

УДК 550.41:553.065(477.87)

ОЗНАКИ ФОРМУВАННЯ КВАРЦОВИХ ЖИЛ МУЖІЄВСЬКОГО РОДОВИЩА З ГЕЛЮ КРЕМНЕЗЕМУ

Н. Словотенко, Л. Скакун

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Досліджено зразки кварцових жил Мужієвського родовища. За даними опису жильного виповнення та мікроскопічних спостережень взірців, під час формування жильного кварцу відбувалося початкове осадження кремнезему з гелю. Методом інфрачервоної спектроскопії виявлено включення кремнеземового гелю, який містить воду. Доведено, що кварц на родовищі формувався внаслідок перекристалізації первинно осадженого кремнезему.

Ключові слова: епітермальна мінералізація, кварцові жили, гель кремнезему, інфрачервона спектроскопія, Мужієвське родовище.

Мужієвське золотополіметалеве родовище належить до адуляр-серицитового епітермального типу [8, 30]. Переважна більшість епітермальних родовищ утворюється в субаеральних наземних умовах в областях активної діяльності андезит-ріолітового вулканізму. Їхнє формування відбувається в інтервалі глибин, що не перевищує 1,5 км, при температурі 100–300°C [30].

У межах Мужієвського родовища переважають рудні агрегати, сформовані під час метасоматичного заміщення вмисних порід. Мінеральні агрегати, утворені шляхом осадження у відкритих порожнинах, мають підпорядковане значення. Для південних рудних тіл (VI, XXII, XIII) характерними є друзові кварцові агрегати, відкладені шляхом послідовної кристалізації з істинних розчинів. У північних рудних тілах (XIX, XV–XVII, XXIII) простежується різко відмінна текстурна картина, а саме: переважають тонкозернисті, прихованокристалічні, щільні кварцові агрегати з масивною або неоднорідною текстурою.

Кварцові рудні тіла вивчали на епітермальних родовищах адуляр-серицитового типу, таких як Сліпер (Невада, США) [27], Голден Кросс (Нова Зеландія) [29], Ваїхі (Нова Зеландія) [13], Хішікарі (Японія) [15], Поргера (Папуа Нова Гвінея) [25], Осіло (Сардинія, Італія) [28], Малліна Бейзін (Північна Півбара, Західна Австралія) [20], Сазар (Бая Маре, Румунія) [18]. Спільна риса кварцових жил цих родовищ – наявність смугастих зональних, крустифікаційно-коломорфних текстур. Зональність у кварцових жилах виражена мінливістю розмірів зерен та щільності їхнього розташування, хвилястими знаками. Значно поширені коломорфні та гроноподібні скупчення. Мінеральні текстури, які відображають кристалізаційну історію й порядок заміщення мінералів у жилах, підсилюють контрастність цієї смугастості. Периферійні ділянки жил складені тонкозернистими, прихованокристалічними різновидами кварцу. У центральних частинах жил, зазвичай, є друзові порожнини, випов-

нені гребінчастим кварцом (дрібно- або крупнозернистим). Прозорий, часто аметистоподібний, гребінчастий кварц є ознакою кінцевих подій виповнення жили. Мозаїчні, коломорфні кварцові текстури, хвилясті текстури осідання в агрегатах жил є наслідком кристалізації й перекристалізації з аморфного кремнезему або інших проміжних нестабільних фаз кремнезему, таких як кристобаліт, опал СТ і халцедон [17, 27, 23].

Кварц – найменш розчинна поліморфна модифікація кремнезему, яка здатна осаджуватись за низьких концентрацій кремнезему. Натомість осадження аморфного кремнезему потребує високого ступеня перенасичення кремнеземом щодо кварцу [17]. Наявність аморфного кремнезему свідчить про швидкі фізико-хімічні зміни. В епітермальних родовищах замість кварцу з розчинів звичайно осаджується аморфний кремнезем [16, 17]. Кристалізація кварцу з розчинів ускладнена, оскільки вільна енергія поверхні кварцу дуже висока, тому він утворює зародки набагато важче, ніж аморфний кремнезем [14]. Кварц кристалізується на тверду основу кремнеземових фаз. Аморфний кремнезем може осаджуватись з перенасиченого розчину, утворюючи суспензії колоїдних частинок кремнезему [1]. Зміна рН (нейтралізація), поява енергійних коагуляторів з бокових порід (додавання електролітів), а також змішування розчинів різного складу у природних системах можуть спричинити флокуляцію кремнезему, яка приведе до формування гелю або коагульованого колоїду [1, 31]. Найважливішими процесами у щойно утворених гелях є синерезис (втрата води) і кристалізація [1, 4, 10]. Порівняно з його кристалічними різновидами аморфний кремнезем нестійкий, має вищу розчинність [1, 14, 26]. У гідротермальних системах з часом аморфний опалоподібний попередник перекристалізовується в більш термодинамічно стабільну фазу – кварц [1, 13, 16, 17, 19, 23, 26, 27, 32]. Чинниками, які контролюють кристалізацію кремнезему з аморфного стану, є час і температура, рН, солоність розчину та концентрація кремнезему в пізніх флюїдах, які містили первинну аморфну кремнеземову фазу [17].

Під час спостереження крупнокристалічних прозорих агрегатів кварцу жил Мужівського родовища може скластися помилкове враження про суцільну кристалізацію масивних кварцових жил з істинних розчинів. Доказом відкладення мінералів з гелів є структурно-морфологічні особливості мінеральних агрегатів, тому передусім увагу було сконцентровано саме на них. Ми мали на меті визначити природу осадження кварцу на родовищі, яка важлива для розуміння генезису золотоносних кварцових жил узагалі.

Геологічна позиція. Мужівське золотополіметалеve родовище належить до Берегівського рудного поля, яке розміщене в межах горстового підняття донеогенового фундаменту і розташоване в зоні зчленування Закарпатського внутрішнього прогину і Панонського серединного масиву в бортовій частині великої неогенової кальдери. Будову Берегівського рудного поля визначає Берегівська вулканічна структура, яка на сході межує з Куклянським горстом. Мужівське родовище розташоване в зовнішній прибортовій частині Берегівської вибухової кальдери, у клиноподібному блоці над східним похилим бортом депресії.

Стратиграфічний розріз рудного поля і родовища охоплює відклади тріас-юрського складчастого фундаменту і неогенового вулканогенно-осадового структурного комплексу. Золоте зруденіння рудопрояву пов'язане з міоценовою вулканогенно-осадовою товщею, яка складається з трьох горизонтів ріолітових туфів (нижнього, середнього та верхнього), розділених двома теригенними товщами (ниж-

ньою та верхньою). Метасоматичне перетворення вмісних порід максимально виявлене на верхніх горизонтах з тенденцією ослаблення зі збільшенням глибини. На нижніх горизонтах широко розвинуті альбітизація й калішпатизація, на верхніх – різного ступеня інтенсивності аргілізитові зміни. По нижньосарматських вулканітах розвинені каолінітові, кварц-каолінітові, алунітові, монокварцові метасоматити.

Структура Мужієвського родовища визначена сукупністю тріщин відриву та сколювання, що сконцентровані у вигляді розломних зон північно-східного (VI, XXII, XIII розломні зони) або субширотного західного і північно-західного (VIII, XII, XIX, XVI, XXIII розломні зони) простягання. Часто розломні зони контролювані речовинними неоднорідностями в товщі та розміщені вздовж тіл туфозитів (VIII, X та XII розломи). Субширотні розломи падають на північ і на південь під кутом 60–70°. Рудні тіла звичайно пов'язані з розломами північного падіння. Винятком є XVII та XXIII рудні тіла, що падають на південь. Часто трапляються слабо мінералізовані розломні зони і тріщини. Північні розломи (XIX, XV, XVII, XVI, XXIII), на відміну від південних (VIII, X, XII), перетинають туфи й осадові породи бадену і компенсують напруження глибокого закладання.

Із субширотними розломами пов'язані сульфідні, кварц-сульфідні, кварц-баритові, кварц-гетитові і кварцові жили та прожилково-вкраплені зони. Жильні рудні тіла супроводжуються прожилково-вкрапленою мінералізацією в зальбандах. Потужність жил коливається від 0,01 до 3,0 м. Для них характерні різка зміна потужності і складу по простяганню тіла та неправильна форма.

Для вивчення текстур і структур жильних агрегатів, взаємовідношень мінеральних індивідів штуфи жильного матеріалу спочатку досліджували візуально: визначали мінеральний склад, об'ємні співвідношення мінералів, характер поверхні агрегатів. Наступним кроком було вивчення об'ємної будови агрегатів за допомогою плоских зрізів штуфів. Просторові взаємовідношення між мінералами визначали під біокулярним мікроскопом у двосторонньо полірованих пластинках. Виявлення особливостей будови досліджуваних агрегатів, анатомії індивідів, дослідження меж між ними виконано за допомогою петрографічного мікроскопа у двосторонньо полірованих пластинках і шліфах.

Спектроскопічні дослідження проводили на ІЧ-спектрографі UR-20 у лабораторії геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Для досліджень виготовлені двосторонньо поліровані пластинки з кристалів і полікристалічних агрегатів кварцу й халцедону товщиною 0,2–0,5 мм. Вимірювання виконане при кімнатній температурі в ділянці $4\ 000\text{--}2\ 000\ \text{см}^{-1}$, розрахунки – за методом базисної лінії.

Текстурні особливості рудних тіл. У жильних рудних тілах зафіксовано різкі зміни будови мінеральних агрегатів як у площині рудного тіла, так і в межах окремих його перерізів. Масивна текстура переважає у кварцових і кварц-сульфідних жилах XIX, XVI рудних зон. Простежуються поступові переходи від майже монокварцових метасоматитів до масивних кварцових агрегатів. Ці агрегати мають прихованокристалічну структуру. У них достатньо часто трапляються релікти вмісних кварц-адулярових метасоматитів, але максимальний об'єм жильних тіл виповнений кварцовою масою. Після формування кварцового каркасу жили такі фрагменти розчиняються або їх заміщує каолініт. Повністю каолінізовані фрагменти порід містяться всередині жили. В багатьох випадках каолініт також розчиняється. В результаті формуються сильно пористі до стільникових текстури жили. У разі на-

кладення кварцових агрегатів на сульфідні рудні тіла формуються кварц-сульфідні жили.

Достатньо широко, особливо у південно-західній частині родовища, розвинуті кварцові і кварц-халцедонові агрегати, сформовані внаслідок виповнення порожнин. Вони мають прожилкові, крустифікаційні, друзові, кокардові та коломорфні текстури, які часто утворюють взаємні переходи. Кокардові текстури розвинуті у цементі тектонічних брекчій.

На верхніх горизонтах Мужієвського родовища масивні руди переважають в осьовій частині рудних тіл, а в напрямі їхніх флангів руди набувають плямистого, смугастого вигляду, часто трапляються кавернозні й каркасні текстури. Каркасні текстури виникли внаслідок розчинення кварц-польовошпатової чи кварц-серіцитової породи, що вміщує сульфідні агрегати. На нижніх горизонтах рудних тіл зростає частка прожилкових і вкраплених сульфідних руд. Кварц-баритові руди мають переважно масивну текстуру, кварцові і кварц-сульфідні – прожилкову, брекчієву, смугасту, крустифікаційну. У кварцових, кварц-баритових і кварц-ярозит-гетитових рудах значно поширені текстури вилугування. Вони виникають унаслідок розчинення сульфідів, карбонатів або бариту, що містились у кварцовій матриці.

Перехідні зони від кварцової жили до вмісних порід не перевищують перших сантиметрів. За вузькою зоною окварцовання розміщена зона інтенсивної каолінізації вмісних порід. Перед фронтом заміщення по простяганню жили в зонах із прожилково-вкрапленою бідною сульфідною мінералізацією можуть простежуватися ділянки із фрагментарним, струменистим розвитком прихованокристалічного кварцу.

Часто текстура досліджуваних жил є зональною (симетрична або асиметрична), виражена у чергуванні зон з різноманітним складом та будовою (рис. 1). В жилах нема ознак поступового заповнення простору від стінок до центра. Кіркові текстури поширені обмежено. Значна частина об'єму жил представлена прихованокристалічним різновидом кварцу і має вигляд щільного масивного агрегату. Своєрідна будова та молочно-білий колір різко відділяють зони прихованокристалічного кварцу від сусідніх зон дрібнокристалічного кварцу. Самі зони відмінних структур мають невтримані потужності, вибагливий хвилястий рисунок по простяганню жили.

У багатьох випадках розмір зерен мінералів збільшується від зальбандів до центральних частин жил. Прихованокристалічні кварцові різновиди поступово трансформуються у дрібнозернисті до крупнокристалічних. Подібно до кварцу, кристали бариту, розміщені в основній масі кварцу, змінюють розмір від дуже дрібних у периферійних ділянках до крупнопластинчастих у центральних ділянках жил.



Рис. 1. Зональна будова жили.

Флюорит у вигляді скупчень ізометричних кристалів тяжіє до зальбандів. Зональні кристали флюориту в найближчому оточенні контактують з прихованокристалічною кварцовою масою. Окремі мінерали (флюорит, барит, тонкі розсіяні вкраплення сульфідів, гідроксидів заліза) розміщені по лінійних зонах у масі жильного кварцу, паралельній до стінок жил. Барит міститься у кварцовій масі по певних смугах, ніби “підвішено”, не прикріплений (див. рис. 1).

Нерідко простежується дуже нерівномірний розподіл мінералів у жилах у напрям від одного зальбанду до іншого. Наприклад, сульфідні агрегати часто сконцентровані в одному з зальбандів жильного тіла. Нема певної послідовності виділення мінералів, оскільки немає ознак поступового заповнення простору від стінок до центра. Це стосується, передусім, бариту і флюориту. Складається враження про одночасне відкладення жильної маси й мінералів, які в ній містяться.

Друзоподібний кварц у жильних утвореннях простежується в помірних кількостях. Кварц переважно напівпрозорий з аметистовим відтінком, рідше сіруватий. Обрис кристалів призматично-видовжений. Розмір кристалів кварцу в друзах змінюється від перших міліметрів до перших сантиметрів. Друзи не мають чітких поверхонь наростання, переходить між сусідніми зонами прихованокристалічного та крупнозернистого кварцу поступові. Одна з визначних особливостей друзових агрегатів – це наявність невеликих непрозорих ділянок (розміром до 0,5 см) зі скупченнями молочно-білого прихованокристалічного кварцу, які мають різко ксеноморфні обриси щодо тичкуватих прозорих кристалів кварцу.

Привертають увагу ритмічно-зональні смугасті агрегати кварцу, складені по чергово прихованокристалічним і друзовим кварцом. Період чергування в них майже сталий. Розмір зерен у друзових ритмах може змінюватися від дрібного до великого. Молочно-білі смужки прихованокристалічного кварцу розміщені субгоризонтально на гранях головок кварцу попереднього ритму. До наступного рівня зароджень кристали прозорі.

Значний ступінь неоднорідності текстурно-структурних ознак зберігається на мікрорівні. Під мікроскопом помітні виділення прихованокристалічного кварцу, які мають неоднорідні структури розкристалізації кремнеземового гелю. Подібні структури спостерігали на Кубакінському золото-срібному родовищі [9]. Без таких структур прихованокристалічний кварц слабо реагує на поляризоване світло і виявляє лише ефект агрегативної поляризації. Поряд з ділянками розкристалізації гелю чітко простежуються центри збірної перекристалізації кварцу з утворенням звичайного зернистого кварцового агрегату, який під мікроскопом представлений прозорими мозаїчно гаснучими різновидами. Дуже часто попередня паркетоподібна орієнтація кварцових зерен агрегату збережена (рис. 2). Загальна картина в шліфах у цьому разі представлена групами збільшених призматичних зерен, майже перпендикулярних одне до одного.

Під мікроскопом видно, що значно розвинені розщеплені, блокові кристали кварцу. Загасання зерен одного типу розщеплених кристалів нерівномірне: центральні ділянки зерен мають чітке і рівне загасання, у периферійних частинах за неповного повороту столика мікроскопа виявляються ділянки радіально-променистої будови, які гаснуть як одночасно, так і неодноразом з центральним ядром. Друга група зерен з блоковою будовою не має ядер з однорідним загасанням. Кристали складені з окремих блоків, звичайно повернутих один щодо іншого під різними кутами.

В основній масі середньозернистого кварцу за загальної рівномірної зернистості агрегатів у структурі виявляється деяка порфіроподібність. Особливістю таких ділянок є наявність розрізаних порівняно великих кварцових зерен (розміром до 5 мм), простір між якими вповнений дрібнозернистим кварцом, а в деяких випадках і прихованокристалічним. У цих кристалах помітна зональність уздовж граней призми. Центральні частини – ядра – мають правильні кристалографічні обриси і складені звичайно прозорим кварцом. Ядра оточені тонкою “пухнастою” смужкою-оболонкою аморфного кремнезему. В периферійних частинах ядер простежуються чіткі послідовні зони



Рис. 2. Збірна перекристалізація структури розкристалізації гелю кремнезему. Ніколи \times .

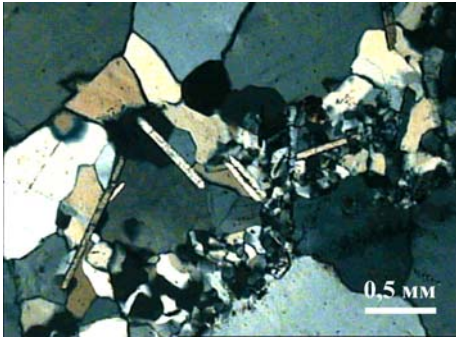
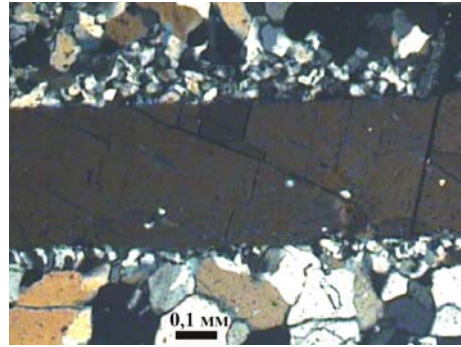
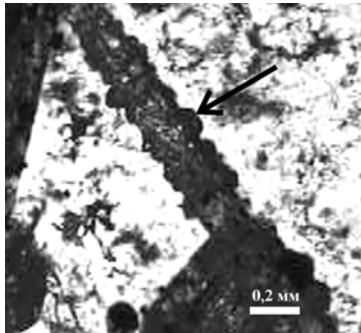
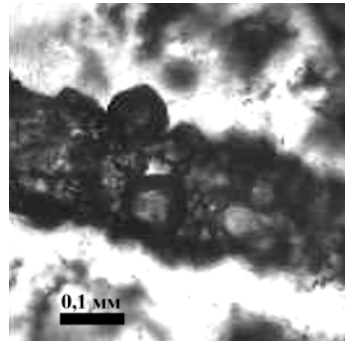
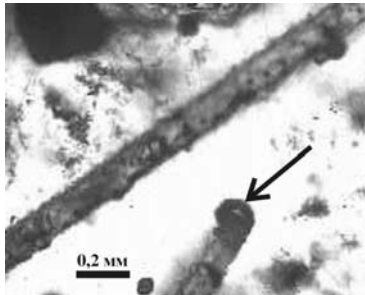
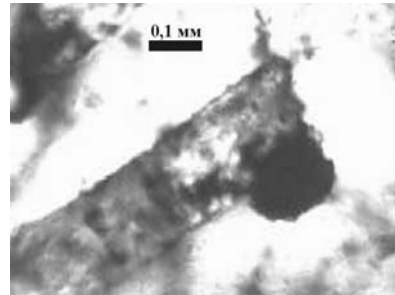
росту кристалів, які зумовлюють кристалічно-зональну будову. Як загальний вигляд оболонок у цілому, так і обрис кожної складової цих оболонок зон повторюють кристалографічні обриси ядер. Часто смуги по-різному насичені газорідними включеннями. Зазвичай, у кристалі є до трьох ритмів зональності.

Подібні зональні кристали кварцу описані на оловорудному родовищі Шах-Шагайли [6]. Мікроскопічні дослідження засвічують наявність значної кількості “волохатих” твердих включень у кварці. Гелеві включення, подібні до описаних Ю.О. Долговим [5], виявлено в агрегатах халцедону в периферійних частинах сферолітів [8].

Кристали бариту, розміщені в кварцових агрегатах, як уже зазначено, не мають зони прикріплення. В жильній масі вони витягнуті у ланцюжки або звивисті зони різної потужності (рис. 3). Навколо них немає облямівок кварцу. Перехід від дрібно- до крупнозернистих різновидів кварцу в напрямі від граней кристалів бариту поступовий (рис. 4). У кварц-баритових агрегатах простежується налипання невеликих пухирців газу, розмір яких не перевищує 0,1 мм, на кристали бариту (рис. 5, *a-г*). Газові пухирці містяться у кристалічному оточенні агрегату кварцу, тому вони мають огранений вигляд (див. рис. 5, *a-в*). В окремих випадках пухирці ставали локальною причиною припинення росту бариту. Точка дотику пухирця та грані кристала бариту перетворена на ямку внаслідок того, що вільні ділянки кристала продовжували рости й частково обросли несумісну фазу (див. рис. 5, *г*).

Як про цікаву деталь, замітимо, що в жильній масі кварцових агрегатів розсіяні октаедри флюориту розміром від 10 до 85 мікронів. Прозорі або ж непрозорі октаедри флюориту подекуди розташовані без будь-якої орієнтації, іноді витягнуті в смужки у кварці (розмір кристалів до 12,5 мікрона) або розміщуються по зонах росту прозорого тичкуватого кварцу (тут їхній розмір не перевищує 11,5 мікрона).

Окрім флюориту октаедричного габітусу та видимих скупчень флюориту в зальбандах, у жильному кварці трапляються ізольовані виділення флюориту більш менш ізометричної форми, розміром близько 1 мм.

Рис. 3. Барит-кварцовий агрегат. Ніколи \times .Рис. 4. Кристал бариту (стоїть на загасанні) у кварцовому агрегаті. Ніколи \times .*a**б**в**г*Рис. 5. Налипання пухирців газу на кристали бариту: *a–в* – газові пухирці поліедричної форми; *г* – пухирець, розміщений на грані бариту, є причиною припинення розвитку грані у цій точці.

У розподілі цих зерен від призальбандових частин до центра простежується певна ритмічність. Кристали флюориту ростуть у напрямі до центра жил. Вони насичені газово-рідинними включеннями, зібраними у тонкі смужки по зонах росту, паралельних до меж зерен. Для дрібних ізольованих кристалів флюориту типове бічне обмеження з боку початку росту кристала. Навколо них помітні прозорі обростання кристалів кварцу. Бічні поверхні контакту з кварцом можуть бути у вигляді

сходинок, що відповідає наявності індукційних граней, з характерним зрізанням зон росту кристалів флюориту. В такому випадку флюорит має власні грані лише з одного боку, ростова зональність розвинута саме під цими гранями. Тут він, очевидно, випереджував кварц за швидкістю кристалізації.

Спектроскопічні дослідження кварцу в інфрачервоній (ІЧ) ділянці спектра [8] дали змогу виявити суттєві відмінності між його різновидами (рис. 6).

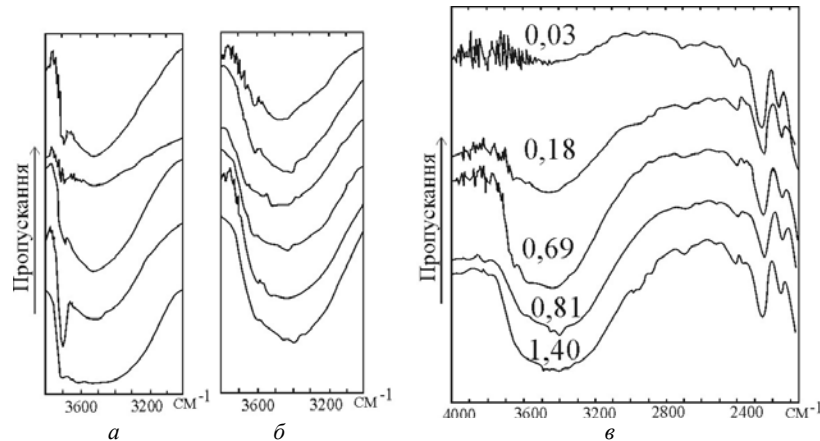


Рис. 6. Характерні спектри кварцу Мужівського родовища. Показані відмінності в будові смуги пропускання $3\ 000\text{--}3\ 800\ \text{см}^{-1}$ для прихованокристалічного (а) та друзового (б) кварцу, а також залежність піка поглинання від вмісту сумарної води в кварці (в), ваг. % [8].

На ІЧ-спектрах усіх проб кварцу виділяється широка смуга поглинання в ділянці $3\ 700\text{--}3\ 000\ \text{см}^{-1}$, що відповідає коливанням гідроксильних груп молекулярної води [11, 24]. В ділянці $3\ 400\text{--}3\ 000\ \text{см}^{-1}$ можуть бути смуги поглинання, пов'язані з коливанням груп ОН, асоційованих з деякими металами (Al, K, Na), що входять у кристалічну ґратку кварцу [7], однак інтенсивність цих смуг для досліджуваних зразків не перевищує фону. На особливу увагу заслуговує високочастотна частина спектра ($3\ 700\text{--}3\ 500\ \text{см}^{-1}$), у якій, крім смуг, пов'язаних з коливаннями ОН-груп молекулярної води, може бути смуга поглинання, пов'язана з коливанням зв'язків О–Н у групах Si–ОН [12, 21]. Смуги поглинання простежені на спектрах, отриманих для прихованокристалічного кварцу і халцедону. Максимум поглинання коливається в інтервалі $3\ 620\text{--}3\ 590\ \text{см}^{-1}$. Звичайно виділяється декілька додаткових смуг. У візрях слабо перекристалізованого кварцу інтенсивність усіх смуг знижується. Вважають [22], що складна будова розглядуваної ділянки пов'язана з деформівною дією водневих зв'язків на валентні коливання О–Н у ОН-групах. Групи Si–ОН, які не зазнали водневих деформацій або є частково “вільними”, мають пік поглинання при $3\ 690\ \text{см}^{-1}$. Зі збільшенням концентрації води у кварцовому склі [12] щораз більша частина Si–ОН-груп зазнає водневих деформацій, що приводить до переміщення піка поглинання в низькочастотну ділянку.

Аналіз ІЧ-спектрів свідчить, що агрегати прихованокристалічного кварцу містять включення водовмісної кремнекислоти типу силікагелю чи водовмісного кварцово-

го скла. Деяка частка цих ефектів може бути зумовлена зв'язками Si–OH, що виникають на межах зерен унаслідок адсорбції води поверхнею кварцу.

Інтерпретація структурно-текстурних ознак кварцових жил. Структурно-морфологічні особливості мінеральних агрегатів жильного кварцу ми використали для визначення природи осадження кварцу. Дослідження кварцової маси засвідчили, що в жильних утвореннях досить широкий, хоч і не переважний розвиток мають прихованокристалічні відособлення кварцу з паркетоподібними структурами розкристалізації гелю. Поодинокі прозорі “порфіроподібні” зональні кристали кварцу та розщеплені блокові індивіди будовою завдячують росту в гелевому середовищі. Відсутність ознак поступового заповнення простору від стінок до центра жил, неоднорідна будова, представлена скупченнями невпорядковано орієнтованих зерен, є важливими ознаками формування мінералів не з істинних розчинів, а з колоїдних. Поширеність тонкосмугастих фестончастих текстур у жильному кварці Мужівського родовища дає право твердити про можливі процеси осідання м'якого кремнеземового гелю з подальшим формуванням кристалічного кварцу. В основі цього явища є в'язкість речовини та прояв її пластичних деформацій [6, 17, 27].

Сконцентрованість флюориту у призальбандових частинах кварцових жил можна пояснити появою центрів кристалізації на контакті з бічними породами, де найефективнішим є охолоджувальний вплив навколишніх порід. Збільшення розміру зерен мінералів від зальбандів до центра жил пояснюють початком кристалізації у зальбандів, де температура гелевої маси знижується найшвидше і внаслідок цього виникає велика кількість центрів кристалізації [10]. Спостереження за особливостями текстури дають підстави вважати, що з заповненням тріщинної порожнини загасає інтенсивність спонтанного кристалоутворення, а швидко й невпорядковане відкладення мінеральної речовини змінюється впорядкованою кристалізацією на раніше відкладених зернах кварцу.

Як уже зазначено, кіркові текстури, що відповідають відкладенню мінералів з окремих порцій істинних розчинів, поширені в жилах обмежено. Під час синерезису гелю формуються тріщини дегідратації, причому порожнини висихання розбивають гель на окремі кусочки. Відкриття таких додаткових каналів сприяло руху гідротермальних розчинів, які, мабуть, частково розчиняли гель і були причиною кристалізації прозорого кварцу. Тому немає різких структурних переходів між матеріалом основи друзи та її кристалами, немає різко окресленої поверхні наростання. Там, де кварц осаджувався в порожнинах з істинного розчину, наявні добре огранені кристали, осі видовження яких звичайно перпендикулярні до поверхні, від якої вони росли. Наявність молочно-білих непрозорих ділянок прихованокристалічного кварцу серед друзових різновидів є свідченням відштовхування кристалами в'язкого колоїдного матеріалу під час їхнього росту. В результаті речовина гелю у вигляді ксеноморфного релікта була замкнена між добре ограненими кристалами кварцу.

Явища розщеплення кристалів пов'язані з нерівномірним (секторіальним) поглинанням ізоморфних або механічних домішок [6]. У процесі усадки кремнеземового гелю розвиваються напруження. Особливості структури розщеплених, блокових кристалів, а саме, збільшення мікронапружень, можуть бути пов'язані зі зростанням протидії гелю кристалізаційному тискові кристалів [2]. Частинки гелю, захоплені кристалом, є джерелом виникнення різних дефектів у структурі кристала

[2]. Характером взаємодії кристалів з в'язким навколишнім середовищем пояснюється широкий розвиток кристалів кварцу з розщепленою та блоковою будовою.

На думку А.М. Асхабова [2], у процесі виникнення зональних добре обмежених кристалів втілюються своєрідні риси росту кристалів у гелях, а саме: особливості суто механічної взаємодії кристалів з гелем. У гелях нема потужних концентраційних (теплових) потоків. Гель легко відступає перед кристалами, які ростуть, що забезпечує умови для їхнього ідіоморфного розвитку. Одна з особливостей кристалів, які ростуть у гелях, – це захоплення гелю [2]. Захоплення гелю кристалами кварцу приводить до формування в ньому “пухнастих зон”. Навколишня маса кварцу залишається у вигляді тонкозернистого матеріалу, тому агрегат набуває своєрідної порфіроподібності.

З погляду первинного формування жильної маси кварцу не останнє місце посідають ознаки росту бариту. Відкриті структури гелю кремнезему здатні містити велику кількість сторонніх речовин і газу [32], гель кремнезему може адсорбувати до 40 % водяної пари [10]; це є ключем для пояснення розвитку пухирців на гранях бариту (див. рис. 5). Під час розкристалізації кремнеземового гелю у кварц зменшується його об'єм, а несумісні фази відокремлюються до країв зерен [19]. Пухирці, які оточують кристали бариту, на наш погляд, утворилися протягом такої розкристалізації. Кристал, який росте у гелі, стає в'язким побічних продуктів, що виділяються в процесі кристалізації, та його ріст припиняється до виснаження живлячих компонентів [3]. Несумісна газова фаза, яку утримував гель кремнезему, була відсунута на периферію новоутворених зерен і приєдналася до кристалів бариту. Вона заважала вільному росту бариту (див. рис. 5, з). Гетерогенна кристалізація на межі з газовою фазою, відповідно, сприяла огрануванню кварцу. В результаті пухирці навколо бариту набули поліедричної форми (див. рис. 5, а-в). Налипання пухирців газу на грані кристалів бариту є одним із яскравих свідчень росту кристалів бариту у в'язкому середовищі гелю.

Поява мікрооктаєдрів і міліметрових зерен флюориту відображає дифузійні, або ж капілярні, явища в гелі. Ці зерна утворені шляхом вільної кристалізації у гелевому середовищі аморфного кремнезему. У кожному гелі існує деякий розподіл пор за розміром [4]. Гель, що оточує кристал, допускає дифузю, завдяки якій поповнюються запаси речовини, що її використовує кристал, який росте [4]. Смужки октаєдрів флюориту у кварці можна інтерпретувати як відображення інфільтрації розчинів по каналах у пухкому гелі.

Перелічені утворення, по-різному виявлені, трапляються досить часто. Спектроскопічні дослідження кварцу в ІЧ-ділянці спектра засвідчили наявність у кварці включень кремнієвої кислоти, що містить воду. Наведені приклади доводять, що під час формування кварцових жил значну роль відігравали колоїдні розчини.

Отже, кварцово-жильні утворення північних розломних зон (XIX, XV, XVI, XVII, XXIII) кристалізувались з колоїдних розчинів кремнезему, що, зокрема, підтверджене дослідженнями агрегатів кварцу в ІЧ-ділянці спектра. Кристалізація гелю привела до утворення аморфної прихованокристалічної маси кварцу, яка надалі підлягала перекристалізації. Звичайні дрібнозернисті різновиди кварцу виникли внаслідок її перекристалізації, іноді майже з повним зникненням слідів первинної структури.

Барит і флюорит зароджувались і росли у в'язкому оточенні гелю кремнезему, що підтверджено особливостями їхньої морфології та структурних ознак агрегатів.

Друзові крупнокристалічні різновиди аметистового кварцу утворилися завдяки кристалізації з істинних, пізніх розчинів, які рухались через середовище гелю або твердо аморфну матрицю кремнезему.

1. Айлер Р.К. Химия кремнезема: Растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия: В 2 ч. / Пер. с англ. М., 1982.
2. Асхабов А.М. Процессы и механизмы кристаллогенезиса. Л., 1984.
3. Асхабов А.М. Эндогенные факторы и диссипативные структуры в эволюции системы “кристалл–среда” // Теория минералогии. Л., 1988. С. 86–91.
4. Генши Г. Выращивание кристаллов в гелях. М., 1973.
5. Долгов Ю.А. Гелевые включения // Проблемы геохимии. 1956. Вып. 1. С. 32–41.
6. Лебедев Л.М. Метаколлоиды в эндогенных месторождениях. М., 1965.
7. Павлюшин В.И., Геворкян С.В., Возняк Д.К. Типоморфные особенности кварца Украины по данным ИК-спектроскопии // Регион. и генет. минералогия. 1978. Вып. 1. С. 26–47.
8. Скакун Л.З. Мінералого-генетична модель Мужівського золото-поліметалічного родовища (Закарпаття): Автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук. Львів, 1994.
9. Степанов В.А., Шишакова Л.Н. Кубакинское золото-серебряное месторождение. Владивосток, 1994.
10. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. М., 1955.
11. Aslanian S.O., Beran A.A. Quantitative IR-spektroskopische bestimmung ges einschlusswassergehaltes von gangquarzen So-Bulgariens // Докл. Болгар. АН. 1986. Т. 39. N 5. С. 71–74.
12. Bertoluzza A., Fagnanol, Morelli M.A. Raman and infrared spectra on silica gel evolving toward glass // Jour. of Non-Crystalline Solids. 1982. Vol. 48. P. 117–128.
13. Brathwaite R.L., Faure K. The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system, New Zealand: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 269–290.
14. Dove P.M., Rimstidt J.D. Silica-water interactions // MSA Reviews in Mineralogy. 1994. Vol. 29. P. 259–308.
15. Faure K., Matsuhisa Y., Metsugi H. et al. The Hishikari Au-Ag epithermal deposit, Japan: oxygen and hydrogen isotope evidence in determining the source of paleohydrothermal fluids // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 481–498.
16. Fournier R.O. Silica minerals as indicators of conditions during gold deposition // U.S. Geol. Surv. Bull. 1985. N 1646. P. 15–26.
17. Fournier R.O. The behavior of silica in hydrothermal solutions // Review in Economic Geology. 1986. Vol. 2. P. 45–62.
18. Grancea L., Bailly L., Leroy J. et al. Fluid evolution in the Baia Mare epithermal gold/polymetallic district, Inner Carpathians, Romania // Mineralium Deposita. 2002. Vol. 37. P. 630–647.
19. Herrington R.J., Wilkinson J.J. Colloidal gold and silica in mesothermal vein system // Geology. 1993. Vol. 21. N 6. P. 539–542.
20. Huston D.L., Blewett R.S., Keillor B. et al. Lode gold and epithermal deposits of the Mallina Basin, North Pilbara Terrain, Western Australia // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 801–818.

21. *Lander R., Florke O.W.* Nearinfrared absorbtion spectra (4000–9000 cm^{-1}) of opals and the role of “water” in these $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ mineral // *Fortschr. Miner.* 1974. Vol. 52. N 1. P. 17–51.
22. *McMillan P.F., Remmele R.L.* Hydroxyl sites in SiO_2 glass: A note on infrared and Raman spectra // *Amer. Miner.* 1986. Vol. 71. N 5–6. P. 772–778.
23. *Monox T.* Agate: a study of ageing // *Europ. J. of Mineralogy.* 2002. Vol. 14. N 6. P. 1109–1118.
24. *Niimi N., Aikawa N., Shinoda K.* The infrared absorption band at 3596 cm^{-1} of the recrystallized quartz from Mt. Takamiyama, southwest Japan // *Mineral. Mag.* 1999. Vol. 63(5). P. 693–701.
25. *Ronacher E., Richards J.P., Johnston M.D.* Evidence for fluid phase separation in high-grade ore zones at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea // *Mineralium Deposita.* 2000. Vol. 35. P. 683–688.
26. *Sander M.V., Black J.E.* Crystallization and recrystallization of growth-zoned vein quartz crystals from epithermal systems – implication for fluid inclusion studies // *Econ. Geol.* 1988. Vol. 83. P. 1052–1060.
27. *Saunders J.A.* Silica and gold textures in bonanza ores of the Sleeper deposit, Humboldt county, Nevada: evidence for colloids and implications for epithermal ore-forming processes // *Econ. Geol.* 1994. Vol. 89. P. 628–638.
28. *Simeone R., Simmons S.F.* Mineralogical and fluid inclusion studies of low-sulfidation epithermal veins at Osilo (Sardinia), Italy // *Mineralium Deposita.* 1999. Vol. 34. P. 705–717.
29. *Simmons S.F., Mauk J.L., Simpson M.P.* The mineral products of boiling in the Golden Cross epithermal deposit. Auckland, 2000. (Preprint/ Dep. of Geol., University of Auckland, New Zealand).
30. *White N.C., Hedenquist J.W.* Epithermal environment and styles of variations and their causes and guidelines for exploration // *J. Geochem. Explor.* 1990. Vol. 36. P. 445–474.
31. *Williamson B.J., Stanley C.J., Wilkinson J.J.* Implications from inclusions in topaz granite, Cornwall, England // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1997. Vol. 127. P. 119–128.
32. *Williamson B.J., Wilkinson J.J., Luckham P.F., Stanley C.J.* Formation of coagulated colloidal silica in high-temperature mineralizing fluids // *Mineral. Mag.* 2002. Vol. 66. N 4. P. 547–553.

QUARTZ VEINS FORMATION ATTRIBUTES FROM SILICA GEL

AT THE MUZHIYEVE DEPOSIT**N. Slovotenko, L. Skakun**

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Samples of quartz veins from the Muzhiyev deposit have been investigated. According to the description of the veins and microscopic supervision of the veined quartz samples, quartz has been formed from silica gel. The method of infrared spectroscopy gave the possibility to discover inclusions of the silica gel, which contain water. It has been proved that formation of quartz had occurred owing to recrystallisation of originally precipitated amorphous silica gel.

Key words: epithermal mineralization, quartz veins, silica gel, infrared spectroscopy, Muzhiyev deposit.

Стаття надійшла до редколегії 30.06.2005
Прийнята до друку 06.09.2005