

АХАТОВИ ГЕОДИ ОТ РАЙОНА НА С. ТАТАРЕВО, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

Бануш Банушев¹, Здравко Цинцов²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; banushev@mgu.bg

² Централна лаборатория по минералогия и кристалография "Акад. Иван Костов", БАН, София 1113; ztsintsov@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Изследвани са минералният състав и текстурните особености на геодов тип ахати от района на с. Татарево, Източни Родопи, локализирани в палеогенски кисели вулканити (висококалийни риолити) на задругата на втори кисел вулканизъм. Геодите са предимно плътни с атрактивни декоративни качества, дължащи се на концентрично-ивичестите и паралелни слоеве, изградени от различни фази на SiO₂, контрастно изпъкнали на фона на тъмните (тъмносиви до черни) цветове на халцедоновата матрица. Микроскопските изследвания показват, че минералния състав на ахатите включва основно фази на SiO₂, сред които преобладава халцедон от различни микроструктурни типове. Въз основа на получените данни е изказана хипотеза, че изследваните ахати са образувани от нискотемпературни разтвори резултат на постмагматичната хидротермална дейност в района. Специфичните особености в оцветяването им се дължат на цикличното обогатяване на тези разтвори с Fe и Mn.

AGATE GEODES FROM THE TATAREVO VILLAGE REGION, EASTERN RHODOPES

Banush Banushev¹, Zdravko Tsintsov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; banushev@mgu.bg

² Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography "Acad. Ivan Kostov", BAS, Sofia 1113; ztsintsov@mail.bg

ABSTRACT. The mineralogical features and structural characteristics of geode type agates from theTatареvo village region, localized in Paleogene acid volcanics (high-K rhyolite) from the formation of the II acid volcanism are studied. The geodes are predominantly dense and of attractive decoration qualities due to the concentric-stripe and parallel layers of different phases of SiO₂, which protrude in respect to the dark colors (dark gray up to black) of the chalcedony matrix. The macroscopic studies show that the mineral composition of the agates includes mainly phases of SiO₂, among which different microstructural types of chalcedony are prevailing. On the basis of the obtained data is suggested a hypothesis, that the studied agates have been formed from low temperature solutions as a result of the postmagmatic hydrothermal activity in the region. The specific characteristics in its colouration is result of the cyclic dressing of these solutions with Fe and Mn.

Въведение

Ахатите с тяхното текстурно многообразие привличат вниманието на хората от най-дълбока древност, а химическите и физикомеханичните им характеристики направиха успешно тяхното приложение в редица промишлени направления. Независимо от повишения интерес към тези природни образувания, генезиса и геологията на техните находища все още са недобре изучени. Относно генезиса на ахатите са изказани множество хипотези, но до момента нито една от тях не обяснява задоволително всички аспекти на проблема (Мохон, 1996). Вероятно това оказва неблагоприятно влияние при разработването на стройна система от критерии за оценка и прогноза за търсене на техните находища. В същото време промишлените находища на ахати се свързват основно с вулканити (главно базалти, по-рядко андезити и най-рядко риолити), като останалите генетични типове находища са силно подценени и изследванията в тях са крайно ограничени (Годовиков и др., 1987). Ахати с промишлени концентрации в кисели вулкански скали се срещат сравнително рядко, като в същото време те съществено се отличават по форма, размери и текстурни особености от ахатите в базалти или андезити (Киевленко, Сенкевич, 1976). Нещо повече,

при описанието на халцедонови образувания (ахати) от такива скали с характерни особености във формата и повърхността, в САЩ за пръв път използват наименованието "thunder eggs" ("гръмови яйца"). Според Киевленко и Сенкевич (1976) тези ахати се отличават с контрастни цветни слоеве и притежават висока ювелирна и колекционна стойност. С аналогични качества се характеризират ахатите от киселите вулканити от един сравнително слабо известен все още район у нас, разположен в землището на с. Татарево, Хасковско.

Сравнително слабата популярност на ахатите от района на с. Татарево вероятно се дължи както на отдалечеността му от основните проявления в Източните Родопи така и на сравнително ограничената му площ и редките находки, които се намират в границите на проявлението. Независимо от това обаче, поради изключително атрактивните и високи декоративни качества на тези ахати, тяхното търсене, особено от страна на колекционерите на минерални образци в България непрекъснато нараства. Най-вероятно това се дължи на обстоятелството, че до момента проявление "Татарево" е единственото компактно ахатопроявление у нас, в което част от образците носят белезите на типични ониксови ахати и твърде е възможно при задълбоченото му изследване да се установи, че страната ни разполага с такъв тип ахати.

Целта на предлаганата работа е да представи първоначални данни относно минераложките и текстурни особености на ахатовите геоди от киселите вулканисти от района на с. Татарево, Хасковско. Геодите обект на настоящото изследване са изградени основно от различни разновидности на SiO_2 , при описанието на които е възприета номенклатурата и съкратените означения предложени от Flörke et al. (1991). В България тази номенклатура е въведена от Tsintsov et al. (2001) и се използва при специализираните изследвания на ахатите у нас (Цинцов и др., 2006; Tsintsov et al., 2002).

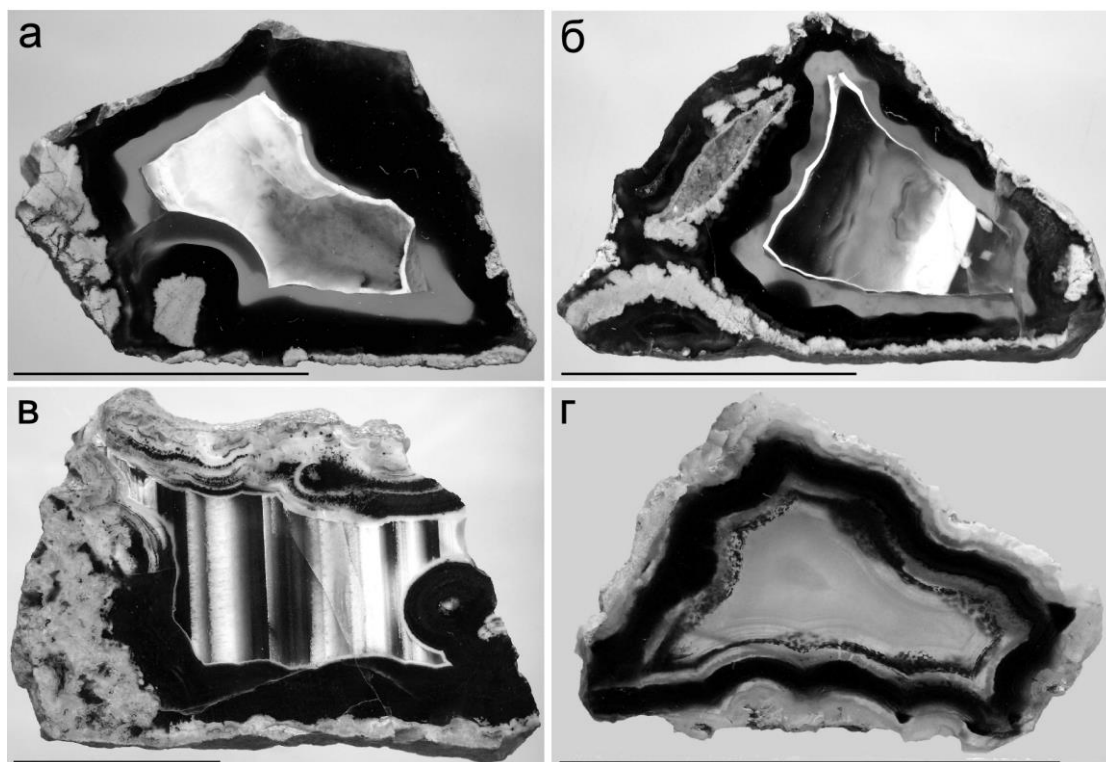
Геоложка обстановка

В структурно отношение изследваният район се отнася към североизточната периферна част на Боровишката калдера в Източнородопското палеогенско понижение. Магматизмът, петроложките и петрогенетични аспекти, както строежът и морфологията на вулканските тела са добре изучени (Иванов, 1963; Янев и др., 1983; Боянов и др., 1990, 1995; Пантева, 1996; Харковска и др., 1997; Янев, 1998). Районът около с. Татарево е изграден от кисели вулканисти (задруга на втори кисел вулканизъм), участващи в състава на Татаревската вулcano-тектонска структура. Описани са амфиболови риолити (Иванов, 1963), трахириодацитови и риолитови “куполи на изстискване” с перлити в периферните им части (Янев и др., 1983), трахириодацити, риодацити и перлити (Боянов и др., 1990; 1995). В областта западно и северно от с. Татарево се разкриват вулканисти (латити), пирокластити и вулканогенно-седиментни скали участващи в състава

на задругата на втори среднокисел вулканизъм, а в южните части и разнообразни седиментни скали.

Морфоложки и текстурни особености

Ахатите от проявление “Татарево” се намират най-често в елувия, по-рядко в делувия и алувия на слабо развитата речна мрежа в района и много рядко в коренните вулканисти. Представени са от геоди с овална, изометрична или слабо удължена форма с размер по най-дългата ос до 8 см. Голяма част от геодите са напукани и тази особеност е право пропорционална на техните размери. Повърхността им е неравна и груба, а на отделни образци покрита с дребни каверни. Последните са с неправилна, ъгловата форма и размер до 6 mm и са разпространени във вътрешните части на геодите като стените им са “облицовани” с плътен кварц или кристали от същия минерал. В отделни каверни се наблюдават неправилни халцедонови образувания със скелетен строеж. В периферните части на по-голяма част от геодите се наблюдават реликти от вместващите ги кисели вулканисти, които на отделни места са с брекчевиден характер, обусловен от “импрегнацията” им с халцедон. Атрактивните качества на ахатите се изразяват много добре в полирани срезове и се дължат на контрастните концентрични или паралелни (ониксов тип) слоеве от снежнобял до бежов опал, които много ясно контрастират на фона на черната халцедонова матрица (фиг. 1). Ониксовата текстура при част от образците се обуславя от наличието на алтерниращи черно-бели слоеве с дебелина предимно от 1 до 4 mm. В много редки случаи се наблюдават неравномерно разпределени в халцедона участъци или дори цели слоеве с карнеолово (червенокафяво) оцветяване.



Фиг. 1. Текстурни особености на ахатови геоди от района на с. Татарево. Маркер: а-г – 2 см

Петрографска характеристика

Ахатовото проявление от района на с. Татарево е локализирано в кисели вулкани (риолити) отнасящи се към задругата на втори кисел вулканизъм. Риолитите са розови до светлокафяви, порфирни с масивна текстура. Изградени са от фенокристали (15-30%) на плагиоклази, санидин, кварц, биотит, амфибол и девитрифицирано вулканско стъкло. Плагиоклазите (Ap_{24-36} – олигоклаз-андезин) са около 40-50% от фенокристалите. Свежи, зонални, призматични и плочести, представени от порфири с размери до 5 X 0.8 mm и субпорфири (0.35 X 0.15 mm). Някои съдържат многочислени включения от девитрифицирано вулканско стъкло и биотит. Санидинът (2 X 2.5 mm) е бистър с правоъгълна и квадратна форма, с включения от субпорфирни плагиоклази. Кварцът е представен от единични заоблени кристали с равномерно потъмнение и размери до 1.3 mm. Мафичните минерали (10-15%) са от биотит и амфибол, като първият преобладава. Биотитът е свеж, силно удължен до иглест, с включения от апатит. На места е протокластично огънат. Притежава силен плеохроизъм от светложълтокафяв по X, до тъмнокафяв, почти черен по $Z \cong Y$. Схемата на абсорбция е $Z \cong Y > X$. Амфиболите са зелени, в някои случаи зеленокафяви, тънкопризматични, удължени до 2 mm. Характерна особеност са натрошените фенокристали от кварц, плагиоклази и амфиболи, както и такива със следи от магматична корозия. Акцесорните минерали са от призматичен апатит, циркон, титанит и магнетит.

Таблица 1

Химични анализи на кисели вулкани от района на с. Татарево (тегл. %)

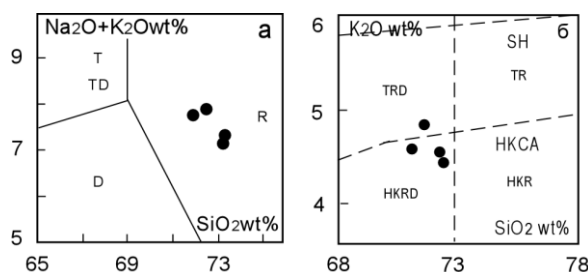
Оксиди	ER-79	ER-80	ER-81	ER-81/1
SiO ₂	71.23	71.73	72.35	72.51
TiO ₂	0.32	0.29	0.28	0.30
Al ₂ O ₃	14.19	13.95	13.51	13.64
Fe ₂ O ₃	2.34	2.22	2.30	1.98
FeO	0.41	0.38	0.40	0.52
MnO	0.07	0.04	0.03	0.05
MgO	0.76	0.57	0.54	0.66
CaO	1.79	1.91	1.78	1.91
Na ₂ O	2.96	2.97	2.69	2.75
K ₂ O	4.68	4.86	4.58	4.43
P ₂ O ₅	0.20	0.17	0.42	0.36
3H	0.77	0.74	0.91	0.79
Сума	99.72	99.83	99.79	99.90
K/Na	1.58	1.64	1.70	1.61
P.I.	0.70	0.73	0.69	0.68
Нормативен състав по CIPW				
Q	31.99	31.64	36.03	35.72
Or	27.98	29.01	27.40	26.44
Ab	25.28	25.33	22.99	23.45
An	7.79	8.56	6.44	7.43
C	1.43	0.68	1.80	1.62
Hu	1.92	1.44	1.37	1.66
Mt	0.63	0.52	0.58	0.98
Hm	1.93	1.88	1.93	1.32
Il	0.61	0.56	0.54	0.58
Ap	0.44	0.37	0.93	0.79

K/Na = K₂O/Na₂O; P.I. = Na₂O + K₂O/Al₂O₃ (mol)

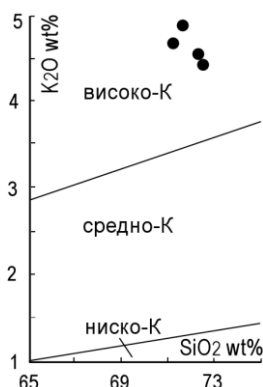
Основната маса с микрофелзитова, фелзитова и сферолитова структура е от светложълтокафяво до светлокафяво вулканско стъкло, неравномерно девитрифицирано в микрозърнест кварц – К-фелдшпатов агрегат. Наблюдават се и сферолити с влакнест, радиалнолъчест строеж, пространството между които е запълнено с дребнозърнест агрегат от К-фелдшпат и кварц с фелзитова структура.

В приразломните по-високо проницаеми за хидротермалните разтвори зони, риолитите са процепени от множество кварцови и халцедонови жилки, с дебелина до 2 cm и дължина до 80 cm, които на места прехождат в неправилни по форма лещовидни тела. Наблюдават се и неравномерно разпределени ръждивокафяви пигментации от Fe хидроксида. Скалообразуващите минерали във вулканитите от тези зони са значително променени. Плагиоклазите са заместени по пукнатини от кварц и халцедон, а мафичните минерали са цялостно променени – биотитът е обезцветен и превърнат в изотропна безструктурна маса, а амфиболите са заместени от кварц и халцедон. В основната микрофелзитова маса присъстват множество безцветни, изометрични и удължени тела изградени от изотропни SiO₂ фази, вероятно опал. В тези хидротермално променени участъци се наблюдават миндали запълнени със SiO₂ фази – предимно халцедон, в по-малка степен кварцин, опал и микрокварц, които по същество представляват своеобразни микроахати. Редуването на различните микроструктурни типове халцедон и SiO₂ фази от периферните към централните части на микроахатите е от типа: CH_{LF} → CH_{LS} → MQ и CH_{LF} → CH_{LF} → CH_{LS} → ±MQ. В други случаи сред масивен халцедон се наблюдава влакнест и сферично-влакнест халцедон с микроритмичност, както и изометрични и неправилни тела с размери 0.01-0.2 mm от оптически изотропен опал.

На класификационната TAS диаграма (Le Bas et al., 1986) изследваните вулкани попадат в полето на риолитите (фиг. 2а), а според диаграмата на Pecerillo & Taylor (1976), допълнена от Dabovski et al. (1991) те са висококалиеви риодацити и трахириодацити (фиг. 2б). Вулканитите са висококалиеви (фиг. 3), преситени с нормативен кварц и висококалиево калциево-алкална и шошонитова сериалност. Съотношението K₂O/Na₂O е между 1.58 и 1.70, а пералкалният индекс е от 0.68 до 0.73 (табл. 1).



Фиг. 2. а – Алкално-силициева класификационна диаграма (по Le Bas et al., 1986) с разположение на фигуративните точки на вулканитите от района на с. Татарево: D – дацит; R – риолит; T – трахит; TD – трахидацит; б – Диаграма на Pecerillo & Taylor (1976), допълнена от Dabovski et al. (1991): HKRD – висококалиев риодацит; HKR – висококалиев риолит; TRD – трахириодацит; TR – трахириолит; Сери: HKCA – висококалиево калциево-алкална; SH – шошонитова



Фиг. 3. Диаграма на Le Maitre et al. (1989) за разделяне на риолитите на нискокалийни, среднокалийни и висококалийни

Изследваните ахати от района на с. Татарево са изградени от многократно и ритмично редуващи се SiO_2 фази – предимно халцедон, в по-малка степен микроварц и опал. Халцедонът е предимно черен, по-рядко червенокафяв и безцветен. Черните ивици изграждат по-голяма част от ахатите и обикновено заемат периферните им части. Под микроскоп се установяват редуващи се ивици с дебелина от порядъка на 0.02-0.5 mm от различни микроструктурни типове халцедон – CH-W_{LF} , CH-H_{LF} , CH_{LF} и CH_{M} . Червенокафявите са от CH-H_{LF} (сферично-влакнест и хоризонтални слоеве) и CH_{LF} , а безцветните от CH-W_{LF} (фиг. 4а-б). Различните микроструктурни типове халцедон се редуват в различен порядък. Периферните части са изградени от многократно редуващи се ивици от влакнест и параболично-влакнест халцедон с дебелина 0.3-0.5 mm, а вътрешните части – от микроварц ($\text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-H}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{MQ}$). В други случаи в черните халцедонови ивици се наблюдава оптически слабо анизотропен опал, сред които локално и неравномерно са диспергирани кафяви и ръждивокафяви Fe хидроксиди асоцииращи с глинести минерали (фиг. 4в). Структурните данни (XRD изследвания и Раманова спектроскопия) показват, че анизотропията на опала се дължи на наличието в него на структурни домени от преобладаващо кристобалитов, тридимитов или смесен (кристобалит-тридимитов) компонент. Халцедоновите ивици около опала са изградени от редуващ се влакнест халцедон с ясно изразена микроритмичност, параболично-влакнест и масивен халцедон (фиг. 4в). Вътрешните части на тези ахати са от масивен халцедон и микроварц, с вариращо количество халцедонови сферолити сред тях. Редуването на различните микроструктурни типове халцедон и SiO_2 фази е: $\text{O} \rightarrow \text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH}_{\text{M}} \rightarrow \text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH}_{\text{M}}$ и $\text{MQ} \pm \text{CH-H}_{\text{LF}}$. В някои концентрично-зонални ахати освен описаните многократно редуващи се микроструктурни типове халцедон се наблюдават халцедонови сферолити, пространството между които е запълнено с CH_{M} . Ядрото им е от Fe хидроксиди, микроварц и опал, а периферните части са от CH-H_{LF} и CH-W_{LF} (фиг. 4г).

Оцветяването на ахатите се дължи на различната концентрация и разпределение на Fe сулфида, Fe и Mn оксиди и хидроксиди в халцедона (фиг. 4д). Те са представени основно от пирит, пиротин, Fe оксиди и хидроксиди и единични находки от Mn оксиди или

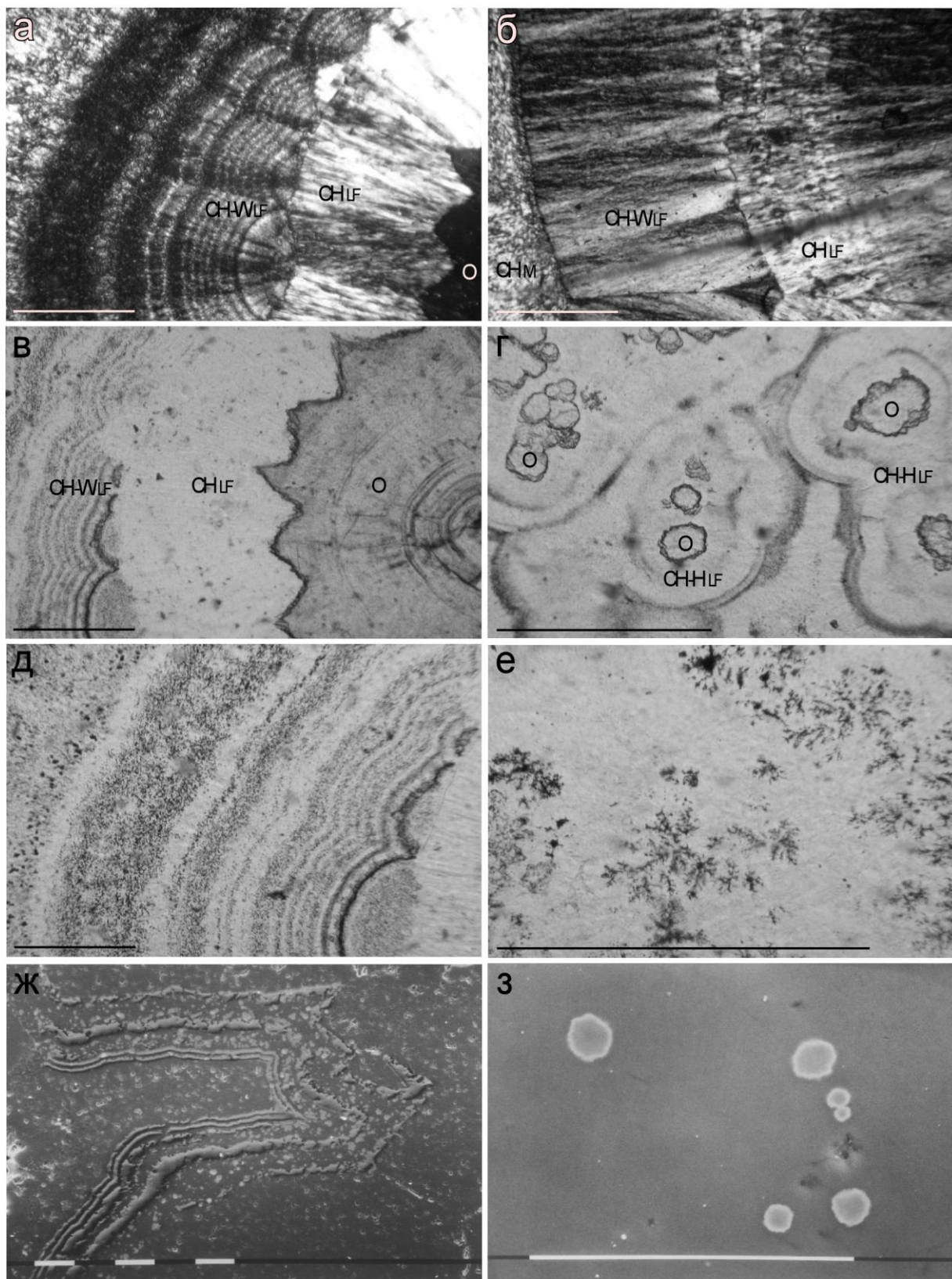
хидроксиди. Имат неправилна, изометрична или ъгловата форма и размери предимно под 2 μm , много рядко до 8 μm по най-дългата ос. Често черните ивици са оформени и оцветени от закономерно разположени в ешалонна подредба фрамбоиди на Fe сулфида с размери под 1 μm , много рядко достигащи до 5 μm . Имат почти идеална сферична форма и много рядко показват недобре развити кристални стени. Червенокафявите ивици са пигментирани от Fe оксиди и хидроксиди, представени от тела със същата морфология и размери, но с ръждивокафяво оцветяване (фиг. 4д). В някои случаи сред CH_{M} се установяват неравномерно разпределени ръждивокафяви, дендритовидни Fe оксиди и хидроксиди (фиг. 4е), а в други – ивици от плътно подредени фрамбоиди на Fe сулфида или оксиди и хидроксиди с различни размери и морфология (фиг. 4ж), които разделят различните микроструктурни типове халцедон. В определени участъци фрамбоидите имат неравномерна концентрация и разпределение в черния халцедон (фиг. 4з). Вероятно в определени случаи черното оцветяване на халцедона се дължи на фино диспергирани сред него Mn оксиди или хидроксиди. Характерна особеност е локализацията на пигментацията компонент в определен микроструктурен тип халцедон, в границите на който концентрацията и разпределението му е сравнително постоянно. В тази връзка редуването на ивици с по-висока концентрация на Fe сулфида, Fe и Mn оксиди и/или хидроксиди и такива с по-ниска наситеност, както и наличието на опал обуславят контрастното оцветяване на ахатите.

Генетични особености

Генезисът на ахатите от района на с. Татарево следва да се обвърже с постмагматичната хидротермална активност в Източните Родопи. Хидротермалната дейност е неравномерно проявена, по-интензивно около приразломните по-високо проницаеми зони, като и в катаклазирани и тектонизирани участъци. В тези зони обогатените на SiO_2 нискотемпературни разтвори са запълнили пукнатини, каверни и различни по големина и морфология газови празнини във вулканитите, отлагайки в тях SiO_2 фази и формирайки както микроахати, така и различни по големина и форма геоди. Многократното редуване на ивици от различни SiO_2 фази е указание за стадийност в минералообразователните процеси, обусловена от пулсацията на разтворите и промяната на физикохимичните условия. В локални участъци разтворите са имали повишена S фугитивност и значително съдържание на Fe йони, което е било предпоставка за образуване на сулфидите. С развитието на кристализационния процес те са придобили окислителен характер, в резултат на който са формирани определена част от оксидите и хидроксидите. Останалите от тях вероятно са резултат от супергенната промяна на част от първичните сулфида. Според Sunagawa and Ohta (1976), хоризонталната паралелно-ивичеста зоналност при ахатите бележи заключителния стадий на тяхното формиране. В нашия случай тази зоналност е изградена от редуването на опалови и халцедонови слоеве с различна дебелина и е указание както за финалния стадий на ахатообразуването в района, така и за пулсационния характер на минерализираните разтвори и промените в техните

физикохимични параметри. Колебанията в кристализационните условия през този стадий са довели

до формирането на най-атрактивната част от ахатовите геоди от района на с. Татарево, изграждайки в тях участъци с ониксов тип текстура.



Фиг. 4. Микрофотографии на ахати от района на с. Татарево, Хасковско. PLM (а-е): а, б – редуване на различни микроструктурни типове халцедон; в – опал (дясно) и различни микроструктурни типове халцедон около него; г – халцедонов сферолити (CHHLF) с опалово ядро; д – халцедон пигментиран от финодиспергирани в него на Fe сулфиди, Fe и Mn оксиди и хидроксиди; е – дендритовидни Fe оксиди и хидроксиди в халцедон. Маркер: а-е – 0.4 mm; а, б +N, в-е II N. SEM (ж, з): ж – ивици от Fe и Mn оксиди и хидроксиди, разделящи различни микроструктурни типове халцедон; з – фрамбоиди от Fe сулфиди. Маркер: ж – 100 μm; з – 10 μm

Литература

- Боянов, И., Д. Кожухаров, А. Горанов, Й. Янев, Ж. Шиляфова, М. Русева. 1990. *Геоложка карта на България в М 1:100000*, к.л. Искра, С.
- Боянов, И., Д. Кожухаров, А. Горанов, Ж. Шиляфова, М. Русева. 1995. *Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000*, к.л. Искра, С., ГИ БАН, Геология и геофизика, 77 с.
- Годовиков, А. А., О. И. Рипинен, С. Г. Моторин. 1987. *Агаты*. М., Недра, 368 с.
- Иванов, Р. 1963. Магматизмът в Източнородопското понижение. Част II – петрохимическо развитие и провинциални особености. – *Тр. геол. България, Сер. Геохим., минерал. и петрогр.*, 4, 294-323.
- Киевленко, Е. Я., Н. Н. Сенкевич. 1976. *Геология месторождений поделочных камней*. М., Недра, 280 с.
- Пантева, В. 1996. Строеж на киселите палеогенски вулкански тела от района на с. Татарево, Хасковско. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 57, 1, 21-26.
- Харковска, А., В. Пантева, Дж. Пе-Пайпър. 1997. Нови геоложки, петрохимични и геохимични данни за палеогенските вулканити от района на селата Татарево и Гарваново, Хасковско. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 58, 2, 83-94.
- Цинцов, З., Б. Банушев, Е. Вулев. 2006. Сагенинови ахати от Източните Родопи. – *Минно дело и геология*, 10, 36-40.
- Янев, Й., Б. Караджова, А. Андреев. 1983. Распределение щелочей и генезис кислых вулканитов в части Восточно-Родопского палеогенского понижения. – *Geologica Balc.*, 13, 3, 15-45.
- Dabovski, C., A. Harkovska, B. Kamenov, B. Mavrudchiev, G. Stanisheva-Vassileva, Y. Yanev. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 3-15.
- Flörke, O. W., H. Graetsch, B. Martin, K. Röller, R. Wirth. 1991. Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure. – *N. Jb. Mineral. Abh.*, 163, 19-42.
- Le Bas, M. J., R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. – *J. Petrology*, 27, 745-750.
- Le Maitre, R. W (ed). 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Sci Public., Oxford, 193 p.
- Moxon, T. 1996. *Agate Microstructure and Possible Origin*. Doncaster, Terra Publications, 106 pp.
- Peccerillo, A., S. R.Taylor. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- Sunagawa, I., E. Ohta. 1976. Mechanism of formation of chalcedony. – *Tohoku Univ. Sci. Report, Ser. 3*, 13, 2, 131-146.
- Tsintsov, Z., B. Banushev, R. Pazderov. 2001. Mineralogical characteristic of Paleogene coral agates from Eastern Rhodopes, Bulgaria. – *N. Jb. Miner. Mh.*, 10, 464-480.
- Tsintsov, Z., B. Banushev, T. Zdravtchev. 2002. Characteristics of agates from Kostino village region, Kurdjali district (Bulgaria) – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 55, 9, 67-72.
- Yanev, Y. 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene acid volcanics, Bulgaria. – *Acta Volcanol.*, 10, 265-277.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ