УДК 549.283 (477)

С.М. Бондаренко

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

САМОРОДНЕ ЗОЛОТО В РУДАХ Au-As ТИПУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

У золоторудних проявах мінералізації Au-As типу західної та центральної частин Українського щита встановлено характерні ознаки самородного золота, які стосуються його гранулометрії, морфології та хімічного складу. Самородне золото фіксується переважно у вигляді ксеноморфних тонкодисперсних (5—20 μm) включень в арсенопіриті, льолінгіті, рідше в нікеліні. Особливо важливою є тенденція залежності проби самородного золота від мінерал-матриці, що свідчить про специфічні співвідношення між золотом та його мінералами-носіями. У рудах Au-As типу спостерігається бімодальний характер розподілення проби золота, що зумовлено перевагою "арсенопіритового" (875 ‰) та "кварцового" золота (930 ‰). За даними мікрозондового аналізу, характерні елементи-домішки в золоті — Cu, Bi, Sb, Fe, As, S. Розглянуто проблему "невидимого" золота в арсенопіриті. Зроблено висновки щодо основних чинників, що сприяють утворенню в арсенопіриті тонкодисперсного золота. Перевага надається не ізоморфному входженню його в структуру мінералу, а наявності механічних включень або атомарному розсіюванню в дислокаціях і мікротріщинах. Стверджується, що переважання в рудах тонкодисперсного золота є показником відносно глибокої ерозії родовища, що важливо для виконання генетичних побудов та визначення перспектив конкретного золоторудного об'єкту.

Ключові слова: самородне золото, арсенопірит, золото-арсеновий тип, гранулометрія, морфологія, хімічний склад, мінеральні асоціації.

Вступ. Золото-арсеновий (Au-As тип) мінералізації відіграє значну роль у загальному балансі рудного золота в ендогенних рудопроявах та родовищах Українського щита (УЩ), які поширені головним чином серед протерозойських високометаморфізованих вулканогенно-осадових товщ Волинського, Дністровсько-Бузького та Інгульського мегаблоків. Подекуди цей тип фіксується в Криворізько-Кременчуцькій зоні, а також в архейських зеленокам'яних структурах Середньопридніпровського і Приазовського мегаблоків. Au-As тип мінералізації характеризується невисоким (1—4 г/т) вмістом золота, в окремих пробах до 10—50. Геохімічний фон руд, окрім арсену, визначають Bi, Te, B, Sb, S, C (графітовий). Au-As тип характеризується специфічними умовами локалізації та мінеральним складом [3, 4]. Виділяються три стадії золотовмісного рудного мінералоутворення, які характеризуються стійкими мінеральними комплексами: дорудна (оксидна) представлена ільменітом; власне золоторудна (продуктивна) з асоціаціями самородного золота з арсенідами і сульфоарсенідами заліза, сульфідами, графітом, самородним вісмутом та телуридами; пострудна з розвитком деяких сульфідів, карбонатів та гідроксидів заліза та титану.

Самородне золото в рудах цього типу є практично єдиною мінеральною формою благородного металу, якщо не враховувати поодинокі знахідки мальдоніту (Au_2Bi) та тетрааурикуприду (AuCu). Мальдоніт присутній у рудах Губівського родовища, але його зв'язок з арсенопіритом досить неоднозначний [14]. Тетрааурикуприд — надзвичайно рідкісний мінерал золота, вивчений за допомогою мікрозонда в рудах Стриївського рудопрояву [5]. Мінерал утворює зростки з самородним золотом та хедлеїтом в арсенопіриті.

Самородне золото в багатьох випадках не є повністю відокремленою мінеральною фазою, а включено в інші мінерали (арсеніди, сульфо-

© С.М. БОНДАРЕНКО, 2015

арсеніди, сульфіди, кварц та породоутворювальні мінерали) і тому на його типоморфні властивості часто впливають саме ці мінерали. Як правило, золото знаходиться в складних і досить нечітких співвідношеннях з мінералом-матрицею. Просторово, як кожне включення, золото може мати прото-, син- або епігенетичну природу, тобто може бути захоплене матрицею під час росту, з'являтися під час сумісної кристалізації або ж просто накладатися. Часто мінерал входить до складу полімінеральних агрегатів і знаходиться в зростках з парагенетичними йому телуридами вісмуту, свинцю, самородним вісмутом та іншими мінералами.

Відомості про типові ознаки самородного золота, а також характерні асоціації можна застосовувати для з'ясування не лише генетичної природи мінералізації Au-As типу, але й для розв'язання проблем пошукової та технологічної мінералогії.

Зразки та методи досліджень. У роботі використані результати вивчення кам'яного матеріалу, зібраного автором під час виконання планових науково-дослідних робіт Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України. Досліджено здебільшого керновий матеріал свердловин, якими розкрито розрізи золоторудних родовищ, проявів і точок мінералізації. Через дрібний та ультрадрібний розмір золотин вивчати властивості золота було важко. Однак завдяки застосуванню сучасних мікрорентгено- та електронноскопічних методів вдалося отримати оригінальну інформацію про його склад, внутрішню будову та морфологію. Частина золота може належати до узагальнено названого "невидимого" золота, що міститься в арсенопіриті у вигляді дисперсних включень розміром менше ніж 1000 Å і практично не фіксується оптичним і сканувальним електронним мікроскопами. Дослідження форм виділення самородного золота та встановлення вмісної мінеральної матриці проведено в ІГМР НАН України за допомогою растрового електронного мікроскопа *JSM*-6700*F* (фірми *JEOL*). Дані про хімічний склад самородного золота отримано за допомогою мікрозондових приладів *JXA*-5 (ІГМР НАН України), *JCXA*-733 та *JXA*-8200 (Технічний центр НАН України) і *Cameca SX*-100 (Технічний Університет, м. Клаусшталь, Німеччина). Для вивчення самородного золота та рудних мінералів застосовано і мінераграфічні методи.

Результати досліджень і обговорення. *Розмір зерен золота*. У проявах ендогенної мінералізації Au-As типу західної частини УЩ виділення золота дуже розрізняються за розміром: від тонкодисперсних (перші мікрони, воно переважає) до відносно великих (0,2 мм), середні значення — 10—30 мкм в поперечнику. Значна частина тонкодисперсного золота знаходиться у вигляді вростків у матриці інших мінералів, переважно — включень в арсенопіриті та льолінгіті. У рудопроявах Ярунської площі спостерігається стійка тенденція до укрупнення саме "арсенопіритового" золота, тоді як в глибокоеродованих рудопроявах Середнього Побужжя розмір золота в арсенідах зменшується до 2—20 мкм. Відносно великі виділення золота частіше спостерігаються по периферії зерен арсенопіриту (рис. 1). Переважання в рудах тонкодисперсного золота вважають показником порівняно глибокої ерозії родовища [20]. Більше за розміром золото може утворюватися в результаті збільшення частинок "вільного" золота під час його перекристалізації від ранніх генерацій до більш пізніх [12, 20, 21]. Подібної думки дотримувався і Ю.О. Аверін [2], стверджуючи, що розмір золота в пробах одного мінерального типу підвищується стрибкоподібно по мірі росту абсолютних значень його вмісту в рудах.

Морфологія зерен золота. Морфологічні особливості самородного золота дають важливу генетичну інформацію щодо умов утворення мінералу, однак розшифровка цих даних — справа надзвичайно складна, особливо через явище морфологічної конвергенції. Це створює підстави для певних застережень під час інтерпретації поширеності тих чи інших форм виділення золота. Нез'ясованими залишаються умови, які спричиняють варіації форм самородного золота в межах окремих рудних тіл і родовищ. Золото, яке встановлено в більшості рудопроявів, — ксеноморфне. Самородне золото трапляється в рудах Au-As типу переважно у вигляді тонкодисперсних (5—20 мкм) включень в арсенідах та сульфоарсенідах заліза, рідше нікелю. Як показали мінераграфічні дослідження, кристалізація золота по відношенню до арсенопіриту та льолінгіту відбувалась з деяким запізненням, про що свідчать численні факти часткової цементації золотом міжгранулярного простору в роздробленому арсенопіриті, а також заповнення золотом порожнин та мікротріщин у мінералах-господарях (рис. 1, *c*,

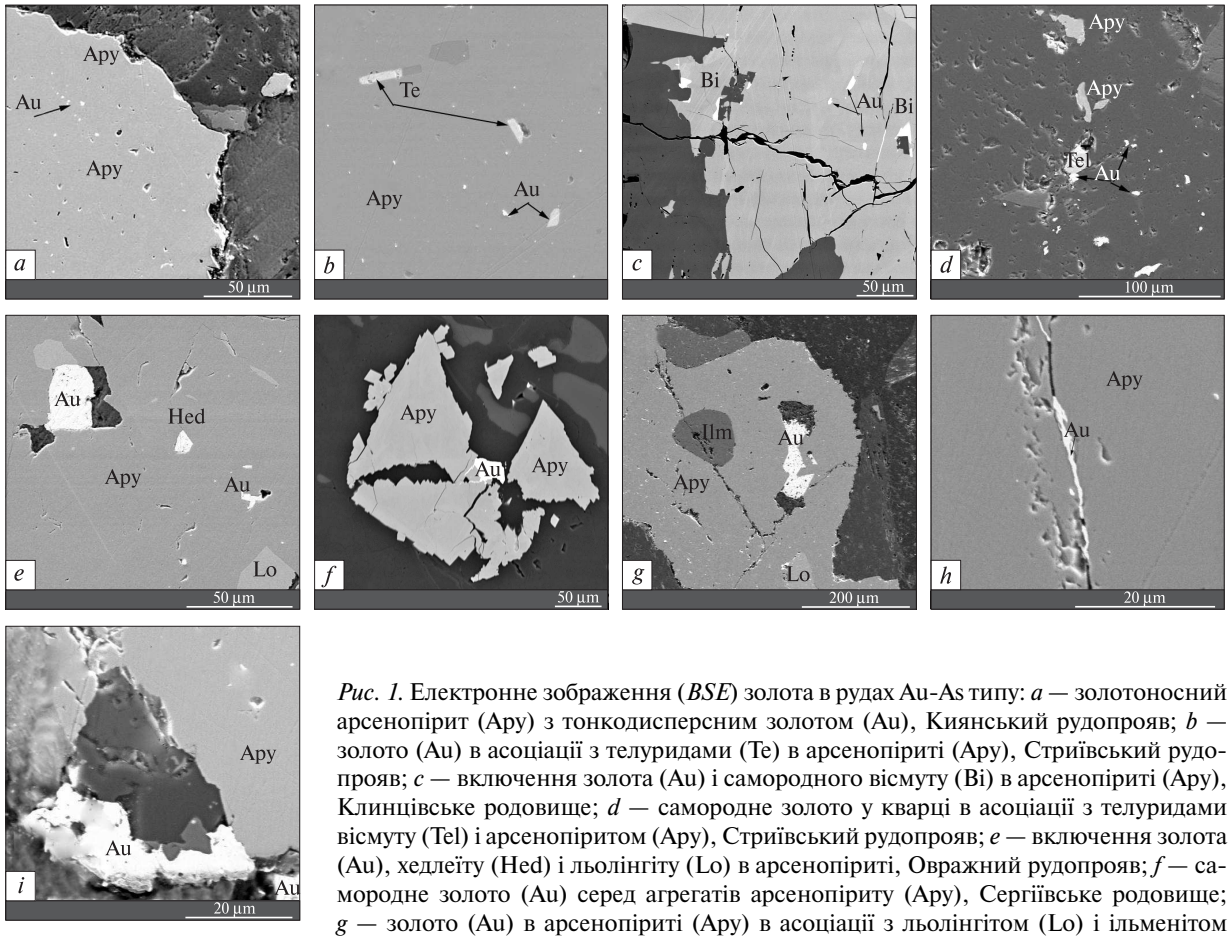

Рис. 1. Електронне зображення (*BSE*) золота в рудах Au-As типу: *a* — золотоносний арсенопірит (Apy) з тонкодисперсним золотом (Au), Киянський рудопрояв; *b* — золото (Au) в асоціації з телуридами (Te) в арсенопіриті (Apy), Стриївський рудопрояв; *c* — включення золота (Au) і самородного вісмуту (Bi) в арсенопіриті (Apy), Клинцівське родовище; *d* — самородне золото у кварці в асоціації з телуридами вісмуту (Tel) і арсенопіритом (Apy), Стриївський рудопрояв; *e* — включення золота (Au), хедлеїту (Hed) і льолінгіту (Lo) в арсенопіриті, Овражний рудопрояв; *f* — самородне золото (Au) серед агрегатів арсенопіриту (Apy), Сергіївське родовище; *g* — золото (Au) в арсенопіриті (Apy) в асоціації з льолінгітом (Lo) і ільменітом (Ilm), Овражний рудопрояв; *h* — самородне золото (Au) виповнює мікротріщинку в арсенопіриті (Apy), Жовтянський рудопрояв; *i* — відносно велика золотина (Au) на краю зерна арсенопіриту (Apy), Стриївський рудопрояв

Fig. 1. BSE image of fine-grained gold in Au-As ore type: *a* — gold-bearing arsenopyrite (Apy) with fine-grained gold (Au), Kyianka ore-manifestation; *b* — gold (Au) in association with tellurides (Te) in arsenopyrite (Apy), Stryivka ore manifestation; *c* — inclusions of gold (Au) and native bismuth in arsenopyrite (Apy), Klintsy deposit; *d* — native gold in quartz associated with bismuth tellurides (Tel) and arsenopyrite (Apy), Stryivka ore manifestation; *e* — inclusion of gold (Au), hedleyite (Hed) and lollingite (Lo) in arsenopyrite, Ovrazhny ore manifestation; *f* — native gold (Au) among aggregates of arsenopyrite (Apy), Sergeevka ore manifestation; *g* — gold (Au) in arsenopyrite (Apy) associated with lollingite (Lo) and ilmenite (Ilm), Ovrazhne ore manifestation; *h* — native gold (Au) filling microfissure in arsenopyrite (Apy), Zhovtianka ore manifestation; *i* — relatively large gold inclusion (Au) at the margin of arsenopyrite (Apy) grain, Stryivka ore manifestation

e—h). Частина золота відкладалася безпосередньо у кварці — поблизу виділень мінералів арсену (рис. 1, *d*, *i*). Інколи ксеноморфне золото спостерігається в графіті серед породоутворювальних мінералів (рис. 1, *d*). Крім того, у Бандурківському рудопрояві золото виявлено у вигляді скупчень, що заповнюють мікротріщинки в діопсиді та флогопіті [3].

Самородне золото, досліджене під мікроскопом, за морфологічними особливостями розділено на три основні групи.

До першої групи належать подовжені агрегати, мікропрожилки, що заповнюють міжзернові пустоти, мікротріщинки та двійникові шви у мінералах-матрицях (рис. 1, *c*, *e—h*). Розмір таких золотин в Овражному та Стриївському рудопроявах в середньому становить 10—40 мкм у поперечнику.

Друга група виділень характеризується переважанням близьких до ізометричних, округлих, краплеподібних зерен, що у вигляді дрібнодиспергованих включень в асоціації з телуридами нерівномірно розпорошені в матриці арсенідів та сульфоарсенідів (рис. 1, *a—c*). Таке золото має субмікроскопічний розмір (2—20 мкм у поперечнику) і встановлено в рудах Полянецького, Овражного, Стриївського, Киянського рудопроявів.

Третя група золотин переважно тяжіє до геміідіоморфного класу утворень. У найбільших частинках спостерігаються і поліедричні ознаки. Деякі такі золотини вміщені безпосередньо в кварці та золотоносних арсенопіритах Овражного, Бандурківського, Киянського рудопроявів. Тобто золото в більшості вивчених рудопроявів є ксеноморфним і лише поодинокі золотини набувають недосконалого огранювання. Присутність геміідіоморфних утворень золота свідчить про його кристалізацію в досить неоднорідному середовищі (прожилки, зони контактів). Вважається, що золото цього морфогенетичного типу вказує на вплив інтрамінералізаційних деформацій під час кристалізації [11]. Округлі, куле- та краплеподібні форми виділень можуть виникати в результаті заповнення золотом порожнин протогазорідинних включень у кварці.

У Савранському рудопрояві спостерігається відкладення золота разом з брейтгауптитом по контуру заміщення нікеліну герсдорфітом у вигляді субмікроскопічних зерен [3].

Хімічний склад золота. Особливості хімічного складу золота, в першу чергу його проба, завжди є головним об'єктом досліджень ознак цього мінералу.

Значення проби золота в рудах Au-As типу зазнають певних коливань. Виявлено, що субмікроскопічне золото, переважно присутнє серед арсенопірит-льолінгітових агрегатів, має пробу 810—920 (таблиця, ан. 1—15, 18, 21—27, 33—38, 42, 43, 47, 48, 50—52) на відміну від золота, що трапляється у кварці — 935—980 (таблиця, ан. 39, 40, 44—46; 49). Високої проби золото було також зафіксовано в діопсидових скарнах Бандурківського рудопрояву (таблиця, ан. 16, 17). Загалом підвищена пробність золота властива рудопроявам Ярунської площі. Отже, за даними мікрозондових аналізів, значення проби золота із руд Au-As типу по родовищах та рудопроявах різні (рис. 2).

Характерними елементами-домішками в золоті Au-As типу є Cu, Bi, Sb, Fe, As, S. Впевнено можна стверджувати, що ізоморфну природу має лише мідь, а решта пов'язана з механічними мікровключеннями мінералів, зафіксованими під час електронномікроскопічних спостережень.

Мідь у золоті фіксується практично на всіх рудопроявах — від 0,01 до 1 %. Вперше нами встановлені рідкісні золото-мідні фази в Голованівському рудопрояві (таблиця, ан. 28) та траурикуприд в Стриївському рудопрояві (таблиця, ан. 43).

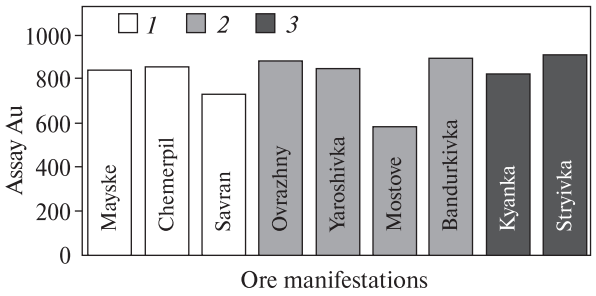

Рис. 2. Діаграма середніх значень проби золота з руд Au-As типу в різних рудопроявах УЩ. *Мегаблоки*: *1* — Дністровсько-Бузький; *2* — Інгульський; *3* — Волинський

Fig. 2. Diagram of average values of gold samples from Au-As ore type from different ore manifestations of the Ukrainian Shield. *Megablocks*: *1* — Dniester-Bug, *2* — Ingul, *3* — Volyn

Вісмут трапляється досить часто, особливо за наявності зростків та включень мінералів вісмуту — телуридів, сульфідів і самородного вісмуту. Інколи трапляється мальдоніт (таблиця, ан. 20).

Залізо, арсен, сірка постійно фіксуються у складі золота (таблиця).

На підставі більш як 400 результатів мікрозондових аналізів золота було встановлено загальну тенденцію залежності проби золота від мінералу-матриці, що свідчить про специфічні співвідношення між золотом та його мінеральними носіями (рис. 3, 4).

Так, золото в арсенідах та сульфоарсенідах має пробу 840—910, а золото у кварці високопробне (920—980) (рис. 4). Включення золота в сульфідах (пірит, сфалерит, халькопірит, борніт) мають низьку пробу і наближаються за складом до електруму [3]. Подібна мінливість пробності золота фіксується на інших родовищах: на золоторудному гіганті — родовищі Муруntау — золото з високою пробою (900—950) трапляється переважно в малосульфідному жильному кварці, а в хлорит-серицит-альбітових метасоматитах з арсенопіритом проба золота падає до 850—900 [9].

Проблема "невидимого" золота. За низького вмісту золота, що властиво переважній більшості рудопроявів УЩ, мінеральну форму металу встановити однозначно буває досить складно і тому його часто автоматично переводили в ранг "невидимого". Причому частка такого золота в рудах Au-As типу на багатьох родовищах досить значна. Для вибору оптимальних

Результати мікрозондових аналізів самородного золота із руд Au-As типу, мас. %
Results of microprobe analysis of native gold from Au-As ore type, weight %

Fe	Ni	Co	Au	Ag	Cu	Bi	Sb	Te	S	As	Σ	Проба, ‰
						Овражний						
0,46	0,00	0,01	89,99	10,25	0,02	0,03	0,00	0,00	007	0,72	101,55	898
0,04	0,00	0,00	87,31	11,84	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,35	99,56	881
0,08	0,01	0,01	87,13	12,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	99,50	878
0,26	0,00	0,04	90,62	8,89	0,02	0,08	0,01	0,07	0,17	0,20	100,36	911
0,02	0,00	0,00	77,61	20,73	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	98,41	789
1,91	0,02	0,01	84,35	9,82	0,01	1,36	0,31	—	0,48	1,56	99,83	896
0,07	0,00	0,00	66,24	33,45	0,00	0,37	0,00	—	—	—	100,13	664
0,04	0,00	0,00	78,36	20,25	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	98,73	795
0,55	0,02	0,00	86,87	11,31	0,13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,69	99,81	885
						Ярошівський						
1,29	0,00	0,00	79,43	13,98	0,04	1,47	0,00	0,13	0,21	1,91	98,46	850
0,67	0,00	0,00	80,74	15,06	0,09	0,42	0,00	0,08	0,30	1,26	98,62	843
						Мостовий						
0,00	0,00	0,00	62,81	35,30	0,01	0,32	0,00	0,00	0,00	0,12	98,56	640
0,46	0,00	0,01	56,22	40,27	0,00	0,41	0,02	0,00	0,03	0,35	97,77	583
—	—	—	52,54	43,18	0,00	—	—	—	—	—	95,72	527
—	—	—	55,05	42,98	0,01	—	—	—	—	—	98,04	562
						Бандурківський						
0,10	0,02	0,02	94,52	2,12	0,04	0,40	—	—	0,00	0,01	97,23	978
0,01	0,00	0,01	92,55	7,15	0,01	0,19	—	—	0,00	0,08	100,00	928
1,05	0,04	0,05	76,24	16,92	0,00	0,00	0,12	—	0,34	1,40	97,06	818
0,21	0,00	0,00	78,81	18,03	0,00	0,00	0,03	—	0,02	0,23	97,33	813
0,28	0,00	0,00	63,94	3,07	0,03	30,21	0,05	0,00	0,00	0,00	98,48	624
						Майське						
0,21	0,00	0,00	82,32	15,95	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,36	98,84	837
0,69	0,00	0,00	81,16	15,20	0,05	0,00	0,00	0,00	—	0,71	97,81	842
0,29	0,00	0,00	77,85	16,77	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,08	94,99	822
0,02	0,00	0,00	86,09	12,93	0,00	сл	0,00	0,00	—	0,13	99,17	869
0,14	0,00	0,00	87,10	12,74	0,00	0,00	0,00	0,00	—	сл	99,98	872
						Чемерпільський						
0,00	0,00	0,00	86,00	12,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	98,10	851
0,16	0,00	0,00	84,37	13,84	0,00	0,00	0,00	0,05	0,19	0,48	99,09	859
						Голованівський						
0,00	0,00	0,00	66,90	7,59	25,20	0,00	—	—	—	—	99,69	898
						Демів'ярський						
0,00	0,00	0,00	99,80	0,02	0,00	0,00	—	—	—	—	99,82	999
0,00	0,00	0,00	98,01	0,00	0,61	0,00	—	—	—	—	98,62	985
0,00	0,00	0,00	95,30	0,00	3,70	0,00	—	—	—	—	98,73	963
0,00	0,00	0,00	82,61	0,00	16,41	0,00	—	—	—	—	99,02	827
						Киянський						
—	—	—	58,40	39,01	0,00	0,13	0,00	0,11	—	—	97,65	559
—	—	—	86,25	12,73	0,18	0,22	—	—	—	—	99,38	871
—	—	—	88,16	10,64	0,00	0,34	—	0,26	—	—	99,40	892

Закінчення табл.
The End of Table

Fe	Ni	Co	Au	Ag	Cu	Bi	Sb	Te	S	As	Σ	Проба, ‰
—	—	—	90,03	10,17	0,06	0,05	—	0,08	—	—	100,39	898
—	—	—	86,13	12,02	0,00	0,17	0,00	0,05	0,00	0,00	98,37	877
—	—	—	87,45	10,94	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	98,46	888
—	—	—	92,36	5,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,87	943
Стриївський												
—	—	—	95,12	2,95	0,59	0,42	0,00	0,00	—	0,24	99,32	969
0,02	0,00	0,00	94,71	4,06	0,35	0,28	0,00	0,02	0,00	0,08	99,52	958
0,18	0,00	0,00	87,16	9,38	3,30	—	—	—	—	0,19	100,21	902
0,26	0,00	0,00	74,09	3,42	19,94	—	—	—	—	0,21	97,92	737
0,45	0,01	0,00	90,95	5,50	0,64	0,03	—	—	—	0,09	97,67	942
—	—	—	91,72	4,68	—	5,44	0,00	0,82	0,00	0,00	102,66	951
—	—	—	93,21	6,89	—	0,06	—	0,03	—	—	100,19	931
0,05	0,00	0,00	90,43	7,76	0,03	0,13	0,00	0,11	—	—	98,51	920
—	—	—	88,76	9,47	0,38	0,74	—	—	—	—	99,35	903
0,06	0,00	0,00	95,61	4,86	0,22	0,08	—	0,03	0,06	0,19	101,11	951
Сергіївське родовище												
—	—	—	83,46	14,14	0,01	—	0,25	0,00	0,00	0,00	97,86	853
—	—	—	83,59	14,56	0,01	0,00	0,24	0,01	0,03	0,00	98,44	849
—	—	—	82,36	14,34	0,00	—	0,34	0,00	0,01	0,00	97,05	851

П р и м і т к а. 1, 2 — золото у арсенопіриті, св. 74-90, гл. 143,5 м; 3, 4 — те саме, св. 74-90, гл. 25,0 м; 5, 6 — те саме, св. 2-95, гл. 163,0 м; 7 — те саме, св. 86-89, гл. 395,3 м; 8, 9 — те саме, св. 7-94, гл. 217,3 м; 10, 11 — включення в арсенопіриті, св.18-89; 12—15 — включення в льолінгіті та арсенопіриті, св. 867, гл. 149,2 м; 16, 17 — зростки з графітом, св. 0421, гл. 209,5 м; 18, 19 — включення в арсенопіриті, св. 0444, гл. 249,6 м; 20 — мальдоніт, св. 0421, гл. 209,5 м; 21—25 — включеня в арсенопіриті, св. 6720; 26, 27 — те саме, св. 89^{г}, гл. 143,0 м; 28 — те саме, св. 7, гл. 125,0 м; 29—32 — дендритоподібні агрегати, св. 109, гл. 103,5 м; 33—38 — включення у арсенопіриті, св. 50-37^{б}, гл. 127,4 м; 39 — зерно у кварці, св. 50-37^{б}, гл. 154,8 м; 40, 41 — виділення у кварці, св. 50-33, гл. 172,3 м; 42 — на краю зерна арсенопіриту, те саме; 43 — включення у арсенопіриті тетраурикуприду, св. 50-33, гл. 171,3 м; 44, 45 — у кварці, те саме; 46—48 — у арсенопіриті; 49 — у кварці, св. 50-33; 50—52 — у зростках з арсенопіритом. Аналізи виконано на приладах *Cameca SX*100 (№ 50—52), *JCXA*-733 (№ 14—17), *JCXA*-8200 (№ 36, 42—45), *JXA*-5 (решта).

N o t e. 1, 2 — gold in arsenopyrite, borehole 74-90, depth 143.5 m; 3, 4 — the same, borehole 74-90, depth 25.0 m; 5, 6 — the same, borehole 2-95, depth 163.0 m; 7 — the same, borehole 86-89, depth 395.3 m; 8, 9 — the same, borehole 7-94, depth 217.3 m; 10, 11 — inclusion in arsenopyrite, borehole 18-89; 12—15 — inclusion in lolingite and arsenopyrite, borehole 867, depth 149.2 m; 16, 17 — intergrowths with a graphite, borehole 0421, depth 209.5 m; 18, 19 — inclusion in arsenopyrite, borehole 0444, depth 249.6 m; 20 — maldonite, borehole 0421, depth 209.5 m; 21—25 — inclusion in arsenopyrite, borehole 6720; 26, 27 — the same, borehole 89^{г}, depth 143.0 m; 28 — the same, borehole 7, depth 125.0 m; 29—32 — dendritic aggregates, borehole 109, depth 103.5 m; 33—38 — inclusion in arsenopyrite, borehole 50-37^{б}, depth 127.4 m; 39 — grain in quartz, borehole 50-37^{б}, depth 154.8 m; 40, 41 — segregation in quartz, borehole 50-33, depth 172.3 m; 42 — at the margin of arsenopyrite grain, the same; 43 — inclusion in arsenopyrite tetrauricupride, borehole 50-33, depth 171.3 m; 44, 45— in quartz, the same; 46—48 — in arsenopyrite, borehole 50-33; 49 — in quartz, borehole 50-33; 50-52 — in intergrowth with arsenopyrite. Analyses were carried out by *Cameca SX*100 (No 50—52), *JCXA*-733 (No 14—17), *JCXA*-8200 (No 36, 42—45), *JXA*-5 (the rest).

варіантів вилучення благородного металу з руд важливою є інформація про мінералогію "невидимого" золота і особливостях його розподілу всередині та між сусідніми сульфідними мінералами.

Питання щодо походження і умов формування "невидимого" золота руд постійно привертає увагу відомих дослідників [1, 23—30]. Часом навколо цього спалахують гострі дискусії, висвітлюючи наявні суперечності між новими даними, отриманими з застосуванням сучасних високочутливих методів, та загальноприйнятими уявленнями. Розглядаючи природу входження золота в інші мінерали, переважно

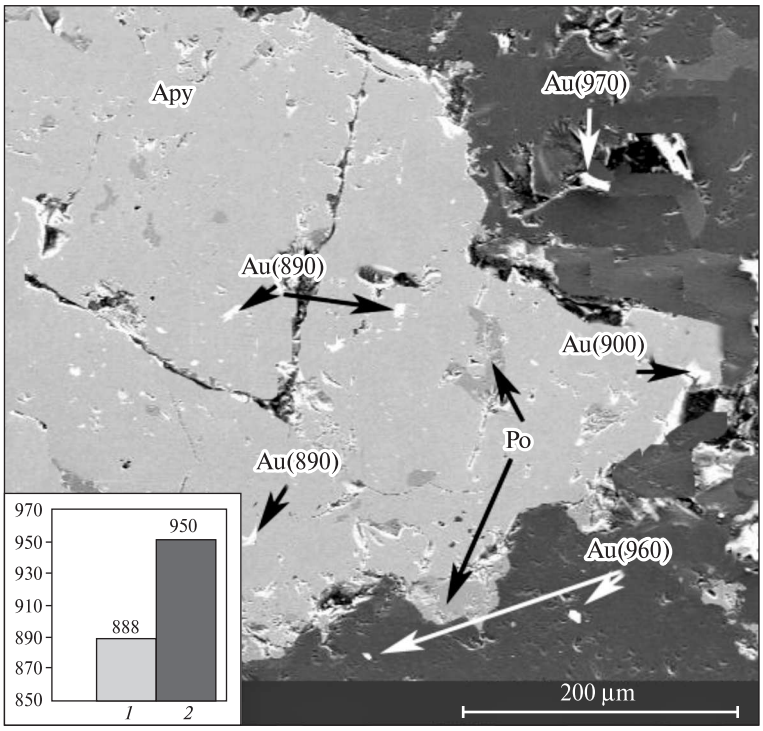

Рис. 3. Електронне зображення (*BSE*) арсенопіриту з включеннями піротину та золота в кварцовому прожилку (темне) зі значеннями проби золота. Стриївський рудопрояв, св. 50-33, гл. 172,3 м, *проба золота*: *1* — в арсенопіриті; *2* — у кварці

Fig. 3. BSE image of arsenopyrite with inclusion of pyrhotite and gold in quartz veinlet (dark) with gold content values. Stryivka ore manifestation, borehole 50-33, depth 172.3 m, *sample of gold*: *1* — in arsenopyrite; *2* — in quartz

його пояснюють ізоморфним входженням до кристалохімічної структури мінералів-концентраторів, наявністю механічних включень або атомарним розсіюванням у дислокаціях і мікротріщинах. Але однозначного вирішення цієї проблеми немає. Так, ізоморфна гіпотеза ґрунтувалася здебільшого на порівнюванні радіусів ковалентних зв'язків As і Au [28]. Н. Кук [26] теж вказував на можливість заміщення золотом надлишків арсену, який займає місце заліза в кристалохімічній структурі арсенопіриту. Безуспішними були спроби за допомогою експериментальної геохімії золота довести ідею про те, що As виступає провідником Au [30]. Типоморфною ознакою золотоносних арсенопіритів тривалий час вважали наявність нестехіометричності їх складу: відхилення від ідеального значень As/S і Fe/S + As. У більшості випадків "арсеновистий" арсенопірит (As/S >1) характерний для продуктивних асоціацій, а сірчистий (As/S < 1) поширений і серед бідних руд [8]. Варіації вмісту As і S в арсенопіриті С.О. Галій [8] використовував як геотермометр та для оцінки перспектив рудоносності. Г. Арехард [24] допускав заміщення в арсенопіриті та піриті за схемою $Fe^{3+} \rightarrow Au$. Мессбауерівська техніка теж не дає однозначної відповіді на механізм входження золота і його валентність [26].

До факторів, що зумовлюють входження золота в структуру Co- та Ni-вмісних сульфідних мінералів, А.Г. Миронов [15, 16] та В.Л. Таусон [23] відносили наявність металічності в кристалохімічних зв'язках, особливо у випадку сорбційної концентрації золота. Можлива наявність одночасно атомарно-сорбованої та структурної форм Au, причому важливу роль у процесі розсіювання і концентрування мікроелементів відіграють дефекти кристалічної структури, в яких можуть розташовуватися домішкові атоми, що з точки зору кристалохімії є механічними, а не ізоморфними домішками. До вирішення цієї проблеми долучалися і вітчизняні дослідники. Так, за допомогою іонної мас-спектроскопії в арсенопіритах та піритах із руд різних родовищ України А.А. Валь-

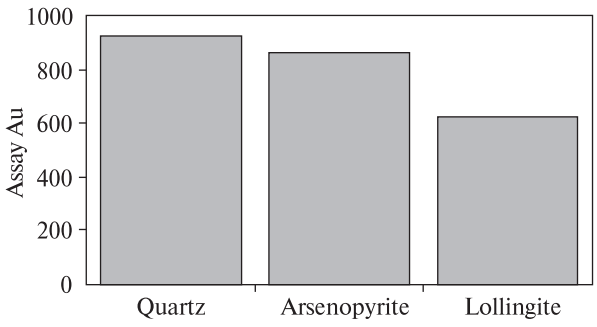

Рис. 4. Варіації значень проби золота (дані мікрозондового аналізу) в залежності від матриці

Fig. 4. Variations gold test values (data of microprobe analysis) depending on a containing matrix

тер [6] вивчав хімічну та генетичну природу "невидимого" золота.

Кристалізація тонкодисперсного золота, що має вигляд включень в інших мінералах, може бути пов'язана з особливостями деяких кристалічних структур матриць. Останній факт свідчить, що утворення золота супроводжується процесами складного узгодження мінеральних індивідів між собою та з зовнішнім середовищем. Особливо, коли мова йде про наномінеральні форми золота [13].

Варто зауважити, що поведінка золота та інших парагенетичних йому елементів (Bi, Te, Pb, Ag) і мінералів майже у всіх рудах Au-As типу надзвичайно подібна. Генетичний зв'язок між ними підтверджується їхньою постійною просторовою близькістю та особливостями кристалізації в гідротермальному процесі. Утворення Au-Bi-Te парагенезисів відбувається внаслідок дифузійного перерозподілу металів у мінералах-концентраторах: арсенопіриті та льолінгіті.

Геохімічною особливістю телуридної мінералізації в золоторудних об'єктах західної частини УЩ є майже повне домінування сполук з вісмутом. В системі Bi — Te встановлені такі індивідуалізовані фази: хедлеїт (Bi_7Te_3), телуровісмутит (Bi_2Te_3), цумоїт (BiTe), пільзеніт (Bi_4Te_3), жозеїт-B ($Bi_4(S, Te)_3$).

Цікаво, що чомусь поведінку інших елементів (включаючи згадані вище), наявних в тій чи іншій формі в арсенопіриті, з точки зору ізоморфізму не розглядали, а навіть ігнорували. Лише В.Л. Таусон [23] на основі співставлення різноманітних аналітичних та експериментальних даних робить висновок про значну роль так званих нестійких проміжних фаз, завдяки сорбційному механізму яких разом із золотом в арсенопірит можуть входити і деякі елементи-супутники. Мінерали-концентратори "невидимого" золота (арсенопірит, пірит) належать до так званих осаджувачів золота, яке завдяки своїм фізичним особливостям може ультратонко розпилюватися на поверхнях (сорбція) [7]. Ділянки кристалів поблизу його поверхні знаходяться в інших умовах, ніж у внутрішніх частинах, і характеризуються потенційною енергією, яка відіграє істотну роль у процесах кристалізації. Саме з високою активністю поверхонь арсенопіриту пов'язане наростання золота на поверхні граней агрегатів арсенопіриту в Сергіївському родовищі [10]. Хоча сам факт накопичення золота на крайових зонах кристалів В.С. Монахов зі співавторами [17] трактують переважно як структурні домішки. Мікрофази золота можуть формуватися в результаті некласичних явищ, що відбуваються в міжзерновій речовині, або бути пов'язаними з особливостями деяких кристалічних структур, фрагментарністю їхньої будови [11]. Електрохімічне осадження самородного золота в сульфідах М.С. Сахарова [22] відносила до найважливіших і маловивчених питань рудогенезу.

Необхідно зазначити, що більшість дослідників досить обережно формулюють висновки стосовно природи "невидимого" золота, допускаючи існування як процесів заміщення, так і наявність ультрадрібних механічних включень у матриці арсенонопіриту. М.І. Новгородова [19] на основі аналізу термодинамічних властивостей благородних елементів отримала результати, що свідчать про переважну енергетичну доцільність самородного стану золота. Але у зв'язку з неоднозначністю отриманих результатів вона констатує необхідність подальших досліджень хімічного стану і положення золота в кристалічній структурі сульфоарсенідів та сульфідів заліза.

Висновки. Дослідження типоморфних особливостей золота набувають важливого значення для різноманітних генетичних побудов та визначення перспективності конкретного потенційно рудоносного об'єкта [18]. Виявлено, що самородне золото в рудах Au-As типу міститься переважно у вигляді субмікроскопічних включень в арсенідах та сульфоарсенідах заліза, рідше — арсенідах нікелю, що необхідно враховувати оцінюючи мінералого-технічні кондиції руд. Точне визначення мінеральної форми тонкодисперсних руд з "невидимим" золотом часто необхідне для уточнення оптимального вибору найбільш раціональної технології переробки руд. Переважання в рудах тонкодисперсного золота є показником відносно глибокої ерозії родовища [7]. У рудопроявах Au-As типу спостерігається бімодальний характер розподілу пробності золота, що зумовлено наявністю "арсенопіритового" та "кварцового" золота. Встановлено вищі значення проби "кварцового" золота, а на регіональному рівні — в рудах Au-Qu (золото-кварцового) типу, ніж Au-As типу мінералізації. Значні варіації пробності золота (з переважанням більш низькопробного) спостерігаються у найменш еродованих структурах. Загальної тенденції що-

до збільшення проби золота з глибиною не спостерігається. Мабуть, варіації проби самородного золота визначаються електрохімічними реакціями його осадження, а не глибиною його формування [8].

Широкому використанню типоморфних ознак золота у вирішенні задач генетичної та пошукової мінералогії повинна передувати об'єктивна оцінка масштабності їх проявів у межах конкретних рудоносних структур.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Абдулин А.А., Матвиенко В.М.* Наноминералогия золота золоторудных месторождений основных промышленных типов // Отечеств. геология. — 2000. — № 5. — С. 20—40.
2. *Аверин Ю.А.* Влияние крупности и распределения золота на достоверность результатов опробования // Наук. основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота : Матеріали Міжнар. конф. — Львів, 1999. — С. 4—5.
3. *Бондаренко С.М.* Золоторудна мінералізація західної частини Українського щита : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — К., 2009. — 22 с.
4. *Бондаренко С.Н., Гринченко А.В., Семка В.А.* Минералого-геохимические типы золоторудной минерализации западной части Украинского щита // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований : Материалы Всерос. конф. посвящ. 100-летию Н.В. Петровской (Москва, ИГЕМ РАН, 29—31 марта 2010 г.). — М., 2010. — Т. 1. — С. 79—81.
5. *Бондаренко С.М., Сьомка В.О., Паталаха М.Є., Коляда В.В.* Золоторудна мінералізація Новоград-Волинської товщі (Український щит) // Актуальні проблеми геохімії, мінералогії, петрології та рудоутворення: Тези доп. Міжнар. наук. конф. (Київ, 19—20 лют. 2009 р.). — К., 2009. — С. 6.
6. *Вальтер А.А., Скакун Л.З.* "Невидимое" золото в рудах месторождений и проявлений Украины // Минерал. журн. — 1995. — **17**, № 2. — С. 20—28.
7. *Войлошников В.Д., Войлошников М.В.* Мир полезных ископаемых. — Киев : Освита, 1991. — 240 с.
8. *Галий С.А., Крочук В.М.* Новые данные о типоморфизме арсенопирита // Минерал. журн. — 1994. — **16**, № 2. — С. 84—96.
9. *Золоторудное* месторождение Мурунтау / Под ред. Т.Ш. Шавкубова. — Ташкент : ФАН, 1998. — 240 с.
10. *Иванов В.И., Дыщук М.Ю.* Арсенопирит в роли носителя и индикатора наличия золота на Сергеевском месторождении (Среднее Приднепровье) // Наук. основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота : Матеріали Міжнар. наук. конф. — Львів : ЛДУ ім. І. Франка, 1999. — С. 55—57.
11. *Квасниця В.М.* Морфогенетична класифікація самородного золота України // Минерал. журн. — 1999. — **21**, № 4. — С. 91—98.
12. *Кольцов А.Б., Котов Н.В., Нестеров А.Р.* Закономерности формирования состава самородного золота в гидротермальных условиях // Докл. АН СССР. — 1985. — **283**, № 5. — С. 1264—1268.
13. *Конеев Р.И.* Микроминералогия золоторудных месторождений вулканических областей : Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. — СПб., 2001. — 39 с.
14. *Марченко А.Г., Братчук О.М.* Етапи рудоутворення, мінеральні асоціації та парагенезиси Клинцівської рудної зони // Зб. наук. пр. УкрДГРІ. — 2008. — № 1. — С. 83—92.
15. *Миронов А.Г., Гелетий В.Ф.* Экспериментальные исследования распределения золота в сульфидах // Докл. АН СССР. — 1979. — **247**, № 1. — С. 218—222.
16. *Миронов А.Г., Таусон В.Л., Гелетий В.Ф.* Металличность связи как фактор, обуславливающий вхождение в структуры сульфидных минералов // Докл. АН СССР. — 1988. — **293**, № 2. — С. 447—449.
17. *Монахов В.С., Галий С.А., Синицын В.А., Иванов А.С., Бондаренко И.Н., Дыщук М.Ю.* Золото в арсенопиритсодержащих рудах Сергеевского месторождения (Среднее Приднепровье) // Минерал. журн. — 1997. — **19**, № 2. — С. 81—86.
18. *Николаева Л.А.* Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. — М. : Недра, 1978. — 101 с.
19. *Новгородова М.И.* Самородные металлы в гидротермальных рудах. — М. : Наука, 1983. — 233 с.
20. *Пальянова Г.А.* Физико-химические условия устойчивости арсенопиритсодержащих минеральных ассоциаций (по теоретическим и экспериментальным данным) : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Новосибирск, 1990. — 17 с.
21. *Петровская Н.В.* Современные исследования типоморфизма самородного золота // Новые данные о типоморфизме минералов. — М. : Наука, 1980. — С. 25—43.
22. *Сахарова М.С.* О причинах дифференциации золота и серебра при их осаждении на природных минералах // Вестн. Моск. ун-та. Геол. — 1979. — № 3. — С. 213—221.
23. *Таусон В.Л.* Золото в сульфидах: состояние проблемы форм нахождения и перспективы экспериментальных исследований // Геология и геофизика. — 1996. — **37**, № 3. — С. 3—14.
24. *Arehard G.B., Cryssoulis S.L., Kesler S.E.* Gold and Arsenic in Iron Sulfides from Sediment Hosted Desseminated Gold Deposits // Econ. Geol. — 1993. — **88**, No 1. — P. 171—185.

25. *Cabri L.J., Chryssoulis S.L., De Villiers J.P.R., Laflamme J.H., Buseck P.R.* The nature of "invisible" gold in the arsenopyrite // Can. Miner. — 1989. — **27**, pt. 3. — P. 353—362.
26. *Cook N.J., Chryssoulis S.L.* Concentration of "invisible" gold in the common sulfides // Can. Miner. — 1990. — **28**. — P. 1—16.
27. *Genkin A.D., Bortnikov N.S., Cabri L.J., Wagner F.E., Stanleey C.J., Safonov Y.G., Mcmanon G., Friedl J., Kersin A.L., Gamyanin N.G.N.* A multidisciplinary study of invisible gold in arsenopyrite from four mesothermal gold deposits in Siberia, Russian Federation // Econ. Geol. — 1998. — **93**. — P. 463—487.
28. *Marion P., Monroj M., Holliger P.* Cold bearing pirites. A cobined ion microprobe and ossbaner spectrometry approach // Source. Transp. and Deposite Metals (Proc. 25 Hears SGA Anniv Meet., Nancy, 30 Aug.—3 Sept. 1991). — Rotterdam : Brookfield, 1991. — P. 677—680.
29. *Newville M., Gordon R.A., Crosier E.D., Sutton S.R., Mcmahon G.* Chemical speciation of gold in arsenopyrite // Can. Miner. — 2000. — **38**. — P. 1265—1281.
30. *Tomkins A.G., Mavrogenes J.A.* Redistribution of Gold within Arsenopyrite and Lollingite during Pro- and Retrograde Metamorphism: Application to Timing of Mineralization // Econ. Geol. — 2001. — **96**, No 3. — P. 525—534.

Надійшла 20.01.2015

REFERENCES

1. Abdulin, A.A. and Matvienko, V.M. (2000), *Otechest. geologiya*, Moskva, No 5, pp. 20-40.
2. Averin, Yu.A. (1999), *Naukovi osnovy prohnozuvannya, poshukiv ta otsinky rodovyshch zolota*, Materialy Mizhnar. konf., L'viv, Ukraine, pp. 4-5.
3. Bondarenko, S.M. (2009), *Zolotorudna mineralizatsiya zakhidnoyi chastyny Ukrayins'koho shchyta*, Avtoref. dys. kand. heolohicheskyh nauk, Kyiv, Ukraine, 22 p.
4. Bondarenko, S.M., Grinchenko, O.V. and Syomka, V.O. (2010), *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nyh associacij, uslovija obrazovanija mestorozhdenij, zadachi prikladnyh issledovanij*, Materialy Vseros. konf., posvjaschennoj 100-letiju N.V. Petrovskoj, Moskva, 29-31 marta 2010, Vol. 1, IGEM RAN, Moskva, pp. 79-81.
5. Bondarenko, S.M., Syomka, V.O., Patalakha, M.Ye. and Kolyada, V.V. (2009), *Aktual'ni problemy heokhimiyi, mineralohiyi, petrolohiyi ta rudoutvorennya*, Tezy dopov. Mizhnar. konf., Kyiv, 19-20 lutoho 2009, Kyiv, Ukraine, p. 6.
6. Val'ter, A.A. and Skakun, L.Z. (1995), *Mineral. zhurn. (Ukraine),* Kyiv, Ukraine, Vol. 17 No 2, pp. 20-28.
7. Voyloshnikov, V.D. and Voyloshnikov, M.V. (1991), *Mir poleznykh iskopaemykh*, Osvita, Kyiv, 240 p.
8. Galyy, S.A. and Krochuk, V.M. (1994), *Mineral. zhurn. (Ukraine),* Kyiv, Ukraine, Vol. 16 No 2, pp. 84-96.
9. Shavkubov, T.Sh. (ed.) (1998), *Zolotorudnoe mestorozhdenie Muruntau*, FAN, Tashkent, Uzbekystan, 240 p.
10. Ivanov, V.I. and Dyshchuk, M.Yu. (1999), *Naukovi osnovy prohnozuvannya, poshukiv ta otsinky rodovyshch zolota*, Materialy Mizhnar. konf., Vyd-vo LDU im. I. Franka, L'viv, Ukraine, pp. 55-57.
11. Kvasnytsya V.M. (1999), *Mineral. zhurn. (Ukraine),* Kyiv, Ukraine, Vol. 21 No 4, pp. 91-98.
12. Kol'tsov, A.B., Kotov, N.V. and Nesterov, A.R. (1985), *Dokl. AN SSSR*, Moskva, Vol. 283 No 5, pp. 1264-1268.
13. Koneev, R.I. (2001), *Mikromineralogiya zolotorudnykh mestorozhdeniy vulkanicheskikh oblastey*, Avtoref. dys. doktora geol.-mineral. nauk, Sankt-Peterburh, Russia, 39 p.
14. Marchenko, A.G. and Bratchuk, O.M. (2008), *Zbirnyk naukovykh prats' UkrDGRI*, Kyiv, Ukraine, No 1, pp. 83-92.
15. Mironov, A.G. and Geletyy, V.F. (1979), *Dokl. AN SSSR*, Moskva, Vol. 247 No 1, pp. 218-222.
16. Mironov, A.G., Tauson, V.L. and Geletyy, V.F. (1988), *Dokl. AN SSSR*, Moskva, Vol. 293 No 2, pp. 447-449.
17. Monakhov, V.S., Galyy, S.A., Sinitsyn, V.A., Ivanov, A.S., Bondarenko, I.N., and Dyshchuk, M.Yu. (1997), *Mineral. zhurn. (Ukraine),* Kyiv, Ukraine, Vol. 19 No 2, pp. 81-86.
18. Nikolaeva, L.A. (1978), *Geneticheskie osobennosti samorodnogo zolota kak kriterii pri poiskah i otsenke rud i rossypey*, Nedra, Moskva, 101 p.
19. Novgorodova, M.I. (1983), *Samorodnye metally v gidrotermal'nykh rudakh*, Nauka, Moskva, 233 p.
20. Pal'yanova, G.A. (1990), *Fiziko-khimicheskie usloviya ustoychivosti arsenopiritsoderzhashchikh mineral'nykh assotsiatsiy (po teoriticheskim i eksperimental'nym dannym*), Avtoref. dys. kand. geol.-mineral nauk, Novosybyrsk, Russia, 17 p.
21. Petrovskaya, N.V. (1980), *Novye dannye o tipomorfizme mineralov*, Nauka, Moskva, pp. 25-43.
22. Sakharova, M.S. (1979), *Vestn. Mosk. un-ta*, Moskva, No 3, pp. 213-221.
23. Tauson, V.L. (1996), *Geologiya i geofizika*, Moskva, Vol. 37 No 3, pp. 3-14.
24. Arehard, G.B., Cryssoulis, S.L. and Kesler, S.E. (1993), *Econ. Geol.*, Vol. 88 No 1, pp. 171-185.
25. Cabri, L.J., Chrysoulis, S.L., De Villiers, J.P.R., Laflamme, J.H. and Buseck, P.R. (1989), *Can. Miner.*, Vol. 27 No 3, pp. 353-362.
26. Cook, N.J. and Chryssoulis, S.L. (1990), *Can. Miner.*, Vol. 28, pp. 1-16.
27. Genkin, A.D., Bortnikov. N.S., Cabri, L.J., Wagner, F.E., Stanleey, C.J., Safonov, Y.G., Mcmanon, G., Friedl, J., Kersin, A.L. and Gamyanin, N.G.N. (1998), *Econ. Geol.*, Vol. 93, pp. 463-487.
28. Marion, P., Monroj, M., Holliger, P. (1991), *Source. Transp. and Deposite Metals*, Proc. 25th Hears SGA Anniv Meet., Nancy, 30 Aug.-3 Sept. 1991, Brookfield, Rotterdam, pp. 677-680.
29. Newville, M., Gordon, R.A., Crosier, E.D., Sutton, S.R. and Mcmahon, G. (2000), *Can. Miner.*, Vol. 38, pp. 1265-1281.
30. Tomkins, A.G. and Mavrogenes, J.A. (2001), *Econ. Geol.*, Vol. 96 No 3, pp. 525-534.

Received 20.01.2015

С.Н. Бондаренко

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семененко НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: sbond@igmof. gov.ua

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В РУДАХ Au-As ТИПА (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

В золоторудных проявлениях минерализации Au-As типа западной и центральной частей Украинского щита установлены характерные свойства самородного золота, касающиеся его гранулометрии, морфологии и химического состава. Самородное золото фиксируется преимущественно в виде ксеноморфных тонкодисперсных (5—20 μm) включений в арсенопирите, леллингите, реже в никелине. Особенно важна тенденция зависимости пробы самородного золота от минерала-матрицы, что свидетельствует о специфических соотношениях золота и его минералов-носителей. В рудах Au-As типа наблюдается бимодальный характер распределения пробы золота, что обусловлено наличием преобладающего "арсенопиритового" (875 ‰) и "кварцевого" золота (930 ‰). По данным микрозондового анализа, характерные элементы-примеси в золоте — Cu, Bi, Sb, Fe, As, S. Рассмотрена проблема "невидимого" золота в арсенопирите. Сделаны выводы относительно главных факторов, способствующих образованию в арсенопирите тонкодисперсного золота. Преимущество отдается не изоморфному вхождению его в структуру минерала, а наличию механических включений или атомарному рассеиванию в дислокациях и микротрещинах. Утверждается, что преобладание в рудах тонкодисперсного золота — показатель относительно глубокой эрозии месторождения, что имеет значение для разнообразных генетических построений и определения перспективности конкретного золоторудного объекта.

Ключевые слова: самородное золото, арсенопирит, золото-мышьяковый тип, гранулометрия, морфология, химический состав, минеральные ассоциации.

S.M. Bondarenko

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: sbond@igmof. gov.ua

NATIVE GOLD IN Au-As TYPE ORES (THE UKRAINIAN SHIELD)

Characteristic properties of native gold such as granulomertry, morphology and chemical composition found in gold manifestations of Au-As mineralization type in the western and central parts of the Ukrainian Shield are considered. Native gold is found mainly in the form of xenomorphic fine (5—20 μm) inclusions in arsenopyrite, loellingite and rarely nickeline. The dependence between gold assay and mineral-matrix is especially important, that testifies to specific relations between gold and its mineral carriers. The ores of Au-As are characterized by bimodal distribution of gold assay values, that is caused by occurrence of predominant so-called arsenopyrite (875 ‰) and quartz gold (930 ‰) types. According to microprobe analysis typical admixture elements found in gold are: Cu, Bi, Sb, Fe, As, S. The problem of so-called invisible gold in arsenopyrite is considered. Conclusions concerning primary factors that promote the occurrence of fine gold in arsenopyrite are drawn. Gold is thought to be predominantly present as mechanical inclusions or atomic dispersion localized in some dislocations and microcracks rather that as isomorphic admixtures in the mineral structure. It is proved that predominant nature of fine gold in ores is a possible indicator for deep erosion level of the deposit. This fact is important for various genetic interpretations and possible determination of prospects for different gold objects.

Keywords: native gold, arsenopyrite, gold-arsenic type, granulometry, morphology, chemical composition, mineral associations.