

УДК 548.4:549.514.51:622.1.032.2(477)

І.М. Наумко¹, Н.Г. Сава¹, Б.Е. Сахно¹, Л.Ф. Телепко¹, Ю.М. Шашорін²

¹ Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України
79053, м. Львів-53, Україна, вул. Наукова, 3а
E-mail: naumko@ukr.net; igggk@mail.lviv.ua

² Причорноморське ДРГП НАК "Надра України"
м. Одеса, Малиновський р-н, Україна, вул. 25 Чапаївської дивізії, буд. 1

МІНЕРАЛОГО-ГЕНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗОЛОТОНОСНИХ ПАРАГЕНЕЗІВ КАПУСТЯНСЬКОГО КВАРЦОВО-ЖИЛЬНОГО РУДОПРОЯВУ (ПІВДЕННО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

За даними дослідження мінерального складу і флюїдних включень у мінералах (кварці, кальциті, польовому шпаті, гранаті) Капустянського кварцово-жильного рудопрояву у південно-західній частині Українського щита встановлено температурний режим і склад флюїдів періоду формування Au-зруденіння, що дало змогу відтворити мінерало-генетичні особливості золотоносних парагенезів. Оптимальними параметрами процесу рудогенезу слід вважати температуру 330—200 °С і лужний склад розчинів з перевагою іонів натрію і хлору у водній та CO₂ — у газовій складовій, що свідчить про середньотемпературні гідротермально-метасоматичні умови мінералоутворення. Наявність включень гетерогенного походження вказує на гетерогенізацію діоксидвуглецево-водних флюїдів з відокремленням газової фази. Виділення акцесорного золота, імовірно, проходило внаслідок розпаду комплексних хлорауратних сполук, якому сприяв процес гетерогенізації разом зі спадом температури і підвищенням лужності розчинів та пониженням активності у них хлор-іону. Підтверджено важливу роль накладених процесів розчинення, перекристалізації, перевідкладення, твердофазних перетворень у формуванні високорентабельних полігенних родовищ золота. Типоморфною особливістю рудоносного кварцу виявилася наявність у ньому включень гетерогенного походження і складних включень діоксиду вуглецю, що запропоновано використовувати з прогнозно-пошуковою метою. Саме високі концентрації CO₂ у включеннях разом із значними величинами їхньої відносної газонасиченості фіксують збагачення кварцу корисним компонентом — золотом, а, отже, є показником його рудоносності. Це складає передумови застосування у межах Капустянського рудопрояву нової технології локального прогнозування збагачених ділянок золоторудних полів.

Вступ. У південно-західній частині Кіровоградського блоку Українського щита (УЩ) поширені кварцово-жильні рудопрояви, формування структури полів яких визначили великі розломи протерозойської епохи тектономагматичної активізації (ТМА) [10]. Активні розривні порушення сприяли прискореній міграції флюїдів з глибинних горизонтів літосфери [11] і стимулювали генерацію нових речовин та їхню диференціацію у процесах роздвінення і динамометаморфізму вмисних порід [20]. Посилення інфільтраційно-метасоматичних явищ [8] сприяло розвитку кварцово-жильного мінералогенезу і мобілізації та

перевідкладенню у гідротермально-метасоматичних умовах руд золота [15].

До таких об'єктів умовно метаморфогенного і гідротермально-метасоматичного походження у регіоні відносять [2, 5, 9] Ахтівський та Петропавлівський кварцово-жильні рудопрояви Ахтівського потенційно золоторудного (рудоносного) поля, Устинівський — потенційно золоторудного поля Медове, Капустянський — Гвоздавського рудного поля. Якщо термобаричні і геохімічні параметри мінералоутворювальних флюїдів з метою розкриття їхньої фізико-хімічної природи і просторово-часової послідовності прояву [11] в Ахтівському, Петропавлівському та Устинівському рудопроявах вже встановлено [1, 12—15], то мінерало-генетичні особливості фор-



Рис. 1. Схема розташування Капустянського золоторудного прояву у межах Українського щита (складено за даними [4]): 1 — метаморфічні породи бузької серії; 2 — основні і ультраосновні породи; 3 — граніти; 4 — лінії простягання магнітних аномалій; 5 — рудопрояви золота; 6 — ділянка Майського золоторудного родовища; 7 — лінії розломів

Fig. 1. Scheme of the Kapustyanka gold-ore showing within the limits of the Ukrainian Shield (it was composed by the data [4]): 1 — metamorphic rocks of the Bug series; 2 — basic and ultrabasic rocks; 3 — granites; 4 — strike lines of magnetic anomalies; 5 — gold-ore occurrences; 6 — area of Mays'ke gold-ore field; 7 — fault lines

мування золотоносних парагенезів Капустянського кварцово-жильного рудопояву потребують з'ясування. Це й стало предметом нашого дослідження.

Загальна геологічна ситуація. Перспективний Капустянський (Східнокапустянський) кварцово-жильний рудопояв Гвоздавського рудного поля розташований у зоні зчленування південно-західної частини Голованівської шовної зони з Кіровоградським блоком між Одеським і Капустянським глибинними розломами і загалом є фланговою ділянкою Савранського золоторудного поля (рис. 1).

У районі розвинені породи таких формацій [18]: 1 — карбонатно-залізисто-кременистої (маг-

нетит-кварц-піроксенові сланці, магнетит-кварц-амфібол-піроксенові сланці, магнетитові кварцити, кварц-гранат-піроксен-магнетитові породи, кальцифіри, силіманіт-кордієрит-гранат-біотитові гнейси); 2 — спільно-діабазової (гіперстенові кристалосланці, амфіболіти, піроксенові гнейси); 3 — теригенної (високоглиноземисті породи і кварцити, що складають хащевато-заваллівську та кошаро-олександрівську світи бузької серії); 4 — мігматитів і гранітів (рожеві гранат-біотитові пегматоїдні граніти, гіперстен-біотитові граніти, кордієрит-біотитові граніти, граніти пегматоїдні).

Блок, до якого приурочено Капустянський рудопояв, представляє складну субмеридіо-

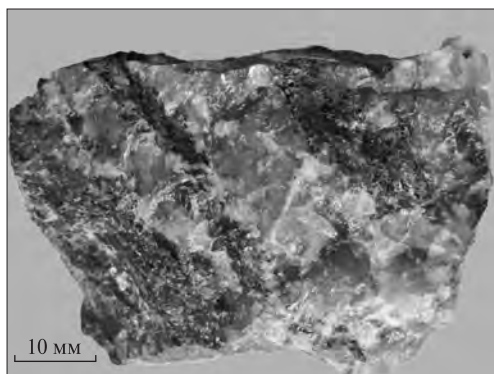


Рис. 2. Кварц-польовошпатовий прожилок у кристалосланці, зр. 2069-01

Fig. 2. The quartz-feldspar veinlet in the crystalline schist, sample 2069-01

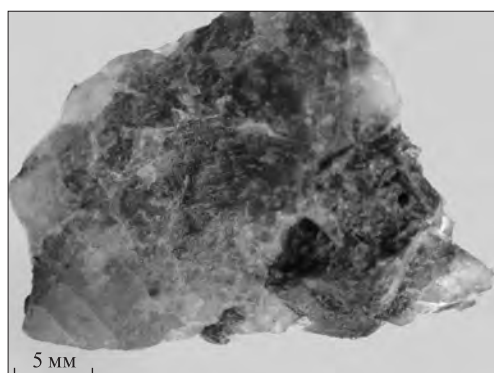


Рис. 3. Граніт пегматоїдний з гранатом, зр. 2067-01

Fig. 3. Pegmatite-like granite with the garnet, sample 2067-01

нальну структуру, для якої характерні лінійно-втягнуті синклінали вздовж крайових частин великих антиклінальних складок.

Мінералогічна характеристика парагенезів.

Зруденіння Капустянського кварцово-жильного рудопояву локалізоване у високомагнітних глибокометаморфізованих утвореннях (залізисті кварцити) хашевато-заваллівської світи бузької серії у вузлах перетину систем тріщинуватості північно-західного і північно-східного простягання зон ТМА. Тут значний розвиток отримали субмеридіональні розломи і тектонічні порушення, з якими пов'язані інтенсивні гідротермально-метасоматичні зміни порід: жильна та прожилково-вкраплена мінералізація, окварцювання, сульфідизація, біотитизація, хлоритизація у жильних зонах з вкрапленими рудами, пластовими тілами та штокверками.

Саме мінералого-онтогенічному вивченню жильних, прожилкових і прожилково-вкрап-

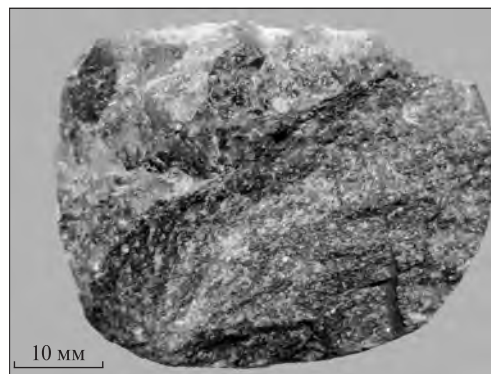


Рис. 4. Польовошпатовий прожилок з сульфідами у мігматиті по біотитовому гнейсу, зр. 2072-01

Fig. 4. The feldspar veinlet associated with sulphide minerals in the migmatite along biotitic gneiss, sample 2072-01

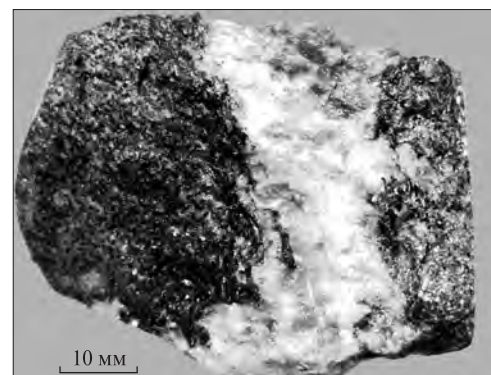


Рис. 5. Кварцовий прожилок у піроксен-гранат-біотитовому гнейсі, зр. 2079-01

Fig. 5. The quartz veinlet in the piroksen-garnet-biotitic gneiss, sample 2079-01

лених утворень приділялася підвищена увага. Прожилково-вкраплена мінералізація представлена кварцом, польовим шпатом, кальцитом і гранатом. Характерно, що золотовмісними виявилися переважно кварцові прожилки та виділення в амфібол-піроксен-плагіоклазових кристалосланцях зі слідами метасоматичних змін (рис. 2–5). Вміст золота у межах прояву коливається від 0,1 до 3,04 г/т. Основні мінерали — видиме золото, пірит, піротин, халькопірит. Зруденіння малосульфідне. До провідних асоціацій золотого зруденіння належить кварц. Мінерал у виділеннях тріщинуватий, переважно димчастий, у тонких сколах — прозорий.

У результаті візуально-мікроскопічних досліджень керового матеріалу виявлено, що жили з сульфідами та кварцом найчастіше трапляються у кристалосланцях і мігматитах, іноді у гранітах, гнейсах, метасоматитах та амфіболітах.

Кристалосланці переважно складені амфіболом, піроксеном, плагіоклазом, біотитом, кварцом, у деяких зразках зустрічається гранат, пірит, серицит і мусковіт. Співвідношення основних породоутворювальних мінералів дещо коливається в окремих зразках. Загалом породи темного кольору, масивної текстури, середньо- і дрібнозернистої структури.

Мігматити розвинені здебільшого по біотитових гнейсах. Це — породи сланцеватої та смугастої текстури, дрібно- і середньозернистої структури, темного кольору іноді з прошарками світлоколірних мінералів. Мінеральний склад мігматитів такий: польовий шпат, кварц, біотит, рогова обманка, іноді — графіт, гранат, піроксен. З рудних мінералів наявні пірит, халькопірит, з акцесорних — циркон.

Граніти сірувато-червоного кольору, крупно- і середньозернисті, складені мікрокліпертитом, олігоклазом, кварцом, біотитом, гранатом (альмандином), мусковітом з вкрапленнями піриту. Серед акцесорних мінералів присутні монацит, апатит, циркон.

Гнейси чорного кольору, дрібнозернисті, сланцюваті, складені кварцом, польовим шпатом, біотитом, піроксеном, гранатом. Трапляються вкраплення піриту.

Метасоматити чорного кольору, середньозернистої структури, масивної, сланцюватої текстури. Серед мінералів у породі переважає піроксен, присутні також кварц, гранат (альмандин), плагіоклаз. Пірит і халькопірит трапляються у вкрапленнях.

Амфіболіти чорного кольору із зеленкуватим відтінком, середньозернисті, щільні із слабовираженою сланцюватою текстурою. Головні породоутворювальні мінерали — рогова обманка, плагіоклаз, другорядні — кварц, біотит, рудні й акцесорні — пірит, ільменіт, апатит, рутил.

Руди прояву відносять [4] до залізо-кременистої метаморфогенної формації, за умов якої нагромадження золота відбувається первинно-седиментогенним шляхом з подальшим його перерозподілом.

Термобарично-геохімічні дослідження флюїдних включень у мінералах Капустянського золоторудного кварцово-жильного прояву проведені із застосуванням таких методів мінералофлюїдології [6], як мікроскопічні спостереження, термометричні вимірювання і мас-спектрометричні хімічні визначення складу летких компонентів та відносних газона-

сиченості ΔP (приріст тиску у напускній системі мас-спектрометра відносно залишкового (фонового) тиску порядку $1 \cdot 10^{-3}$ Па внаслідок вивільнення летких компонентів) і водонасиченості C_{H_2O} (вміст пари води (поглинач — P_2O_5)) у загальному об'ємі вивільнених летких компонентів).

Придатними для *термометричного* дослідження флюїдних включень виявилися кварц, кальцит, гранат і польовий шпат. Ці мінерали у вмісних породах виповнюють тріщини, утворюють масивні виділення та гніздоподібні вкраплення. З огляду на такі форми виділення, встановлення зв'язку включень з певними віковими зонами росту є проблемним, хоча у добре кристалографічно індивідуалізованих і прекрасно огранених кристалах мінералів визначення генетичного типу включень звичайно не викликає труднощів.

Найінформативнішим виконане дослідження виявилось для *кварцу* через його прозорість, високу насиченість флюїдними включеннями з вакуолями відносно великого розміру від 0,001 до 0,01 мм і більше (табл. 1; рис. 6—9).

Включення розташовані здебільшого у площинах тріщин. Як правило, це двофазові включення невитриманого наповнення (газово-рідкі, рідинно-газові) і однофазові рідкі та газові; останні переважають. Форма включень різноманітна: овальна, видовжена, кутааста, неправильна. Часто вона змінюється внаслідок розшнуровування і перевідкладення матеріалу на стінках вакуолей. Окремі флюїдні включення містять ксеногенну тверду фазу. Характерною типоморфною ознакою є наявність в окремих зразках кварцу, крім включень водних розчинів, складних включень з видимою фазою рідкого CO_2 . Це різнонаповнені трифазові включення типу $L + L_1 + G^*$ з таким співвідношенням фаз, %: L — від 35—40 до 10—15; L_1 — від 35—40 до 10—15; G — від 25—30 до 10—15, а також двофазові — типу $L_1 + G$.

Особливої уваги заслуговують флюїдні включення, які утворилися навколо твердих включень. Їхні вакуолі переважно кільцеподібні (в плані), а в просторовому відношенні відповідають геометричній фігурі — тор (форма бублика) або ж підковоподібні (незамкнене кіль-

* Тут і далі в тексті, таблицях і на рисунках: L — водний розчин (наповнення), L_1 — рідкий діоксид вуглецю, G — газовий пухирець, B — ксеногенна тверда фаза, значення наведені у відсотках.

Таблиця 1. Термометрична характеристика флюїдних включень у кварці та кальциті Капустянкського золоторудного прояву
 Table 1. Thermometrical characteristic of fluid inclusions in quartz and calcite of the Kapustyanka gold ore occurrence

Місце відбору, номер зразка	Опис зразка	Характеристика включень			Температура гомогенізації, °С
		Тип	Форма	Фазовий склад $L : L_1 : G$	
Св. 2, гл. 246,5 м; 2067-01	Сірий тріщинуватий кварц з польовошпат-кварцового прожилка у піроксен-плагіоклаз-амфіболовому кристалосланці	Окреме складне включення діоксиду вуглецю у площині тріщини Вторинні газово-рідкі включення у площині тріщини поруч із складним включенням діоксиду вуглецю Вторинні газово-рідкі включення у площині тріщини, невитриманого наповнення Кільцеподібні газово-рідкі включення, що облямовують тверді фази у кварці	Плоске, неправильної форми Плоскі, овальні та неправильної форми Плоскі та об'ємні, овальні неправильної форми Плоскі та об'ємні, форма — суцільного або розірваного кільця	20 : 20 : 60 70 : 30 60 : 40 85 : 15 80 : 20 75 : 25	325—330 205—270 300—330 140—145 150—158 245
Св. 3, гл. 374,5 м; 2069-01	Сірий тріщинуватий кварц з кварцового виділення у пегматіодному граніті	Родина вторинних газово-рідких включень у площині тріщини Родина вторинних газово-рідких різнонаповнених включень у площині тріщини	Плоскі, неправильної форми Плоскі, неправильної форми	85 : 15 70 : 30 75 : 25 65 : 35	130 200 225—235 275—288
Св. 3, гл. 377,8 м; 2071-01	Сірий тріщинуватий кварц з виділень у мілонітизованому мігматиті	Вторинні газово-рідкі включення невитриманого наповнення, різновікові у площинах тріщин Кільцеподібні газово-рідкі включення, що облямовують тверді фази	Плоскі та об'ємні, здебільшого неправильної форми Плоскі та об'ємні, суцільне або розірване кільце	85 : 15 80 : 20 75 : 25 70 : 30 85 : 15 80 : 20 70 : 30	130—145 150—165 175—180 205—215 130—145 150—160 210
Св. 6, гл. 335,4 м; 2078-01	Кварц з окварцованого катклазиту по гранітах	Складне включення діоксиду вуглецю поруч з вторинними газово-рідкими включеннями у площині тріщини Вторинні газово-рідкі включення, різновікові, у площинах тріщин, різнонаповнені	Плоске, неправильної форми Плоскі та об'ємні, неправильної форми	40 : 20 : 40 70 : 30 75 : 25	290—300 200—215 245—250
Св. 7, гл. 189,5 м; 2076-01	Сірий тріщинуватий кварц з гранат-кварцового прожилка у піроксеновмісних мігматитах	Вторинні газово-рідкі включення, різновікові, у площинах тріщин, невитриманого наповнення	Плоскі та об'ємні, здебільшого неправильної форми	80 : 20 75 : 25 70 : 30	135—150 175—180 200—215
Св. 7, гл. 129,8 м; 2075-01	Кальцит з прожилку в амфіболовому кристалосланці	Вторинні газово-рідкі включення, різновікові, у площинах тріщин	Плоскі, видовжені	85 : 15 75 : 25 70 : 30	130 185 235

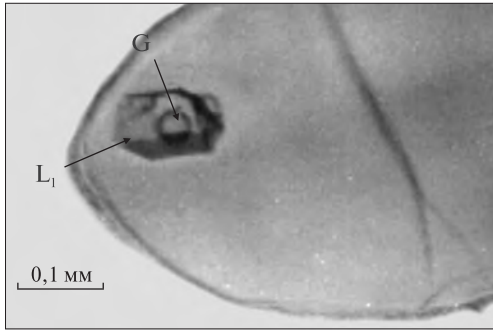


Рис. 6. Двофазове включення діоксиду вуглецю у кварці (L_1 — рідкий CO_2 , G — газова фаза), зр. 2076-01

Fig. 6. Two-phase carbon dioxide fluid inclusion in quartz (L_1 — liquid CO_2 , G — gas phase), sample 2076-01

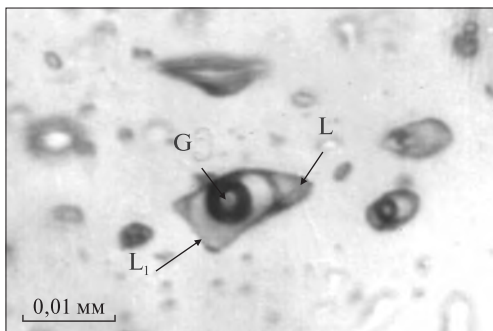


Рис. 7. Складне включення діоксиду вуглецю серед різнонаповнених газопо-рідких, рідинно-газових та істотно газових включень в площині залікованої тріщини у кварці, зр. 2071-01

Fig. 7. Complicated inclusion of carbon dioxide among various filling gas-liquid, liquid-gas and essentially gas inclusions along the healed fissure in the quartz, sample 2071-01

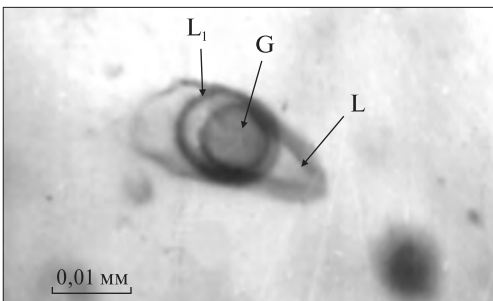


Рис. 8. Складне включення діоксиду вуглецю у кварці, зр. 2069-01

Fig. 8. Complicated carbon dioxide fluid inclusion in quartz, sample 2069-01

це), бувають і прямокутні (залежно від форми твердих фаз). Це різнонаповнені включення, які можуть мати від одного до трьох газових пухирців. Часто речовина твердого включення розчиняється і повністю заміщується кварцом. Тоді залишається лише кільцеподібне включен-

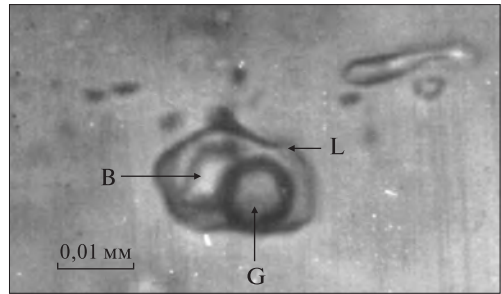


Рис. 9. Вторинне газопо-рідке включення в площині залікованої тріщини у кварці (L — водний розчин, G — газова фаза, B — ксеногенна тверда фаза), зр. 2069-01

Fig. 9. Secondary gas-liquid fluid inclusion along the healed fissure in the quartz (L — liquid, G — gas phase, B — xenogenic solid phase), sample 2069-01

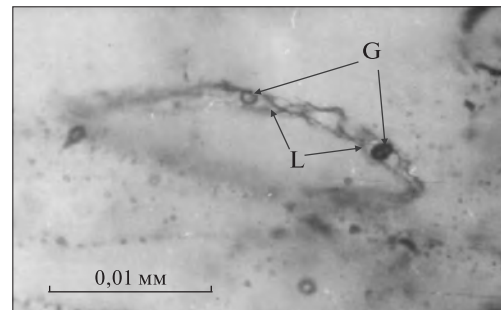


Рис. 10. Газопо-рідке включення з двома газовими пухирцями навколо твердого включення біотиту (?), який повністю заміщено кварцом, зр. 2071-01

Fig. 10. Gas-liquid inclusion with two gas bubbles around the solid inclusion of biotite (?) completely substituted by quartz, sample 2071-01

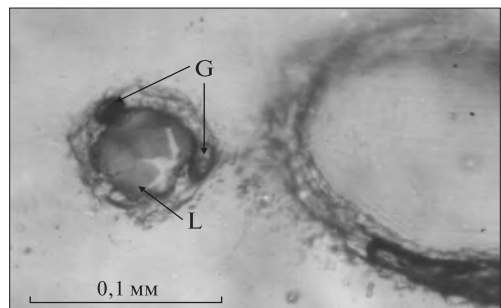


Рис. 11. Газопо-рідкі включення навколо твердих включень у кварці (L — водний розчин, G — газова фаза), зр. 2069-01

Fig. 11. Gas-liquid inclusions around the solid inclusions in quartz (L — liquid, G — gas phase), sample 2069-01

ня. Якщо речовина твердого включення заміщується частково, то в кільці флюїдного включення поруч з кварцом присутні його релікти (рис. 10, 11). Окремі ділянки вакуолей таких кільцеподібних включень мають форму ідеального негативного кристала або його фрагментів.

Рис. 12. Зміна гірських порід і перерозподіл золота в колонці гірських порід: *a, б* — дослід з водним флюїдом (*a* — колонка порід, *б* — радіоактивність порід колонки); *в-д* — дослід з домішкою NaCl (колонка порід до (*в*) і після (*г*) дослід, *д* — радіоактивність порід колонки) [3]. 1 — зеленкувато-сірий глинистий сланець; 2 — чорний вуглистий сланець; 3 — зеленкувато-сірий середньозернистий поліміктовий пісковик; 4 — вапняк; 5 — граніт; 6 — граніт з ¹⁹⁵Au; 7 — граніт з домішкою NaCl; 8 — пустоти з голчастими кристалами кварцу; 9 — альбітизація; 10 — кварцова жила; 11 — окварцювання; 12 — графітизація; 13, 14 — радіоактивність порід до (13) і після (14) дослід

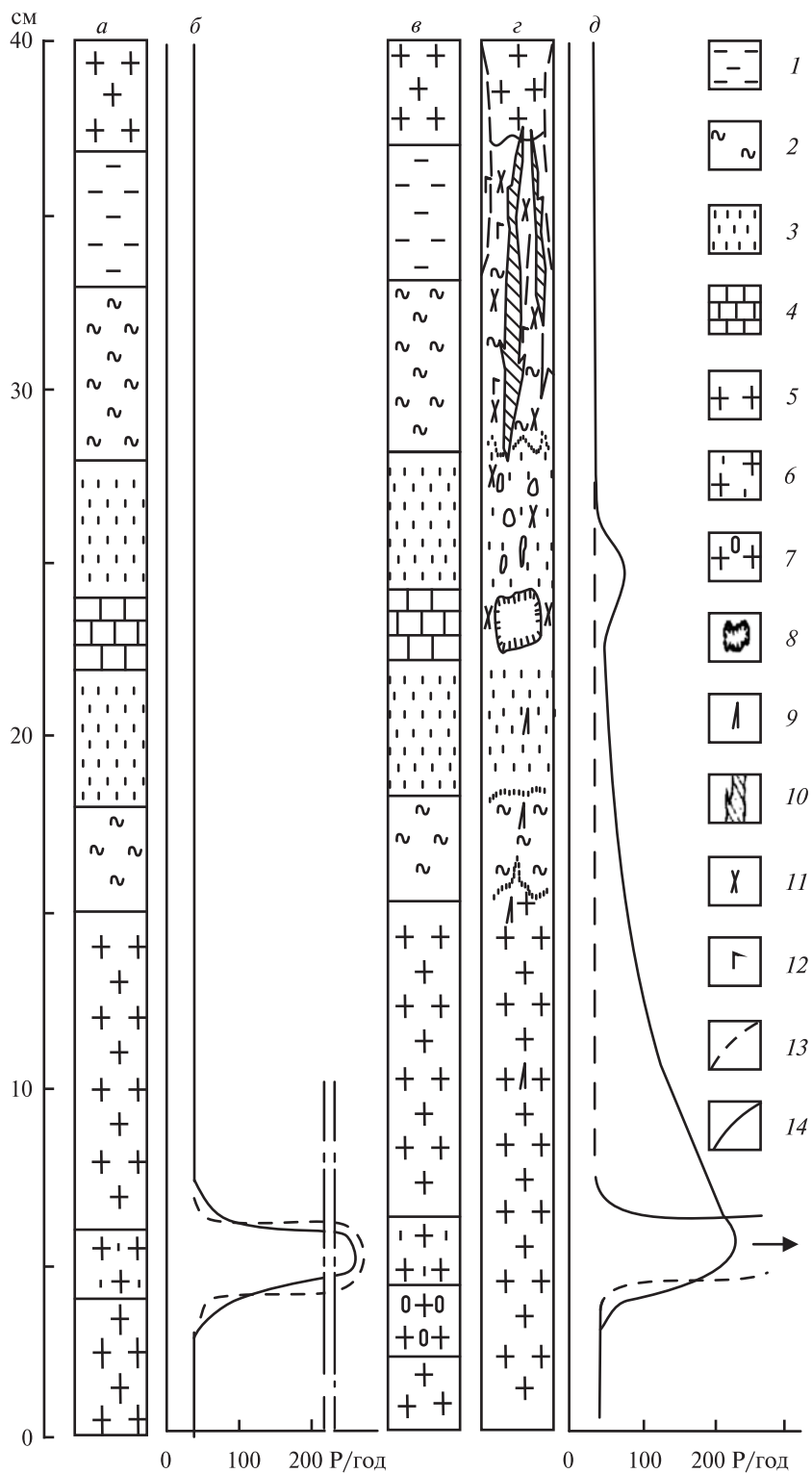
Fig. 12. Alteration of rocks and redistribution of gold in the column of rocks: *a, б* — test with water fluid (*a* — column of rocks, *б* — radioactivity of rocks of column); *в-д* — test with admixture of NaCl (column of rocks before (*в*) and after (*г*) test, *д* — radioactivity of rocks of column) [3]. 1 — greenly-gray clay shale; 2 — black coaly shale; 3 — greenly-gray medium-granular polymictic sandstone; 4 — limestone; 5 — granite; 6 — granite with ¹⁹⁵Au; 7 — granite with admixture of NaCl; 8 — cavity with acicular crystals quartz; 9 — albitization; 10 — quartz vein; 11 — silicification; 12 — graphitization; 13, 14 — radioactivity of rocks before (13) and after (14) test

Мінімальна температура гомогенізації цих включень становить 130 °С (в рідку фазу), а максимальна — 245 °С (в рідку фазу). Їхнє утворення можна пояснити тим, що межа між мінералом-господарем і мінералом-твердим включенням є найсприятливішою для активного проникнення розчинів численними тріщинами у кварці. У менш тріщинуватих зонах облямівка з флюїдних включень навколо твердих включень незначна або відсутня.

Здебільшого ці включення утворюються навколо зерен біотиту (бурий колір, в окремих

випадках чітко видно шестигранники), оскільки він, порівняно з іншими мінералами твердих включень, легше розчиняється активними флюїдами і заміщується кварцом.

Цей процес й спричинює утворення описаних кільцеподібних флюїдних включень.



Мінімальна температура гомогенізації флюїдних включень, розташованих у площині тріщин, становить 130–140 °С (в рідку фазу), а максимальна — 310–322 °С (в рідку фазу).

Часто у досліджуваному кварці спостерігаються явища перенаповнення включень, які дозволяють схарактеризувати стадійність мінералогенезу. Варто зазначити, що саме по-

глиблений аналіз кристалогенетичних особливостей включень та способу захоплення їхнього вмісту дає змогу встановити і дослідити розтріскані чи розшнуровані включення, а також ідентифікувати включення гомо- та гетерогенного захоплення [4].

Насичення кальциту флюїдними включеннями середнє. Це здебільшого газОВО-рідкі,

Таблиця 2. Склад летких компонентів флюїдних включень у мінералах Капустянського золоторудного прояву за даними
Table 2. Composition of volatile components of fluid inclusions of the Kapustyanka gold ore occurrence showing (by the data of

Номер зразка	Місце відбору зразка		Коротка характеристика зразка	Мінерал		
	свердловина	глибина, м			CO ₂	
2064-01	1	270,5	Кварцова брекчія, кристалосланець	Кварц (без Au)	24,6	23,000
2065-01	2	162,0	Кварцове виділення, кристалосланець піроксен-плагіоклазовий	Кварц (Au — 10 мг)	76,9	206,000
2066-01	2	188,8	Кварцовий прожилок, метасоматит гранат-піроксеновий	Кварц (Au — 10 мг)	43,9	47,000
2067-01	2	246,5	Кварцові виділення, граніт пегматоїдний	Кварц (без Au)	71,5	32,500
	2			Польовий шпат	100,0	164,800
	2			Гранат	85,7	24,800
2068-01	2	367,0	Кварцовий прожилок, кристалосланець амфібол-плагіоклазовий зі слідами метасоматозу	Кварц (Au — 30 мг)	39,1	72,200
2072-01	3	287,1	Польовошпатове виділення з сульфідами, мігматит по біотитовому гнейсу	Польовий шпат	12,1	0,240
2073-01	3	333,3	Інтенсивно катаклазований прожилок кварцу, мігматит гранат-біотит-графітовий	Кварц	21,2	3,000
2069-01	3	374,5	Польовошпат-кварцовий прожилок, кристалосланець піроксен-плагіоклаз-амфіболовий	Кварц (Au — 10 мг)	83,5	55,600
2071-01	3	377,8	Виділення кварцу, мігматит мілонізований	Кварц	93,3	143,600
2079-01	5	163,5	Польовошпат-кварцовий прожилок, гнейс піроксен-гранат-біотитовий	"	72,9	86,666
	5			Гранат	90,6	88,800
2077-01	6	245,6	Прожилки кварцу, кристалосланець амфібол-піроксен-біотитовий	Кварц	90,7	124,000
2075-01	7	129,8	Кальцитовий прожилок, кристалосланець амфіболовий	Кальцит	39,1	2,050

Примітка. ¹ — аналітик Б.Е. Сахно (часопролітний мас-спектрометр МСХ-3А (1–200 а. о. м.)); ² — пробу роздавлення у спеціально сконструйованій ступці, перед аналізом напускну систему мас-спектрометра вакуумували центрації летких компонентів подрібнену у напускній системі мас-спектрометра пробу просівали через 0,25 мм ⁴ — ΔP — відносна газонасиченість (приріст тиску у напускній системі мас-спектрометра, що створюється у під час подрібнення проби мінералу (порівняно із залишковим (фонним) тиском порядку $1 \cdot 10^{-3}$ Па) і може бути C_{H_2O} — відносна газонасиченість (відсотковий вміст пари води у загальному об'ємі вивільнених летких компонентів).

вторинні включення видовженої форми, наповнення яких коливається від 70 до 90 % (табл. 1). Включення розташовані вздовж тріщин або ж у площинах спайності. Розмір включень незначний, хоча окремі з них досягають ~0,01 мм. Мінімальна температура гомогенізації включень складає 130, а максимальна досягає 235 °С.

мас-спектрометричного хімічного аналізу¹⁾
mass-spectrometrical chemical analysis¹⁾

Компоненти: об'ємна частка, % Концентрація, $n \cdot 10^{-6}$ г/г проби ²⁾		Сумарна концентрація, $n \cdot 10^{-6}$ г/г проби ³⁾	Відносна газонаси- ченість ΔP , Па ⁴⁾	Водонасиче- ність C_{H_2O} , об. % ⁵⁾
N ₂	CH ₄			
75,4 135,000	—	158,000	2,33	—
23,1 12,000	—	218,000	2,27	—
40,1 24,500	16,0 2,200	73,200	1,70	10,0
24,1 2,300	4,4 0,042	34,842	0,87	54,0
—	—	164,800	1,84	29,3
14,3 0,440	—	25,240	0,27	—
27,7 23,900	33,2 20,000	116,100	2,80	—
87,9 8,000	—	8,240	0,80	83,7
11,4 0,530	67,4 11,000	14,530	1,87	66,3
16,5 1,400	—	57,000	1,13	44,2
6,7 0,440	—	144,040	2,13	39,4
27,1 7,333	—	93,999	0,75	—
9,4 0,560	—	89,360	0,83	—
9,3 0,840	—	124,840	1,20	—
49,7 2,150	11,2 0,050	4,250	0,17	49,4

наважкою 200 мг фракції +1 –2 подрібнювали шляхом до величин порядку $1 \cdot 10^{-3}$ Па; ³⁾ — для визначення кон-систо і результати відносили до просяної частини наважки; результати вивільнення летких компонентів з включень порівняльною величиною для однакових наважок); ⁵⁾ — У зразках 2064-01, 2068-01, 2079-01 виявлено сліди аргону.

В зернах *гранату* флюїдні включення розташовані у площинах тріщин, останні зосереджені в зонах, що межують з кварцом. Це вторинні, різнонаповнені включення видовженої форми, здебільшого газів.

У *польовому шпаті* флюїдні включення знаходяться у площині спайності та розташовані вздовж тріщин. Незначний розмір включень (~ 0,001 мм і менше) та присутність непрозорих помутнілих ділянок, пов'язаних з початковими стадіями зміни польового шпату та розвитком пелітової речовини, істотно ускладнюють (фактично унеможливають) виконання мікроскопічних спостережень і термометричних досліджень.

За допомогою *мас-спектрометричного хімічного* дослідження встановлено, що у складі летких компонентів більшості включень у кварці Капустянського рудопрояву (табл. 2) домінує CO₂, а також зафіксовано N₂, CH₄, у низці випадків виявлено пару води та сліди Ag.

Високі концентрації діоксиду вуглецю при-таманні зразкам з рудоносних ділянок. Характерно, що золотовмісними є переважно кварцові прожилки та виділення у кристалосланцях із вмістом піроксену. Водночас високі концентрації CO₂ у мінералах граніту не засвідчують присутності золота. Так само не встановлено золота й у кварцових прожилках з мігматитів, хоча у деяких з них зафіксована значна концентрація CO₂.

Для рудоносного кварцу характерні також високі показники відносної газонасиченості включень (ΔP), що коливаються у межах 1,13–2,80 Па (порівняно з залишковим тиском порядку $1 \cdot 10^{-3}$ Па у напускній системі мас-спектрометра МСХ-3А), і є мірою величини газонасиченості мінералоутворювального флюїду.

У складі летких компонентів включень у кварці (зр. 2064-01, 2068-01) виявлено сліди Ag, що пояснюється присутністю атмосферного повітря, оскільки інтенсивність мас-спектрометричних піків Ag пропорційна інтенсивності піків N₂. Можливо, Ag присутній і в інших азотовмісних зразках, але його мала кількість є поза межами чутливості приладу.

Вивчення вмісту летких компонентів та визначення їхньої відносної газонасиченості у кварцових прожилках та виділеннях у кристалосланцях Капустянського рудопрояву (св. 2, 3, 5) можна використовувати з прогнозно-пошуковою метою.

Саме високі концентрації діоксиду вуглецю у включеннях в жильному кварці разом із значною величиною відносної газонасиченості включень слід вважати показником збагачення кварцу корисним компонентом — золотом, а отже показником його рудоносності. Це складає передумови можливого застосування у межах Капустянського рудопояву, як і інших рудопоявів зон ТМА південно-західної частини УЩ, нової технології локального прогнозування збагачених ділянок золоторудних полів [21]: знаходження локального поля підвищеної золотоносності підтверджується наявністю та зміною у пробах позитивних аномалій різнотипності фазового складу та газонасиченості флюїдних включень у мінералах — супутниках золота.

За даними *аналізу водних витяжок* із включень у кварці рудної стадії мінералоутворення, тобто продуктивних для золота парагенних асоціацій Ахтівського золоторудного прояву, розчини під час їхнього формування були лужними (рН витяжки 7,5—8,6 [1] чи 7,8—9,1 [15]). Загалом рудоносна стадія характеризується гідрокарбонатно-хлоридно-натрій-калієвим типом розчинів, пострудна — гідрокарбонатно-сульфатно-калій-натрієвим.

Обговорення результатів. З інтерпретації даних лабораторних термометричних і геохімічних досліджень флюїдних включень золотоносних парагенезів Капустянського рудопояву випливає, що типоморфною особливістю рудоносного кварцу є наявність у ньому включень гетерогенного походження як наслідку гетерогенного стану флюїдного середовища його кристалізації та включень з високим вмістом рідкого CO_2 , а оптимальними параметрами продуктивного мінералогенезу слід вважати інтервал температури 330—200 °С і лужний склад розчинів з перевагою іонів натрію і хлору у водній та діоксиду вуглецю — у газовій складовій.

Як показали експерименти [3], саме у такому інтервалі температури і вище в системах з хлоридним складом діоксидвуглецево-водних флюїдів і здійснюється перерозподіл золота в колонці гірських порід у термоградієнтних умовах: мобілізація елемента в її високотемпературній і перевідкладення у низькотемпературній частинах (рис. 12).

Це вказує на можливість нагромадження золота як у процесі метаморфізму первинно осадових порід за *PT* параметрів фації зелених

сланців, так і його перерозподілові під впливом глибинних чинників. Принципова можливість переносу золота в хлоридній формі у високотемпературній області в кислому середовищі за умов високої активності хлор-іона доведена результатами термодинамічного аналізу [17], зокрема, за значної концентрації Cl^- переважає роль дихлоркомплексів [19], тому ефективними переносниками золота будуть утворення типу AuCl_2 , AuCl_4 [7]. Це підтвердилося й зіставленням [17] виявлених термодинамічних особливостей з даними щодо складу флюїдних включень у кварці рудних та пострудних родовищ золото-кварцової формації з низьким вмістом сульфідів.

Власне до такого типу належить досліджений нами Капустянський рудопояв, тому враховуючи наведені у [17] результати термодинамічних і фізико-хімічних розрахунків, характер еволюції золоторозподільного процесу на ньому можна уявити таким чином.

У наведеному інтервалі температури явища катаклазу у кварці і кальциті прожилкових утворень не проявилися чи вони незначні, відзначено лише тріщинуватість, хоча вмісні породи належать до гнейсо-гранулітового комплексу. Це свідчить про переважно гідротермально-метасоматичне походження кварцово-жильних тіл і накладений характер золото-вмісних парагенезів. Саме на ділянках прояву регресивного метаморфізму за *PT* параметрів фації зелених сланців проходила мобілізація золота з первинних порід і наступне нагромадження у гідротермально-метасоматичних утвореннях. Підтверджується важлива роль накладених процесів розчинення, перекристалізації, перевідкладення, твердофазних перетворень, якими визначалося [16] формування високорентабельних полігенних родовищ золота.

Отримані нами результати вивчення включень у мінералах з врахуванням даних [17, 19] вказують на такі ефективні чинники рудоутворення у межах Капустянського рудопояву, як спад температури, пониження активності хлор-іона і підвищення лужності розчинів. Це разом з нерівноважністю середовища мінералоутворення, зумовленою гетерогенізацією діоксидвуглецево-водних флюїдів з відокремленням газової фази, та зміною окисно-відновного потенціалу системи під час переходу від кислих до лужних умов сприяло розпадові комплексних хлорауратних сполук типу AuCl_2 ,

AuCl₄ [7] і переважному формуванню золотомісних парагенезів у період тектономагматичної та тектонометасоматичної активізації регіону.

Висновки. За даними дослідження мінеральних парагенезів і флюїдних включень у мінералах Капустянського кварцово-жильного рудопрояву генетичні особливості процесу рудовідкладення і утворення золота виявилися такими: 1. Оптимальною температурою продуктивного мінералогенезу є інтервал 330—200 °С, що свідчить про середньотемпературні гідротермально-метасоматичні умови формування рудоносного кварцу.

2. Наявність сімей включень гетерогенного походження вказує на нерівноважність середовища мінералоутворення, зумовлену гетерогенізацією діоксидвуглецево-водних флюїдів з відокремленням газової фази.

3. Утворення (виділення) акцесорного золота в процесі рудовідкладення відбувалося, імовірно, внаслідок розпаду комплексних хлоридних сполук, якому сприяла гетерогенізація діоксидвуглецево-водних флюїдів разом зі спадом температури розчинів, підвищенням їхньої лужності та зниженням активності хлор-іона.

4. Високі концентрації діоксиду вуглецю у включеннях разом із значною величиною їхньої відносної газонасиченості фіксують збагачення кварцу корисним компонентом — золотом, а, отже, є показником його рудоносності. Це складає основу можливого застосування у межах Капустянського кварцово-жильного рудопрояву, як і інших рудопоявів південно-західної частини УЩ, нової технології локального прогнозування збагачених ділянок золоторудних полів.

1. *Винар О.М., Калюжний В.А., Наушко І.М., Матвієнко О.Д.* Мінералоутворюючі флюїди постмагматичних утворень гранітоїдів Українського щита. — К. : Наук. думка, 1987. — 172 с.
2. *Винар О.Н., Носырев И.В., Робул В.М. и др.* Минеральные ассоциации и последовательность формирования рудных проявлений зон активизации юга Украинского щита : Тез. докл. 6 съезда Всесоюз. минерал. о-ва. — Л. : Наука, 1981. — С. 117—118.
3. *Глюк Д.С.* О перераспределении золота в колонке горных пород в термоградиентных условиях // Докл. АН СССР. — 1986. — **286**, № 5. — С. 1232—1235.
4. *Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін.* Металічні і неметалічні корисні копалини України. — К.-Львів : Центр Європи, 2006. — Т. I : Металічні корисні копалини. — 785 с.

5. *Кадурич В.Н.* Минералогия гидротермальных рудопоявлений зон тектоно-магматической активизации южной части Кировоградского блока Украинского щита : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Киев, 1980. — 26 с.
6. *Калюжний В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. — Киев : Наук. думка, 1982. — 240 с.
7. *Комов Л.И.* Геохимические ассоциации элементов на месторождениях золота // Геол. журн. — 1992. — № 4. — С. 13—21.
8. *Коржинский Д.С.* Теория метасоматической зональности. — 2-е изд., доп. — М. : Наука, 1982. — 104 с.
9. *Кузнецов Ю.А., Сиденко О.Г., Ольховський А.И.* Минералогические особенности Нижнего Побужья // Минералогические критерии поисков редких и цветных металлов в пределах Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1977. — С. 82—85.
10. *Наушко В.В.* Тектоно-магматическая активизация юго-западной части Восточно-Европейской платформы и смежных геосинклиналиных систем и некоторые черты их эндогенной металлогении / АН УССР. Ин-т геохимии и физики минералов. — Препр. — Киев, 1974. — 66 с.
11. *Наушко І.М.* Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів) : Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. — Львів, 2006. — 52 с.
12. *Наушко І., Ковалишин З., Сава Н. та ін.* Термометрична і геохімічна характеристика флюїдів мінералоутворювального середовища кварцово-жильних рудопоявів південної частини Кіровоградського блоку Українського щита // Пр. наук. т-ва імені Шевченка. — Львів, 2007. — Т. XIX : Геологія. — С. 136—146.
13. *Наушко І.М., Ковалишин З.І., Сава Н.Г. та ін.* До характеристики мінералотворних флюїдів кварцово-жильних рудопоявів південної частини Кіровоградського блоку Українського щита // Наукові основи прогнозування, пошуків і оцінки родовищ золота : Матеріали міжнар. наук. конф. — Львів : Видавн. центр ЛДУ імені Івана Франка, 1999. — С. 89—91.
14. *Наушко І.М., Сава Н.Г., Теленко Л.Ф.* Сравнительная характеристика минералообразующих флюидов кварцево-жильных золоторудных проявлений юго-западной части Кировоградского блока Украинского щита // Материалы XIII Междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симп. *APIFIS* (Москва, 22—25 сент. 2008 г.). — М. : ИГЕМ РАН, 2008. — Т. 2. — С. 83—87.
15. *Носырев И.В., Кадурич В.Н., Петрова Е.С., Чепижко А.В.* Минералогическая характеристика золоторудных проявлений областей тектоно-магматической активизации Украинского щита // Наукові основи прогнозування пошуків та оцінки родовищ золота : Матеріали міжнар. наук. конф. — Львів : Видавн. центр ЛДУ імені Івана Франка, 1999. — С. 98—99.
16. *Павлишин В.И.* О полигенетическом характере золотых оруденений // Минерал. журн. — 1999. — **21**, № 4. — С. 116—117.

17. Пальмова Л.Г., Копнева Л.А., Иванов П.А., Прусков А.М. Физико-химическая характеристика золотоносных растворов // Теория и практика термобарогеохимии. — М. : Наука, 1978. — С. 101—106.
18. Петрова О., Кадурін В., Шашорін Ю. Акцесорні мінерали порід бузької серії Капустянської золоторудної площі // Геологічна наука та освіта в Україні на межі тисячоліть : стан, проблеми, перспективи : Матеріали наук. конф., присвяченої 55-річчю геол. фак. Львів. нац. ун-ту імені Івана Франка. — Львів : Вид-во Львів. нац. ун-ту, 2000. — С. 109—110.
19. Рыженко Б.Н. Термодинамика равновесий в гидротермальных растворах. — М. : Наука, 1981. — 192 с.
20. Чебаненко І.І., Шестопалов В.М., Багрій І.Д., Палій В.М. Розломні зони підвищеної проникності гірських порід та їх значення для виявлення екологонебезпечних ділянок // Доп. НАН України. — 2000. — № 10. — С. 136—139.
21. Svoren' J.M., Naumko I.M., Kovalyshyn Z.I. et al. New technology of local forecast of enriched areas of gold ore fields // Наукові основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота : Матеріали міжнар. наук. конф. — Львів : Видавн. центр ЛДУ імені Івана Франка, 1999. — С. 120—121.

Надійшла 25.01.2011

*И.М. Наумко, Н.Г. Сава, Б.Э. Сахно,
Л.Ф. Телепко, Ю.Н. Шашорин*

**МИНЕРАЛОГЕ-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЗОЛОТОНОСНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ
КАПУСТЯНСКОГО КВАРЦЕВО-ЖИЛЬНОГО
РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ
ЧАСТЬ УКРАИНСКОГО ЩИТА)**

По данным исследований минерального состава и флюидных включений в минералах (кварце, кальците, полево шпате, гранате) Капустянского кварцево-жильного рудопроявления в юго-западной части Украинского щита установлены температурный режим и состав флюидов периода формирования Au-оруденения, что дало возможность выявить минералогенетические особенности золотоносных парагенезисов. Оптимальными параметрами продуктивного минералогенеза следует считать температуру 330—200 °С и щелочной состав растворов с преобладанием ионов натрия и хлора в водной и CO₂ — в газовой составляющей, что свидетельствует о среднетемпературных гидротермально-метасоматических условиях процесса рудогенеза. Наличие семейств включений гетерогенного происхождения свидетельствует о гетерогенизации диоксидуглеродно-водных флюидов с обособлением газовой фазы. Выделение акцессорного золота, вероятно, происходило вследствие распада комплексных хлорауратных соединений, которому содействовала гетерогенизация диоксидуглеродно-водных флюидов вместе с падением температуры растворов, повышением их щелочности и понижением активности хлор-иона. Подтверждена важная роль

наложенных процессов растворения, перекристаллизации, переотложения, твердофазных преобразований, которыми определялось формирование высоко-рентабельных полигенных месторождений золота. Типоморфной особенностью рудоносного кварца является наличие в нем включений гетерогенного происхождения и сложных включений диоксида углерода, что предложено использовать с прогнозно-поисковой целью. Именно высокая концентрация CO₂ во включениях вместе со значительными величинами их относительной газонасыщенности фиксируют обогащение кварца полезным компонентом — золотом, выступая таким образом показателем его рудоносности. Это составляет предпосылки использования в пределах Капустянского рудопроявления новой технологии локального прогнозирования обогащенных участков золоторудных полей.

*I.M. Naumko, N.H. Sava, B.E. Sakhno, L.F. Telepko,
Yu.M. Shashorin*

MINERALOGENETIC FEATURES OF GOLD-BEARING PARAGENESES OF THE KAPUSTYANKA QUARTZ-VEIN ORE OCCURRENCE (SOUTH-WESTERN PART OF THE UKRAINIAN SHIELD)

According to the data of mineral composition and fluid inclusions in minerals (quartz, calcite, feldspar, garnet) of the Kapustyanka quartz-vein ore occurrence in the southwestern part of the Ukrainian Shield, it was possible to determine the temperature regime and composition of fluids of the period of Au-mineralization forming, that allowed us to reconstruct mineralogetic features of gold-bearing parageneses. The temperature of 330—200 °C and alkaline composition of solutions with prevalence of sodium and chlorine ions in aqueous constituent and CO₂ in the gas one, that testifies to average temperature hydrothermal-metasomatic conditions of minerogenesis, should be regarded as optimal parameters of the ore genesis process. The availability of inclusions of heterogeneous origin indicates the heterogeneity of carbon-dioxide aqueous fluids with setting apart of the gas phase. Separation of accessory gold probably occurred as a result of decay of complex chlorine-aurated compounds stimulated by the process of heterogeneity together with a decrease of temperature and rise in alkalinity of solutions and a decrease of chlorine-ions activity in them. An important role of superimposed processes of dissolution, recrystallization, redeposition, solid-phase transformations in the formation of highly profitable polygenous gold fields was confirmed. The availability of inclusions of heterogeneous origin in the ore-bearing quartz and composite inclusions of carbon dioxide in it is a typomorphic feature which was proposed to be used with the purpose of prediction and prospecting. Just high concentrations of CO₂ in inclusions together with considerable values of their gas-saturation fix the enrichment of quartz with a useful component — gold, and so they are indicators of ore occurrence in it. This forms preconditions for application of the new technology of local prediction of enriched areas of gold-ore fields within the bounds of the Kapustyanka ore occurrence.