28 | 1,99 | 1,31 | 0,34 | 1,30 | 0,27 | 0 | -84,9 | -46,4 | -64,2 | -76,7 | -75,0 | -76,1 | -95,0 |
| Na ₂ O | 2,45 | 1,19 | 0,52 | 0,31 | 0,49 | 4,15 | 0,26 | 0,10 | 0 | -57,1 | -80,9 | -87,7 | -80,2 | -87,0 | -89,4 | -95,9 |
| K ₂ O | 5,59 | 6,18 | 7,84 | 7,88 | 7,22 | 0,65 | 3,44 | 0,87 | 0 | -2,9 | 25,3 | 38,2 | 25,7 | -30,9 | -38,5 | -84,4 |
| P ₂ O ₅ | 0,66 | 0,44 | 0,68 | 0,81 | 0,63 | 1,54 | 0,57 | 0,15 | 0 | -41,3 | -7,1 | 21,3 | -7,2 | -7,7 | -13,2 | -77,1 |
| H ₂ O ₃ | 0,71 | 0,95 | 1,31 | 0,19 | 0,69 | 2,10 | 1,48 | 0,22 | 0 | 17,7 | 65,1 | -72,5 | -4,1 | 103,2 | 109,5 | -68,8 |
| H ₂ O+ | 1,22 | 2,16 | 3,45 | 3,31 | 2,29 | 0 | 2,31 | 1,34 | 0 | 54,5 | 151,4 | 165,1 | 81,9 | 59,9 | 87,9 | 8,9 |
| CO ₂ | 0 | 1,84 | 1,51 | 0,60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Обемно тегло | 2,63 | 2,31 | 2,35 | 2,58 | 2,56 | 2,45 | 2,63 | 2,63 | | | | | | | | |

1 — латит; 2 — албит-хлорит-карбонатов пропицит; 3 — хлорит-эпидот-карбонатов пропицит; 4-8 — аргилизити; 4 — външна зона (кварц-хлорит-серицит-хидрослюда-карбонат); 5 — междинна зона (кварц-хлорит-хидрослюда-глинестит); 6 — вътрешна зона (кварц-глинест-хидрослюда); 7 — вътрешна зона (кварц-хидрослюда); 8 — монокварцова тилова зона във вътрешна аргилизитова зона.

Анализите са извършени в силикатната лаборатория на Геология и геофизика АД.

1 — latite; 2 — albite-chlorite-carbonate propylite; 3 — chlorite-epidote-carbonate propylite; 4-8 — argillizites: 4 — outer zone (sericite-hydromica-carbonate); 5 — intermediate zone (quartz-chlorite-hydromica-clays); 6 — inner zone (quartz-clay-hydromica); 7 — inner zone (quartz-hydromica); 8 — monoquartzite zone in the inner argillizite zone

All samples have been analyzed at the Laboratory for silicate analysis of Geologia i Geophysika AD, Sofia.



Фиг. 1. Вариационна диаграма на количествените изменения при епитермалните аргилизити
 1 — латити; 2 — пропилитизирани латити (албит-хлорит-карбонат); 3 — пропилитизирани латити (хлорит-епидот-карбонат); 4-7 — аргилизити: 4 — външна зона; 5 — междинна зона; 6 и 7 — външна зона; 8 — монокварцова тилова зона във вътрешна аргилизитова зона
 Fig. 1. Variation diagram of the quantitative alterations of the epithermal argillizites
 1 — latites; 2 — propylitized latites (albite-chlorite-carbonate); 3 — propylitized latites (chlorite-epidote-carbonate); 4-7 — argillizites: 4 — outer zone; 5 — intermediate zone; 6 and 7 — inner zone; 8 — monoquartzite zone in the inner argillizite zone

тилни зони при аргилизитите е относително и се предизвиква от преминаването на Al_2O_3 от инертно в напълно подвижно състояние. Инертен компонент е през целия процес на хидротермални изменения.

Al_2O_3 — също с незначителни изменения до монокварцовите тилни зони, при прехода към които се изнася силно (до този момент е и инертен компонент).

Fe_2O_3 — с отрицателен знак при аргилизитите. Увеличените количества отбелязват хематитизация.

FeO — при епитермалните аргилизити варира с положителен знак и чак при монокварцовата тилова зона преминава в напълно подвижно състояние.

MgO — количеството му намалява. От инертно в напълно подвижно състояние минава при прехода към вътрешните зони на аргилизитите.

CaO — увеличава се в карбонатните фацисии на пропилитите. Рано става напълно инертен компонент.

Na_2O — рязко намалява при пропилитизацията и е напълно подвижен компонент. При всички останали преходи намалява.

K_2O — минава от инертно в напълно подвижно състояние при различни преходи. Това е особено добре изразено при прехода към вътрешните зони на епитермалните аргилизити.

На диаграмата не са представени останалите компоненти, но следва да се отбележи дейното участие на P_2O_5 , вода и донякъде F.

Метасоматична зоналност

Находище Брястово е типичен пример с развитие на метасоматична зоналност, при това с ясно изразено налагане и трудно отделяне на чисти случаи с дорудна метасоматоза и метасоматити от рудния стадий (пред-, син- и следрудни). Тъй като за дорудния стадий има достатъчно информация (както за Брястово, така и за свързаните непосредствено с него останали участъци на Спахиевското рудно поле (Радонова, 1973; Кунов, 1986, 1994a; Veli-pov et al., 1990), ще отбележим само по-важните моменти:

— установява се латерална и вертикална зоналност, без съществени различия между тях;

— пропилитите около вторичните кварцити се явяват тяхна външна зона, като преходът между тях се осъществява от кварц-серицитови скали.

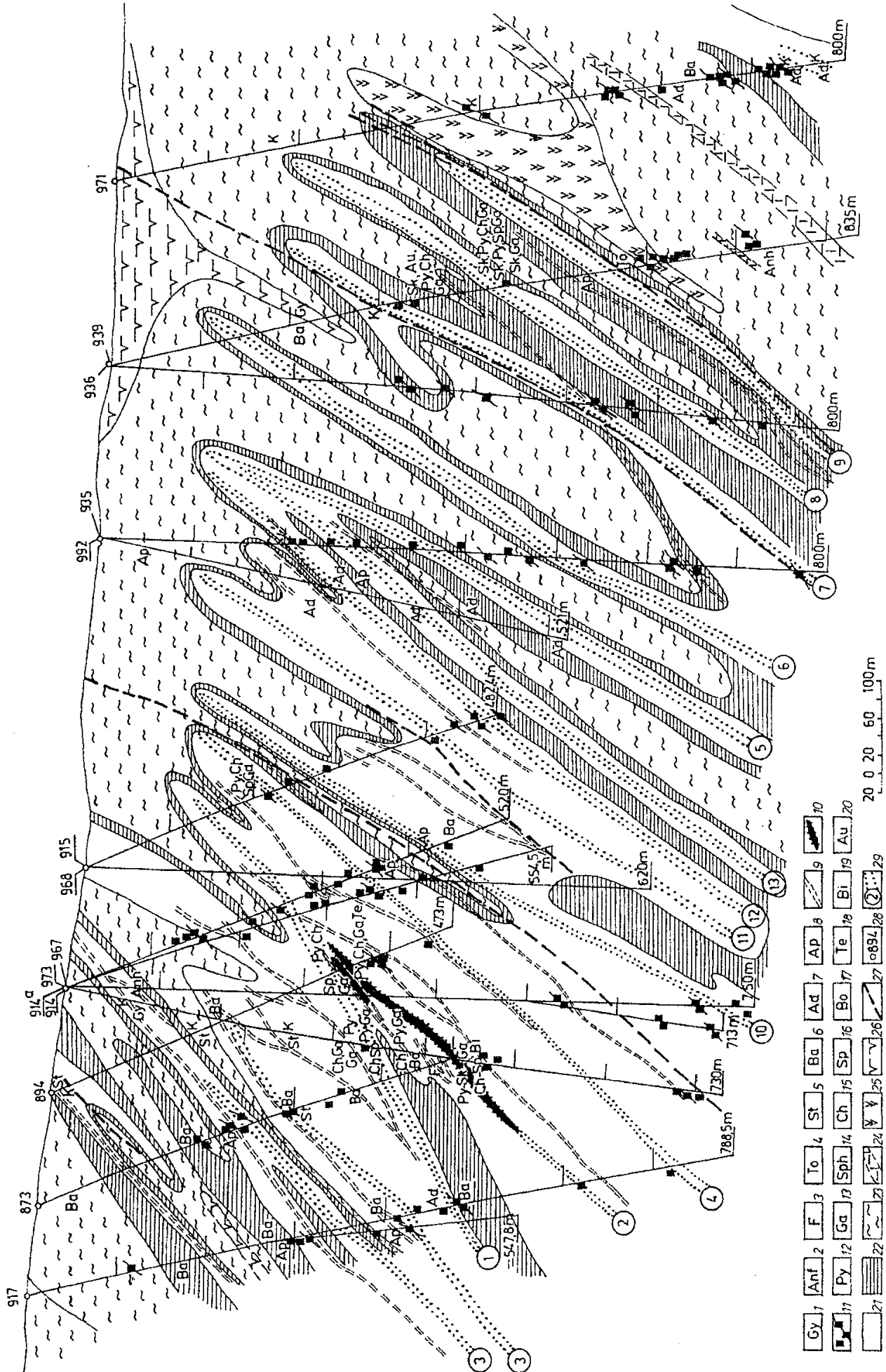
Развитието на продуктите и състоянието на изходните латити в процеса на епитермална аргилизация са в основата на отделянето на външна, междинна и вътрешна зона. Характерни белези на зоните са:

— нарастване на интензивността на изменение от външните към вътрешните зони;

— непостоянство на междинната зона като елемент на зоналността;

— обикновено рудните тела се образуват във вътрешните зони, като при незавършено развитие на зоналността те не са изключение и за междинните зони.

Поради налагането на процеси, зоналността (фиг. 2) се определя главно на минералого-петроложки принцип (табл. 4). Така външната зона (табл. II. 1) се заделя по наличието на сравнително свеж биотит, широкото развитие на карбонати (предимно калцит) и глинесто-хидрослюдести изменения. Хиалинният мезостазиис на основната маса обикновено е обхванат от глинесто-хлоритово изменение, а микролитите са по-запазени.



Фиг. 2. Геоложки профил с метасоматична зоналност на околорудните аргилзити и с данни за рудни и други минерализации (по данни на авторите и непубликувани данни на С. Кестебеков, И. Иванов и К. Петрова)

1 — гипс; 2 — анхидрит; 3 — флуорит; 4 — томосонит; 5 — стилбит; 6 — барит; 7 — адулар; 8 — апатит; 9 — кварцови жили и тела ± зеоцити, барит, флуорит, адулар и карбонати; 10 — леща с масивно орудяване; 11 — прожилковидна и впръсната сулфидна минерализация; 12 — пирит; 13 — галенит; 14 — сфалерит; 15 — халкопирит; 16 — борнит; 17 — тенантит; 18 — борнит; 19 — бисмутови сулфосоли; 20 — самородно злато; 21—23 — аргилзити; 21 — външна зона; 22 — междинна зона; 23 — вътрешна зона; 24 — риолитови дайки; 25 — пропилитизирани латити; 26 — латити; 27 — разломи; 28 — сондаж, №; 29 — рудно тяло, №

Fig. 2. Geological profile with metasomatic zonation of the argillizites with data for ore and other mineralizations (data of the authors and unpublished data of S. Kestebekov, I. Ivanov and K. Petrova)

1 — gypsum; 2 — anhydrite; 3 — fluorite; 4 — thomsonite; 5 — stilbite; 6 — barite; 7 — adularia; 8 — apatite; 9 — quartz veins and bodies ± zeolites, barite, fluorite, adularia and carbonates; 10 — lens of massive ore; 11 — veinlet and disseminated sulphide mineralization; 12 — pyrite; 13 — galena; 14 — sphalerite; 15 — chalcopyrite; 16 — bornite; 17 — tennantite; 18 — bornite; 19 — bismuth sulfosalts; 20 — native gold; 21—23 — argillizites; 21 — outer zone; 22 — intermediate zone; 23 — inner zone; 24 — rhyolite dykes; 25 — propylitized latites; 26 — latites; 27 — faults; 28 — drillhole, No ; 29 — ore body, No

Т а б л и ц а 4

Интегрална метасоматична колонка на предрудните аргилзити (определенията на зони 1-8 са както в табл. 3)

Table 4

Integral metasomatic column of the wall-rock alteration argillizites (the numbers of the zones are as in table 3)

| Зона | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------------|--|--|--|--|---|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| Минерална асоциация | плагноклаз санидин пироксен ± амфибол биотит магнетит алазит | албит санидин калцит хлорит ± биотит ± серицит ± хидрослюда кварц | албит санидин калцит хлорит ± биотит ± серицит ± хидрослюда епидот кварц | санидин хлорит серицит хидрослюда калцит ± биотит | ± санидин хлорит серицит хидрослюда каолинит кварц | ± санидин хидрослюда каолинит кварц | хидрослюда ± каолинит кварц | ± хидрослюда ± серицит кварц |
| Инертни компоненти | Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, K, Na | Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, K, Na, Ca, K | Si, Al, Fe, Mg, Mn, | Si, Al, Fe, Mg, Ca, K | Si, Al, Fe, Mg, K | Si, Al, K | Si, Al, K | Si |
| Напълно подвижни компоненти | P | Na | Mn | Ca | Fe Mg | Al K | Al K | |

ТАБЛИЦА I

1. Зона на окварцяване и адуларизация в аргилизити. Адуларът е ксеноморфен и псевдоромбичен, II N, $\times 300$
2. Адулар, заместил метасоматично плагиоклаз в зона на окварцяване, адуларизация и серицитизация; II N, $\times 150$.
3. Аргилизит с прожилка от дребнозърнест кварц и флуорит; II N, $\times 150$

PLATE I

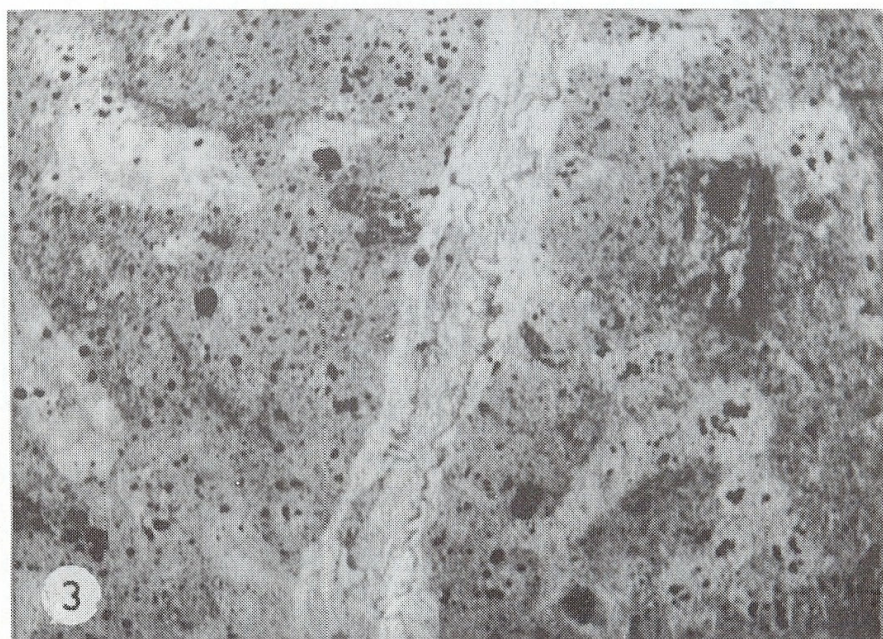
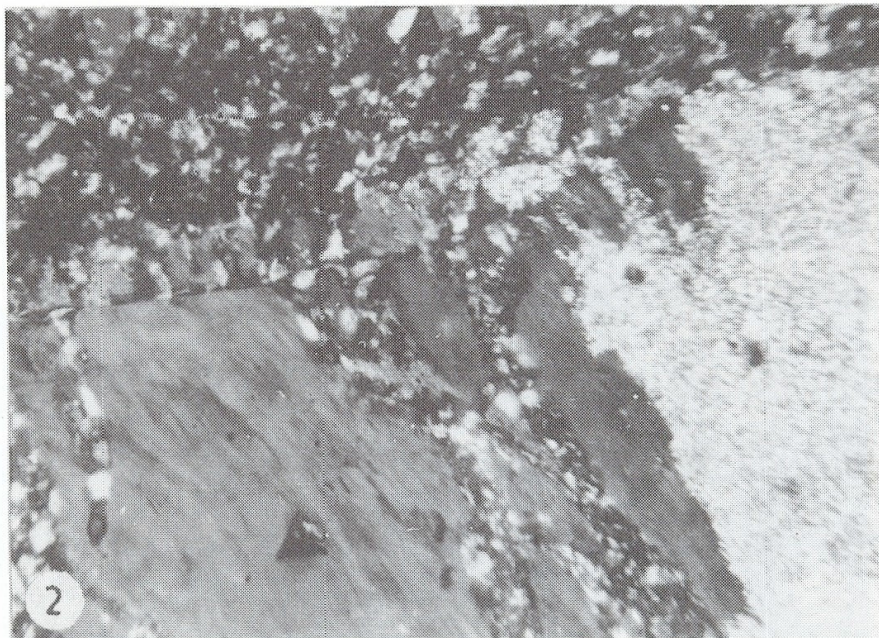
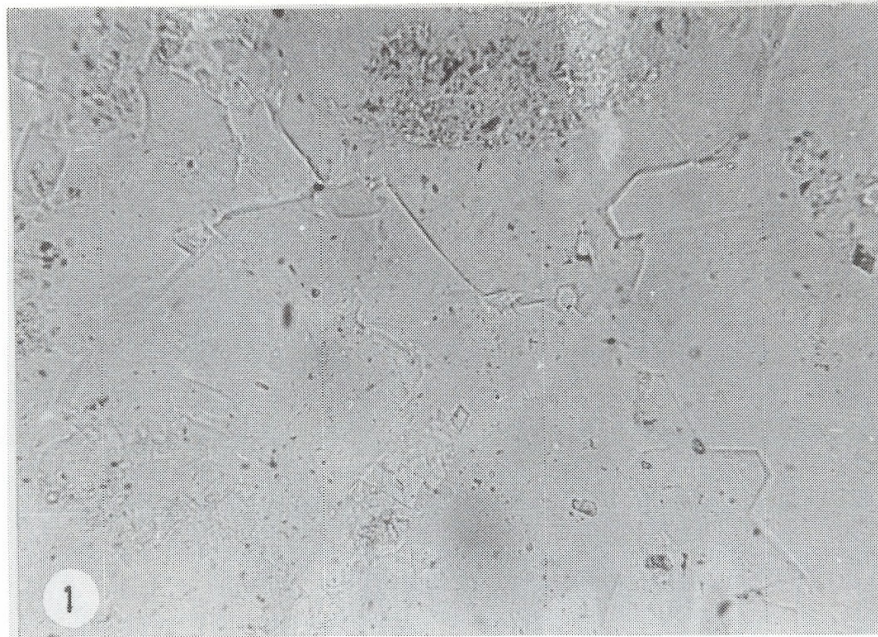
1. Zone of quartzitization and adularization in argillizites. The adularia is xenomorphic and pseudorhombic, II N; $\times 300$
2. Plagioclase replaced metasomatically by adularia in zone of quartzitization, adularization and sericitization; II N, $\times 150$
3. Argillizite with veinlet of fine grain quartz and fluorite; II N, $\times 150$

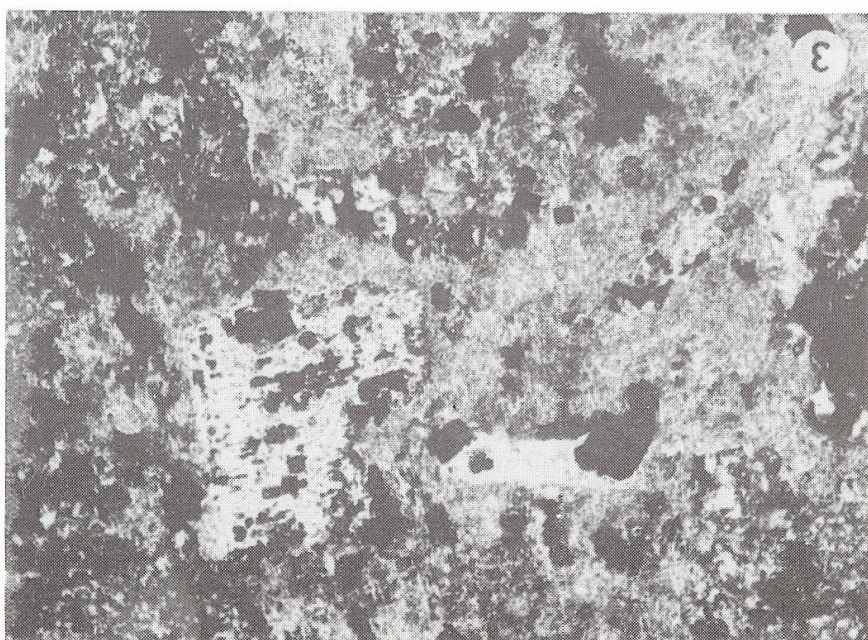
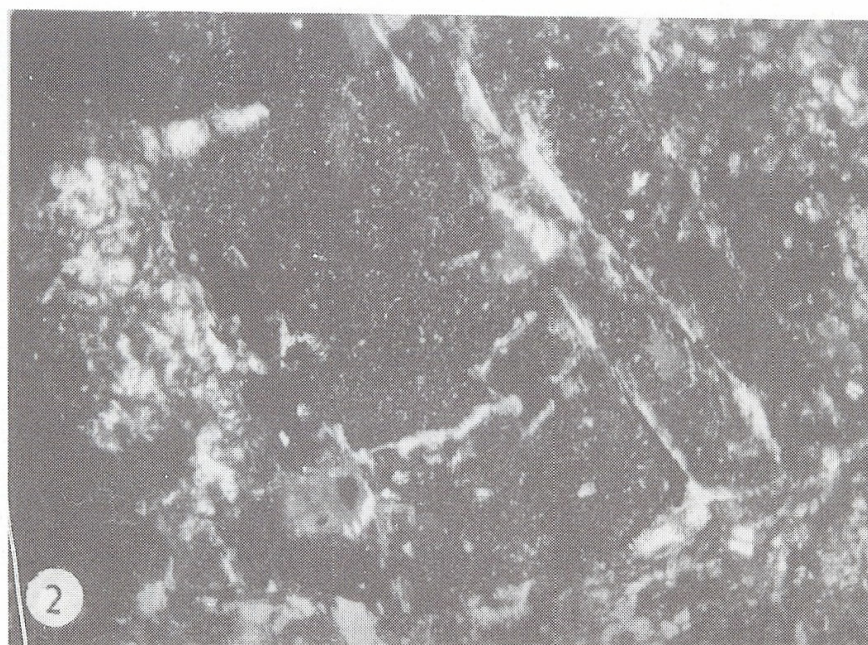
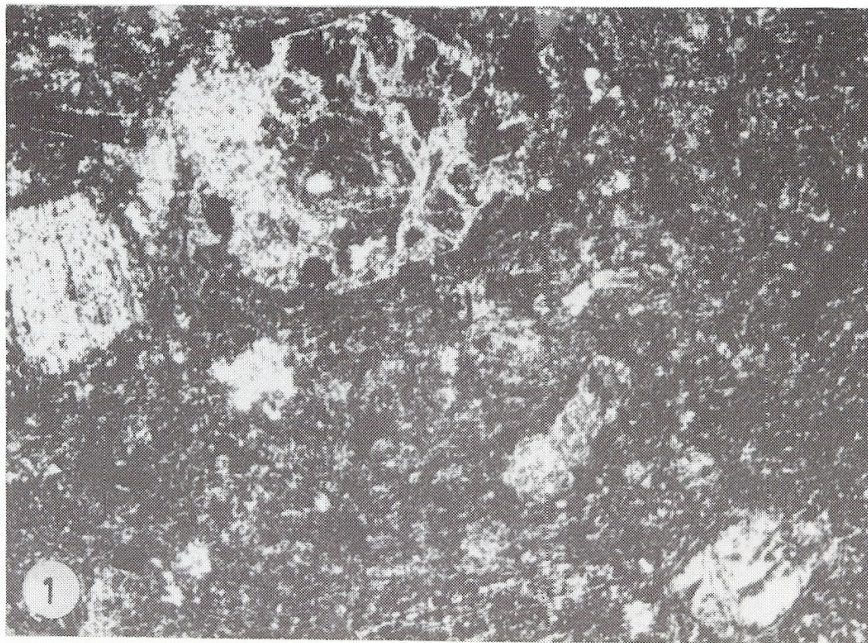
ТАБЛИЦА II

1. Външна зона на аргилизити (слабо изменени биотит и калиев фелдшпат; хлоритизиран пироксен); + N, $\times 150$
2. Междинна зона на аргилизити (плагиоклазът е заместен от Са-монморилонит; прожилка от хлорит); + N, $\times 300$
3. Вътрешна зона на аргилизити (биотитът е заместен от мусковит, а основната маса — от хидрослюда и пирит); + N, $\times 300$

PLATE II

1. Outer zone of argillizites (weakly altered biotite and potash feldspar; chloritized pyroxene); + N, $\times 150$
2. Intermediate zone of argillizites (plagioclase is replaced of Ca-montmorillonite; veinlet of chlorite); + N; $\times 300$
3. Inner zone of argillizites (biotite is replaced of muscovite and ground masse — of hydromica and pyrite); + N; $\times 300$





Междинните зони (табл. II. 2) като преходни съдържат компоненти както на външните, така и на вътрешните зони. В тях има реликти от биотит, количеството на карбоната рязко намалява.

Вътрешните зони (табл. II. 3) се характеризират със силно изменение на порфирните минерали (известно изключение прави калиевият фелдшпат), като се стига до изчезване на контурите им и сливане с основната маса, в която хидрослюдестото изменение преобладава. При по-ниски стойности на рН на средата се осъществява силно киселинно извличане и се образуват монокварцови тилови зони. Общо взето за находище Брястово (най-вече за централната му част) прави впечатление неравномерността и непостоянството във водещите компоненти на вътрешните зони: в едни случаи преобладават хидрослюдите, а в други — глинестите компоненти, и едните, и другите в съчетание със смесенослойни минерали. Самите смесенослойни минерали нямат ясна привързаност, но количеството им се увеличава към вътрешните зони.

Макар и идеализирана, представената зоналност добре показва последователността на зоните в зависимост от физикохимичните условия на системата. Редът на разлагане на минералите отразява диференциалния ред на подвижност на компонентите. Впечатление прави продължителната активност на калия до последната зона, което обуславя образуването на хидрослюди и серицит и съществуването на санидин във вътрешните зони. Ясно е, че Na_2O значително по-рано от K_2O преминава в напълно подвижно състояние.

Влиянието на подвижността на компонентите от анионния състав на разтвора е потвърдено експериментално (З а р а й с к и й, 1989). Така например, както посочва същият автор, при въздействие на въглекисели разтвори се появяват карбонати и се способства за намаление на подвижността на Са, Mg и Fe.

В о л о с т н ы х (1972) отделя два типа зоналност на аргилизираните скали: дорудна синхронна и тропохронна (преобразувана) с реликти от синхронната. Последната отразява сумарния ефект на дорудните, рудосъпровождащите и следрудните образувания. Пример за такъв модел в България разглежда Б а х - н е в а (1978) за аргилизити, развити по риолити в Централните Родопи. Един такъв модел по-добре приляга на находище Брястово, тъй като за разлика от посочения пример, тук епитермалните аргилизити са съпроводени от орудявания.

Генезис и възраст на околорудните изменения

Продуктите на околорудните изменения в находището се отнасят главно към формациите на аргилизитите и вторичните кварцити. Що се отнася до пропилитите, съществуват три възможни варианта: външни зони в метасоматичната колонка на формация вторични кварцити (V e l i n o v et al., 1990), външни зони на епитермалните аргилизити и самостоятелна формация. Изследванията до сега не позволяват игнорирането на нито един от тези варианти.

Вторичните кварцити са развити по латити и техните кластолави, докато пропилитите и аргилизитите обхващат освен тях и т. нар. феноандезити и монцонитите. Несъмнено характерът на вулканизма и съставът на изходните скали са оказали влияние върху особеностите на изменените скали. Като се изключат вторичните кварцити и съпровождащите ги пропилити и аргилизити (всички те свързани с хидротермалната дейност, последвала вероятно среднокиселия вулканизъм), не е достатъчно ясно защо епитермалната аргилизация и орудя-

ванията се проявяват по-слабо в риолитовите тела. Една възможност е ролята им на рудопроводящи канали, но не и рудовместваща среда. Известно изключение правят риолитовите дайки с по-силни хидротермални изменения.

Тъй като генезисът на вторичните кварцити в Спахиевското рудно поле (включително и находище Брястово) вече е разглеждан (Р а ш к о в, 1962; И в а н о в, 1972; Р а д о н о в а, 1973; К у н о в, 1987, 1994а; V e l i n o v et al., 1990), само ще отбележим, че те са формирани в приповърхностни условия (температура до 350° С и рН от 1-5,5) при интензивно киселинно извличане и висок кислороден потенциал.

Финодисперсният характер на аргилизитите не позволява да се измери температурата на хомогенизация. Физикохимичният анализ на минералните парагенези е затруднен от налагането на изменения и от липсата на сравнително „чисти“ случаи. Поради това ще се ограничим със следното:

— широко разгледаните от В о л о с т н ы х (1972) особености на аргилизацията я поставят в температурен интервал до 450° С (а и повече) с въздействието на многокомпонентни разтвори върху алумосиликатни скали при рН от 2 до 10;

— независимо, че аргилизацията е след последните прояви на вулканизъм в района, не е ясна генетичната връзка с риолитовия вулканизъм. Обособяването на аргилизитите в субпаралелни системи (по плоскостите на разломните оси), което в рамките на находището поради близостта им на места създава впечатление за широка площна промяна и данните за независими признаци на минерализиращите разтвори насочват вниманието към дълбочинен източник;

— минералният състав на предрудните, синрудните и пострудните метасоматични продукти показва снижение на киселинността към последните и преход от киселинни към алкални условия на отлагане.

Възрастовите взаимоотношения на околорудните изменения и орудяванията определят следния порядък на образуване: доруден стадий (пропилити, вторични кварцити ± аргилизити) ⇒ руден стадий: предрудни (аргилизитови) изменения → собственорудни изменения → пострудни изменения.

От всичко известно досега за тези взаимоотношения се разбира за различия във времето на образуване на дорудните, от една страна, и пред- и собственорудните, от друга. Данните обаче не позволяват да се говори за голям разрыв в геоложкото време. В този смисъл известно потвърждение има в измерването на абсолютната възраст (табл. 5) на подбрани от нас различни метасоматити (калиево-аргонова датировка — аналитик Мончев и др.).

Таблица 5

K-Ar възраст на метасоматични скали

Table 5

K-Ar age of metasomatic rocks

| Образец | Минерален състав | Съдържание на К в % | Абсолютна възраст в млн. год. |
|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|
| Сн 958/75 m | кварц-алунит-каолинит | 2,13 | 36,8 |
| Сн 894/313 m | кварц-серицит-диаспор | 2,10 | 31,4 |
| Сн 971/764 m | кварц-адулар-карбонат | 4,99 | 32,0 |
| Сн 968/325 m | кварц-адулар-серицит | 6,56 | 32,3 |

Макар и недостатъчни, тези първи данни по абсолютната възраст на метасоматитите показват малък диапазон на развитието им във времето (няколко млн. години) и темпорална близост с вулканизма (31,5—33,5 млн. години; Yanev and Pecska, 1997) и орудяванията.

Значение на околорудните метасоматити за търсенето на неразкриващи се на повърхността орудявания

Практическата стойност на отделните метасоматични формации не е еднаква. Изключително много са примерите за връзката на различни орудявания (главно полиметални, медно-полиметални, златно-сребърни, медно-молибденови, златно-сребърно-полиметални, редкометални и др.) и хидротермалните изменения на вместващите скали, за да се оцени произтичащото от това значение при търсенето на рудни находища. Това значение нараства не само поради необходимостта от търсене в дълбочина на скрити тела, но и поради цялостния икономически ефект.

И ако на дорудните формации (напр. вторичните кварцити), в зависимост от физикохимичните им особености, можем да гледаме като на потенциални акумулатори на орудявания и указание за търсене, не бива да се отрича възможността за използването им като пряк признак за рудоносност (при наличие и на други подходящи признаци).

Най-важно значение имат метасоматитите от рудния стадий. Наличието на зони на ендегенна аргилизация е достатъчно условие да се стеснят рамките на търсене. Не бива да се забравят трудностите при разграничаване на супергенните и хидротермалните аргилизити, които стават големи в случаите на съвместно развитие в рудните находища. Без да се впускаме в изброяване на всички критерии за различаване (минераложки, физико-механични, геоложки и др.), ще отбележим като най-надеждни метасоматичната зоналност, светлите калиеви слюди (серицит и хидрослюди) — не се образуват при супергенезата и са устойчиви при наличие на супергенеза върху околорудни изменения и т. н.

Оттук нататък в търсенето съществена роля играят метасоматитите и съпровождащите ги минерални образувания, най-близки до продуктивното орудяване. За находище Брястово това са вътрешните зони на епитермалните аргилизити и случаите на тилови кварцови зони в тях (особено добре открояващи се на повърхността), рудосъпровождащите хлоритови и хидрослюдови, кварц-баритовите и кварц-адуларови минерализации. Докато кварц-баритовите и кварц-адуларовите, а в някои случаи и кварцови жили с вторични фосфати (тюркоаз, сванбергит и др.), са признаци, които най-рационално могат да се използват и на повърхността, то останалите (в това число и кварц-флуоритовите) са типични в дълбочина.

Опитът с околорудните изменения в находище Брястово показва възможности за използването им в подобни геоложки ситуации за търсене на неразкриващи се на повърхността орудявания.

Настоящата статия представлява синтезирана част от раздела за метасоматизма в доклад по договорна тема „Изясняване и определяне факторите, влияещи на рудоотлагането на находище Брястово в Спахийевското рудно поле“ с „Геоинженеринг“ ООД — Асеновград (1989—1992). Докладът отразява резултатите от изследванията на голям колектив от специалисти и съдържа разнообразни данни за структурата, петроложкия състав, хидротермално-метасоматичните изменения, рудните минерализации, хидрогеологията, геохимичната и геофизичната характеристика, морфологията и строежа на рудните зони, както и прогнозна оценка на промишлените орудявания.

Авторите изразяват своята благодарност на възложителя — ръководството на Геоинженеринг ООД -Асеновград, за финансирането на тематичната задача, за дадената възможност за участие в обсъждането и насочването на търсещите геоложки работи в находище Брястово, за събирането на богат фактически материал, за големия брой и разнообразни анализи, както и на останалите автори на доклада за колегиалната и творческа обстановка.

Литература

- Бахнева - Стефанова, Д. 1977. Аргилизити, връзката им с други метасоматити и с риолитовия вулканизъм в Централните Родопи. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 6, 66-81.
- Боянов, И., Б. Маврудчиев. 1961. Палеогенският магматизъм в Североизточните Родопи. — *Год. СУ, Геол.-геогр. фак.*, 54, кн. 2 — геология, 113-157.
- Велинов, И. 1973. Минералого-петроложки анализ на хидротермално променените горнокредни вулканити от Западното Средногорие. — Автореф. докт. дис. С. 29 с.
- Волостных, Г. 1972. *Аргиллизация и оруденение*. М., Недра, 240 с.
- Георгиев, В., П. Милованов. 1989. Вулканотектоническа позиция и генетическите особености полиметаллического месторождения Брястово, Спахийевское рудно поле. — *Докл. БАН*, 42, 5, 89-92.
- Димитров, Д., С. Димитров. 1974. Минералогия и зоналност на оловно-цинковите находища в Спахийевското рудно поле. — *Изв. Геол. инст.*, сер. рудни и нерудни пол. изкоп., 23, 135-156.
- Зарайский, Г. 1989. *Зональность и условия образования метасоматических пород*. М., Наука. 344 с.
- Иванов, Р. 1972. Вулкано-тектонски структури в Боровишкото понижение. — *Изв. Геол. инст. БАН*, сер. геохим., минерал. и петрогр., 21, 193-210.
- Костов, И., Б. Маврудчиев, Л. Филизова, Г. Н. Киров. 1966. Зеолитова зоналност във вулканогенния комплекс между Кърджали и Асеновград. — *Тр. Геол. България*, 6, 143-192.
- Кунов, А. 1986. Вторични кварцити от североизточната периферия на Боровишкия вулкански район. — Автореф. канд. дис. С. 36 с.
- Кунов, А. 1991. Вторични кварцити от североизточната периферия на Боровишкия вулкански район. I. Геолого-петрографска характеристика на хидротермално изменените зони. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 28, 28-42.
- Кунов, А. 1994. Вторични кварцити от североизточната периферия на Боровишкия вулкански район. II. Минералогия и зоналност. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 29, 17-36.
- Кунов, А. 1994а. Вторични кварцити от североизточната периферия на Боровишкия вулкански район. III. Генезис и практическо значение. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 29, 37-44.
- Маврудчиев, Б., С. Ботев. 1966. Петрология на Сърнишката интрузия. — *Год. СУ, Геол.-геогр. фак.*, 59, кн. 1 — геология, 295-324.
- Радонова, Т. 1973. Хидротермални изменения на скалите в Спахийевското рудно поле. — *Изв. Геол. инст.*, сер. геохим., минерал. и петрогр., 22, 141-161.
- Райнов, Н., Й. Янев. 1991. Адуляр, сопътствующият цеолитизацию перлитов. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 27, 96-107.
- Рашков, Р. 1962. Диаспорови вторични кварцити в землището на с. Спахийево, Хасковско. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 23, No 3, 263-274.
- Русинов, В. 1989. *Метасоматическите процеси в вулканическите толци*. М., Наука. 214 с.
- Нарковска, А., Y. Yanev, P. Marchev. 1989. General features of the Paleogene orogenic magmatism in Bulgaria. — *Geologica Balc.*, 19, 1, 37-72.
- Loving, T. 1941. The origin of the tungsten ores of Boulder County, Colorado. — *Econ. Geol.*, 36, 229-279.
- Velinov, I., M. Kanazirski, A. Kunov. 1990. Formational nature and physico-chemical conditions of formation of metasomatites in the Spahievo ore field (Eastern Rhodopes, Bulgaria). — *Geol. Balc.*, 20, No 4, 49-62.
- Yanev, Y., N. Raynov, I. Tchetchlarova, V. Tchouneva, M. Matanova, V. Lazarova. 1986. Zeolites in perlites from the Eastern Part of the Borovitsa Region, Eastern Rhodopes (Bulgaria). - In: *Crystal Chemistry of Minerals*, Sofia, 737-748.
- Yanev, Y., Z. Pecska. 1997. Preliminary data on the petrology and K-Ar dating of the Oligocene volcano Briastovo (Eastern Rhodopes). — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 32, 59-66

Одобрена на 05. 06. 1997 г.

Accepted June 05, 1997