

Флуидните включения в жилния кварц от Сакар планина

Юлия Христова, Георги Петров

¹Геоложко предприятие за лабораторни изследвания, 1113 София

²Предприятие за геофизични проучвания и геоложко картиране, 1505 София

J. Christova, G. Petrov — *Fluid inclusions in vein quartz of Sakar Mountain*. The morphology, genesis, homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in vein quartz of Sakar Mountain (SE Bulgaria) were studied by microscopic and microthermometric (freezing and heating) methods. Significant quantities (average content 0.08 wt%) of crack fluid inclusions occur. They were formed in the conditions of an anisothermal regime through necking down of epigenetic microcracks. For this reason a wide range of homogenization temperatures (440 to 110°C) was measured when heating 516 two-phase fluid inclusions. Temperatures in the range 360-160°C are most common. Part of the inclusions contain CO₂ which homogenized at temperatures between 18 and 31°C (mean value 26.9°C). Cryometric studies indicate melting temperature of the last ice crystal in the range —13.2 to +0.2°C, most commonly —1 to +0.2°C. Such temperatures are typical of fluids with minimum salinity — from 0 to 1.7 wt% eq. NaCl. Inclusions in different cracks contain fluids with different salinity. This shows that the tectonic process which controlled the formation of the microcracks, resp. the inclusions, was repeated. Fluids with different temperatures, composition and salinity penetrated into the cracks at different times. These features of the fluid inclusions in the vein quartz of Sakar Mountain should be considered by the qualitative and technological evaluation of the quartz raw material.

През последните години търсенето и проучването на находища на жилен кварц в България непрекъснато се разширяват. Този засилен интерес се обуславя от нарастващото значение на кварцовата суровина за развитието на някои особено важни области на съвременната наука и техника.

Основа за правилното насочване на приложението на жилния кварц е пълното изучаване на неговите минераложки, химични, генетични и други особености. По тази причина сравнително малкият брой предимно непубликувани проучвания на кварц в последно време се допълва от специализирани изследвания (А с л а н я н, 1985; А s l a n i a n, В e g a n, 1986).

Върху качеството на кварцовата суровина влияят редица фактори, сред които съществено значение имат почти постоянно присъстващите в кварца флуидни включения. Именно от тях до голяма степен зависят прозрачността и бистротата на кварцовата маса. Установено е, че в процеса на промишлена преработка на суровината флуидните включения оказват влияние върху хода на нейното стопяване, съответно и върху качеството на крайния продукт (В a r t u c h k a, 1970). В този смисъл флуидните включения в значителна степен предопределят използването на жилния кварц и тяхното специализирано изучаване дава необходима и полезна информация. Според публикуваните до момента данни флуидните включения в жилния кварц у нас не са били обект на детайлно целенасочено изследване. Именно такъв е предметът на настоящата работа — характеристика на особеностите и значението на флуидните включения в жилния кварц от района на Сакар планина, Югоизточна България.

Изследванията са извършени върху образци от жилни тела от безруден кварц. Телата са вместени в слюдени и двуслюдени шисти и гнайсошисти, гранат-слюдени шисти, амфиболити и гнайсгранити с докамбрийска възраст и в биотитови гранити с палеозойска възраст (сакарски гранити). До момента в Сакар планина са установени над 400 такива тела. Формата им най-често е неправилна, жилна до лещообразна. Наблюдават се както S- и C-образни жили с чести раздуви и апофизи, така и по-редки лещовидни и изометрични тела. Във вместващите скали не се установяват видими белези на контактна промяна.

Дължината на повечето жилни тела е от 7—8 до 50—60 m, но се срещат и много по-дълги жили (до 1000 m). Видимата дебелина е от 0,3—0,5 до 6—7m, а в местата с раздуви — до 20 m. Редките жили с дължина над 200 m са с издържана жилна форма и дебелина до 24 m. Те представляват кварцови ядра на по-големи кварц-аплитови тела.

Методика на изследване

Изследванията са извършени върху 140 образца от 140 различни тела от безруден кварц. От всички образци са изготвени дюншлифи, при микроскопирането на които кварцовите агрегати са охарактеризирани по минерален състав и структура. Съдържащите се в кварца флуидни включения са описани по морфология, фазов състав, разпределение и генезис.

От 40 образца са изолирани чисти мономинерални проби с тегло 1g и размери на зърната 0,2—0,5 mm. На тези проби е извършено определяне на загубите при налягане до 900°C. В кварца тези загуби се дължат практически единствено на изпаряването на течната фаза на флуидните включения при тяхното разрушаване в процеса на налягане на пробите (К о с т ы л е в а, 1964; Е р м а к о в, 1972). Получените резултати са използвани за количествена оценка на съдържанието на флуидни включения в кварца.

Подбрани са 38 образца за микротермометрични изследвания по методите на хомогенизацията и криометрията, за които са използвани специално подготвени двустранно полирани пластинки от изучавания кварц. Измерванията са извършени на микротермометричен апарат „Сшаixмеса“, който има температурен диапазон, осигуряващ големи възможности за работа при положителни и отрицателни температури — от —180°C до +600°C. Точността на измерванията, контролирана по температурите на топене на чисти вещества, препоръчани от фирмата производител, е, както следва: до +100°C $\pm 0,5^\circ\text{C}$, от 100 до 350°C $\pm 1^\circ\text{C}$, над 350°C $\pm 3^\circ\text{C}$.

Минерален състав и структура на кварцовите агрегати

Кварцовите тела в Сакар планина са съставени от масивен кварц с млечнобял или сиво-бял цвят. На места се наблюдават и стъкловидни маси. По фини пукнатини са отложени железни хидроокиси, които в отделни жили са в по-голямо количество и придават кремаво-бял или червеникав цвят на кварца.

Структурата на кварцовите агрегати най-често е хетерозърнеста неправилнозърнеста, преобладаваща в зъбчата. В част от образците личат белези на прекристализация, изразяваща се в грануляция на кварцовите зърна по периферията или по пукнатини. В такива случаи са оформени участъци с микрогранобластна и гранобластна зъбчата или мозаична структура. Обикновено именно тези участъци са макроскопски стъкловидни.

Повсеместно се наблюдават белези на тектонска обработка. По кварцовите зърна е развита гъста мрежа от взаимнопресичащи се микропукнатини. При по-интензивна катаклаза се появяват катаклазни и бластокатаклазни структури.

Тектонската обработка на изследвания жилен кварц е особеност, която обуславя специфични качествени белези — млечнобял цвят и намалена прозрачност, дължащи

се главно на голямото количество флуидни включения, развити по зарасналите микропукнатини

Кварцовите жили са почти мономинерални — количеството на кварца в повечето случаи надвишава 99%. 40% от взетите за изследване образци са изградени само от кварц. Често, но в незначителни количества (под 1%) се установяват серицит, глинесто-хидрослюдести минерали и железни хидроокиси (лимонити). Много рядко се наблюдава присъствието на мусковит, хлорит, биотит, актинолит, плагиоклаз (предимно албит, рядко олигоклаз), калиев фелдшпат, епидот, клиноцоизит, пирит.

Високата чистота на сахарския жилин кварц се потвърждава и от направените в ГПЛИ над 300 химични анализа на мономинерални образци. Установява се съдържание на силициев двуокис от 99,85 до 99,94%. Алюминий присъства в количества до 0,0053%, а съдържанията на калций, магнезий, натрий, калий, желязо, титан са от порядъка на 0,0008—0,0006% и по-ниски.

Кварцът в жилите е сравнително едрозърнест. Най-често установяваните размери на кварцовите зърна са 3×2 , 2×2 , 2×1 и 1×1 mm. В отделни агрегати едрината на зърната достига 1×1 cm. Прекристализацията води до одребняване на кварца до $0,1 \times 0,1$ — $0,5 \times 0,5$ mm.

Характеристика на включенията в кварца

В съответствие с целите на изследването специално внимание е отделено на присъствието на микровключения в кварца.

Твърди минерални микровключения с определен състав не се установяват. Изключение представляват прашестите частици с размери под 0,000 mm, навлезли по микропукнатини или захванати в процеса на растеж на кварцовите зърна. Наблюдава се ясно изразена връзка между степента на напуканост на образеца и количеството на прашестите частици.

За изследвания жилин кварц е характерно присъствието на значително количество флуидни включения. Резултатите от определянето на загубите при налягане на 40 мономинерални кварцови проби сочат средна загуба, равна на 0,08 тегл.%. Тази стойност дава количествена представа за съдържанието на флуидни включения в жилин кварц от Сакар планина и е съпоставима с данните на други автори. За кварц от жили в Полярен Урал и Алдан Костылева (1964), чиято методика е използвана в случая, привежда загуби при налягане от 0,019 до 0,21 тегл.%. При количествено определяне на водата във флуидните включения в кварц от ЮИ България с помощта на инфрачервена спектроскопия са получени близки по стойност резултати — 0,02—0,22 тегл.% (A s l a n i a n, В e g a n, 1986).

Прекристализацията на кварцовите агрегати до известна степен способствува за намаляване на количеството на включенията, но този процес е проявен съвсем ограничено.

Размерите на наблюдаваните в кварца многобройни флуидни включения са от порядъка на хилядни, рядко стотни от милиметъра. Формите на вакуолите са разнообразни, което се приема като указание за различия в режима на образуване на включенията (P e t r o v, 1985). Наблюдават се сферични, неправилно заоблени, амбовидни и тръбести вакуоли, както и хексагонални и бипирамидално-призматични форми, представляващи негативни кристали.

По състав изследваните флуидни включения са преобладаващо двуфазови — газово-течни. Многобройни са и еднофазовите течни включения (табл. I). В 20% от образците се наблюдават трифазови включения, които представляват интерес с обособяването на втора течна фаза от CO_2 , доказана по температура на хомогенизация (критичната температура на чистия CO_2 е $31,1^\circ\text{C}$).

При описания фазов състав напълнеността на флуидните включения се изменя в доста широки граници — количеството на течната фаза съставлява от 50 до 90% и

достига 100% в еднофазовите течни включения. Тази особеност е в пряка връзка с генезиса и механизма на образуване на включенията в изследвания кварц.

Разпределението на флуидните включения изключително по зараснали епигенетични микропукнатини (табл. I) подсказва, че по произход те следва да се отнесат към т. нар. пукнатинни включения. Механизмът на формиране на тези включения в най-общи линии се свежда до зарастване на микропукнатините чрез т. нар. разчленяване, което се осъществява в рамките на продължителен период от време на фона на понижаване на температурата на протичащия в пукнатината флуид, т. е. при анизотермичен режим (Р ъ д д е р, 1987; Р е т r o v, 1985). По класификацията на Е. р м а к о в (1972) тези включения се определят като аномални. В конкретния случай по отношение на кварца те имат вторичен произход, което наред със специфичния механизъм на формиране ги прави непригодни за оценка на температурата на образуване на минерала по метода на хомогенизацията (Р ъ д д е р, 1987). Обективно тези включения могат да служат само като критерий за определяне на солеността на флуидите, законсервирани във вакуолите.

Микротермометрични изследвания

Независимо от факта, че включенията в кварца не могат да се използват за оценка на температурата на образуване на минерала, провеждането на микротермометрични изследвания чрез хомогенизация е оправдано. Получените резултати са от значение за оценяването на кварца като суровина за производството на кварцови стъкла и други изделия. Хомогенизацията и последващата я декрепитация на вакуолите влияят върху хода на топенето на кварцовата маса, като водят до възникването на газове мехурчета в топилката и с това влошават качеството на крайния промишлен продукт.

В резултат на извършените измервания на температурата на хомогенизация (Тхом) на 516 пукнатинни флуидни включения от жилния кварц от Сакар планина се установява, че те се хомогенизират почти изключително в течна фаза в широк температурен интервал — от 440 до 110°C. При нагряване над Тхом голяма част от флуидните включения декрепитира. Най-често регистрираните Тхом са в областта 360—160°C с максимуми при 310—280 и 250—220°C. Нагледна представа за хомогенизацията на флуидните включения в кварца дава приложената хистограма (фиг. 1).

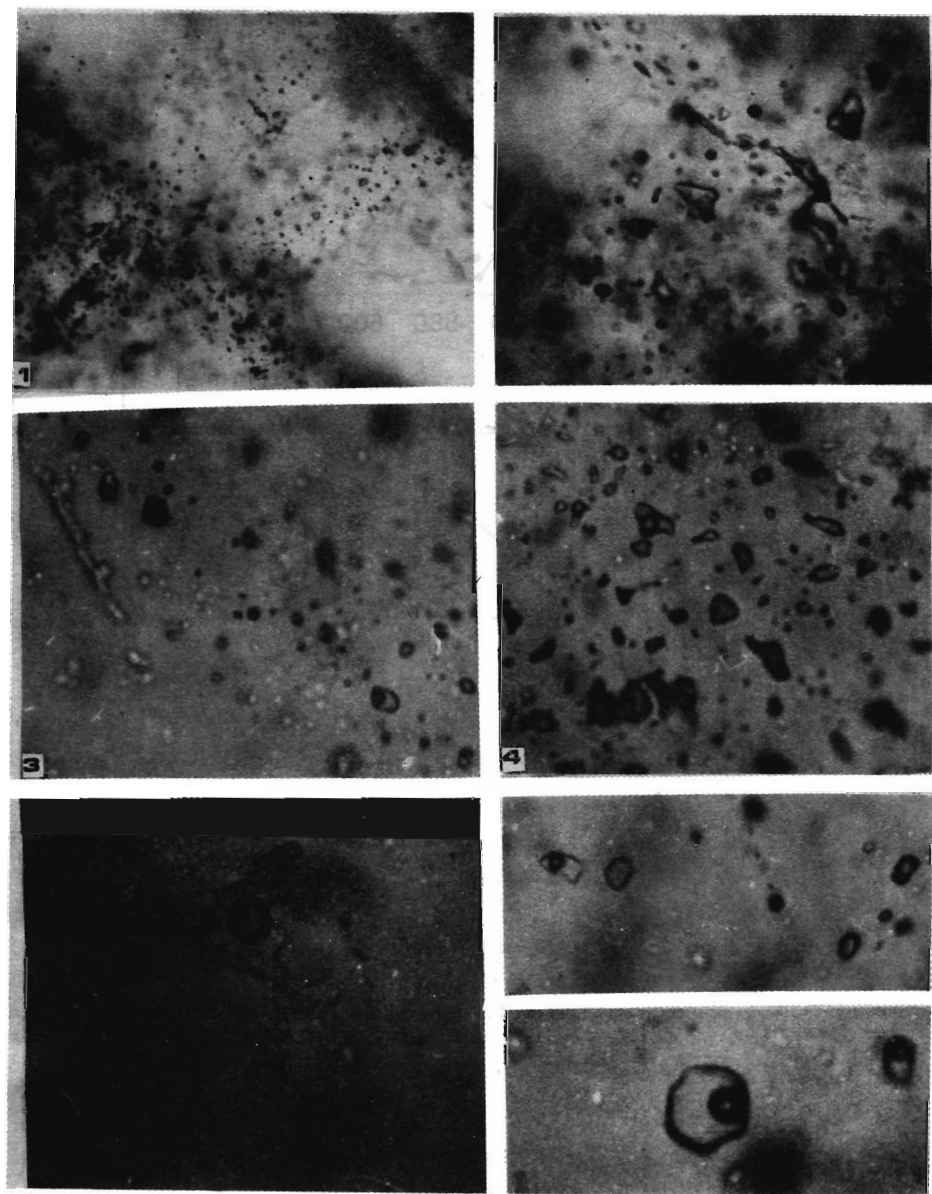
Получените резултати не съответствуват на по-рано публикувани данни, според които Тхом на флуидните включения в кварц от ЮИ България е между 200 и 80°C и много рядко над 170°C (А с л а н я н, 1985).

Широкият температурен интервал на хомогенизация на флуидните включения в сакарския жилен кварц се обяснява с описания по-горе механизъм на формирането им в условията на анизотермичен режим. Законсервираните във включенията флуиди се характеризират с различна температура, зависеща от момента и мястото на захващането им (Р ъ д д е р, 1987). За подобен тип включения в кварц *W e i s b r o d & P o t u* (1975) също установяват хомогенизация в широк температурен интервал (от 280 до 60°C).

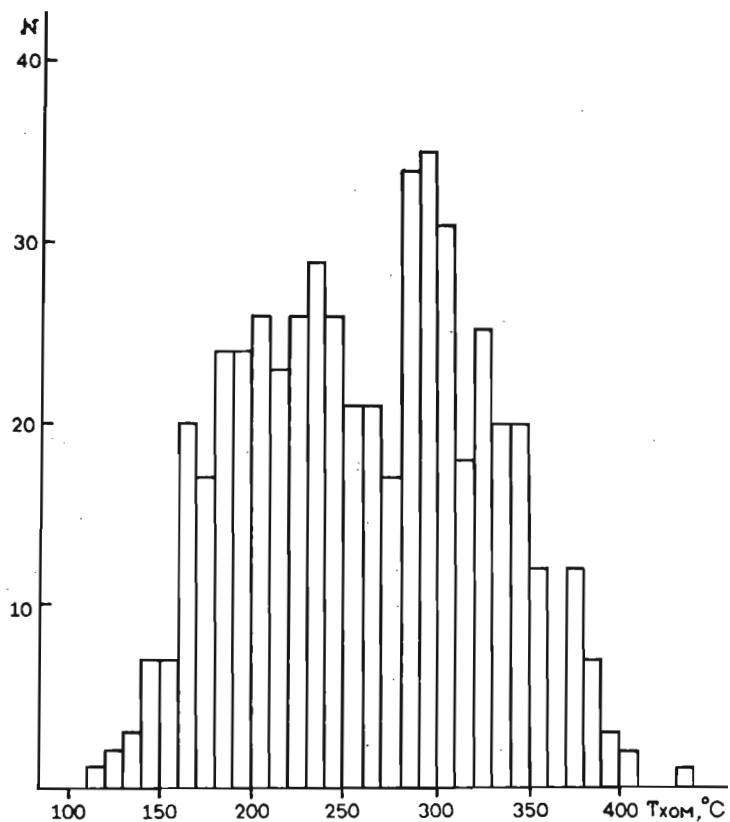
Специфично поведение при нагряване показват трифазовите включения, съдържащи течен CO_2 . Те се хомогенизират на два етапа. Първоначално при температура между 18 и 31°C CO_2 се хомогенизира преобладаващо в течна фаза. Хистограмата на фиг. 2 показва, че хомогенизацията на CO_2 се осъществява най-често между 26 и 31°C при средна Тхом 26,9°C. На такава Тхом отговаря плътност на CO_2 в момента на хомогенизация, равна на 0,68 g/cm³ (по *P o t u e t a l.*, 1974).

При продължаване на нагряването над 31°C включенията с CO_2 се хомогенизират, общо взето, в същите температурни граници, както и останалите. Твърде често обаче при тях Тхом не се достига поради ранното разрушаване на вакуолите — поведение, характерно за флуидните включения, съдържащи CO_2 . Тази особеност се дължи на високия коефициент на термично разширение на CO_2 поради който налягането във вакуолите твърде бързо нараства и те декрепитират (Р ъ д д е р, 1987). Подобно пове-

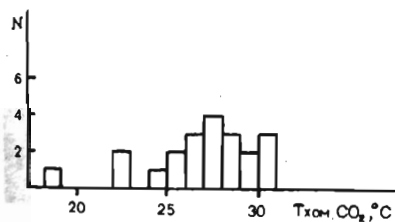
ТАБЛИЦА I



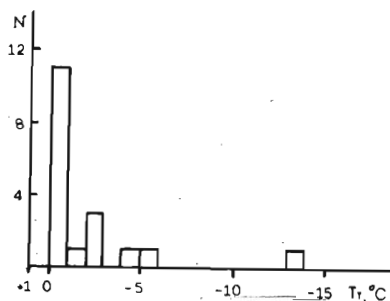
- 1 — пукнатинни флуидни включения, привързани към зараснали епигенетични микропукнатини в кварца ($\times 200$)
2 и 3 — еднофазови и двуфазови флуидни включения с различни форми и размери, развити по различни микропукнатини ($\times 300$)
4 — група флуидни включения, различаващи се по форма, размери и напълненост ($\times 800$)
5, 6 и 7 — единични флуидни включения с характерна форма и напълненост ($\times 800$)



Фиг. 1. Хистограма на температурите на хомогенизация на флуидни включения в жilen кварц от Сакар планина



Фиг. 2. Хистограма на температурите на хомогенизация на въглероден двуокис в трифазови флуидни включения в жilen кварц от Сакар планина



Фиг. 3. Хистограма на температурите на топене на последния кристал лед във флуидни включения в жilen кварц от Сакар планина

дение на аналогични по състав включения е описано и от други автори (P a r g u e t a l., 1988; P o t y e t a l., 1974). Отбелязва се също, че присъствието на течен CO_2 при температура над 25°C е указание за висока плътност на CO_2 , дължаща се на високо налягане при формирането на вакуолите (D u r i š o v a, 1987). Данните за Тхом и плътността на CO_2 в конкретния случай позволяват такъв извод да се направи и за условията на образуване на част от кварцовите жили в района на Сакар планина.

Криометрични изследвания са проведени върху три кварцови проби. Извършени са наблюдения на поведението при замразяване и измервания на температурата на топене на последния кристал лед в 18 включения.

Според методиката за криометричен анализ, разработена от Б о р и с е н к о (1977), първите признаци на топене на твърдите фази във вакуолата се отчитат като евтектична температура и по нея се съди за състава на системата във включенията. В конкретния случай обаче достоверно определяне на евтектичната температура не е възможно поради минималните размери на вакуолите и ниската концентрация на флуида — обстоятелства, които силно затрудняват наблюденията и измерванията. По тази причина не могат да се направят изводи за предполагаемия солеви състав на системата. Получените резултати са използвани за оценка на солеността на флуида във вакуолите, която, както е известно, влияе закономерно върху понижението на температурата на замръзване и съответно върху температурата на топене (Р ъ д д е р, 1987).

Включенията в една от пробите замръзват при $-35/-40^\circ\text{C}$, а в останалите две — при $-80/-100^\circ\text{C}$. Тези температури на замръзване са твърде ниски, от една страна, вследствие явления на метастабилно преохлаждане на флуида и, от друга — поради присъствието на CO_2 , който значително понижава температурата на замръзване.

Моментът на замръзване се регистрира най-често по внезапната силна деформация на газовото мехурче. В отделни случаи (при по-едри включения) се осъществява и замръзване с хомогенизация — газовата фаза изчезва. След замръзването са извършени наблюдения на измененията, настъпващи във вакуолите в хода на тяхното бавно затопляне чрез естествен топлообмен.

Във включенията, съдържащи CO_2 , при температура $-55/-50^\circ\text{C}$, т. е. в близост до тройната точка на чистия CO_2 ($-56,6^\circ\text{C}$), се наблюдава фазов преход, маркиращ преминаването на CO_2 от твърда в течна фаза. Над -50°C във вакуолите в твърдо състояние присъствува само водата. В хода на бавното повишаване на температурата се наблюдават прекристализация и уедряване на ледените кристалчета, след което започва тяхното топене. Температурата на топене на последния кристал лед във вакуолите служи като изходна база за определяне на солеността на флуида чрез изчисляване по формула, приведена от Р ъ д д е р (1987, с. 430).

Измерен са температури на топене от $-13,2$ до $+0,2^\circ\text{C}$ (фиг. 3). При 60% от включенията температурата на топене на последния кристал лед е между -1 и $+0,2^\circ\text{C}$, което характеризира флуиди с минимална или практически нулева соленост — от 0 до 1,7% еквивалент NaCl . За останалите включения са получени температури, отговарящи на соленост съответно 1,9, 4,3, 4,5, 7,1, 8,5 и 17% экв. NaCl .

Включенията, развити по различни микропукнатини, показват различни температури на топене на последния кристал лед и съответно различна соленост на флуида. Обратно, включенията, намиращи се в съседство по една микропукнатина, имат еднакво поведение при замръзване и топене, отговарящо на еднаква соленост. Следва да се приеме, че тектонската обработка, довела до формирането на микропукнатините и на включенията, е била нееднократна. В пукнатините в различни моменти са постъпвали флуиди с различни състав и соленост, вероятно и с различна температура.

Общо солеността на тези флуиди е много ниска, практически нулева. В този смисъл съставът им вероятно е най-близък до системата на $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$, за която е известно, че е хомогенна само при високи температури (Р ъ д д е р, 1987). Охлаждането на флуида води до отсмесване на H_2O и CO_2 , при което в процеса на разчленяване на микропукнатините са образувани включения с различни фазови съотношения на двата компонента — вода (или съвсем слабо концентриран воден разтвор) и въглероден двуокис.

Не е изключено минималната соленост на изследваните флуиди да се дължи на проникване и на метеорни води в микропукнатините на кварца. Според Poty et al., (1974) тази възможност е доказана от различни автори чрез изследвания на изотопния състав на кислорода и водорода във включенията.

Заклучение

Проведените изследвания на жилин кварц от района на Сакар планина и на съдържащите се в него флуидни включения дават основания да се направят някои изводи.

Жилиният кварц се характеризира с висока степен на чистота по отношение на минерален състав и химизъм (99,85—99,94% SiO_2), което го прави много перспективен за производства, изискващи свръхчиста кварцова суровина.

В резултат на интензивна тектонска обработка в минерала са образувани голямо количество пукнатинни флуидни включения (средно 0,08 тегл. %). Тяхното присъствие следва да се вземе под внимание като фактор, оказващ влияние върху качествените и технологичните характеристики на кварцовата суровина.

При установената минимална соленост на флуида (0—1,7% екв. NaCl) включенията не биха могли да бъдат източник на нежелани примеси (натрий, калий и др.).

Присъствието на флуидните включения би се отразило неблагоприятно върху качеството на кварцовата топилка. Разрушаването (декрепитацията) на включенията се осъществява при температура над 400°C, което трябва да се има предвид при промишлената преработка на кварцовата суровина.

Широкият интервал на измерените температури на хомогенизация на флуидните включения в кварца (440—110°C) се определя от специфичния механизъм на образуване на включенията — чрез разчленяване по епигенетични микропукнатини. По тази причина флуидните включения не могат да се използват като достоверен критерий за температурата на образуване на кварца и като цяло — за генезиса на кварцовите жили в района на Сакар планина.

Литература

- Асланян, С. 1985. Характеристика на жилин кварц от някои находища в ЮИ България. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 46, 2, 193—199.
- Борисенко, А. С. 1977. Изучение солевого состава растворов газовойжидких включений в минералах методом криометрии. — *Геология и геофизика*, 8, 16—27.
- Ермаков, Н. П. 1972. *Геохимические системы включений в минералах*. М., Недра. 375 с.
- Костылева, Е. Е. 1964. *Некоторые методы изучения рудоносного кварца и опыт их применения*. М., Наука, 98 с.
- Реддер, Э. 1987. *Флюидные включения в минералах*, 1. М., Мир. 560 с.
- Aslanian, S. O., A. A. Veran. 1986. Quantitative IR-spectroscopische Bestimmung des Einschlußwasser-gehaltes von Gangquartzen SO-Bulgarien. — *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 39, 5, 71—74.
- Baruchka, M. 1970. Studie o tekavich incluzich v zilnich kremenu a porovich incluzi. I. Microscopicke hodnoceni zilnich kremenu a porovich incluzi. — *Silicati*, 4, 297—308.
- Durišova, J. 1987. Fluid inclusions in the minerals of the ore deposits of the Jeseniky Mts. — *Vestnik UUG*, 62, 2, 65—76.
- Parry, W. T., P. N. Wilson, R. L. Bruhn. 1988. Pore-fluid chemistry and chemical reactions on the Wasatch normal fault, Utah. — *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 52, 2053—2063.
- Petrov, P. P. 1985. Fluid inclusions in natural hydrothermal quartz genetically connected with cracks. — *G. R. Acad. Bulg. Sci.* 38, 2, 215—218.
- Poty, B. P., H. A. Stalder, A. M. Weisbrod. 1974. Fluid inclusions studies in quartz from fissures of Western and Central Alps. — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 54, 2/3, 717—752.
- Weisbrod, A. M., B. P. Poty. 1975. Thermodynamics and geochemistry of the hydrothermal evolution of the Mayres pegmatite. — *Petrologie*, 1, 1—16.

(Постъпила 12. X. 1989 г.)