

УДК 552.4: 553.4

О. Грінченко, канд. геол.-мінералог. наук,
С. Бондаренко, наук. співроб.,
В. Сьомка, канд. геол.-мінералог. наук,
І. Бондаренко, наук. співроб.

ТЕЛУРИДИ В РУДОПРОЯВАХ ЗОЛОТО-АРСЕНОВОГО ТИПУ ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Подано попередні дані щодо розповсюдження та особливостей формування телуридів у рудопроявах золото-арсенового типу західної частини Українського щита. За отриманими даними серед телуридів спостерігається майже повне домінування сполук із вісмутом. Була встановлена також певна мінералогічна зональність у розповсюдженні телуридів у межах західного та східного обрамлення магматичної системи Корсунь-Новомиргородський плутон – Новоукраїнський масив.

This article presents the preliminary data concerning distribution and features of tellurides formation in ore manifestations of gold – arsenic type at the western part of the Ukrainian Shield. according to data obtained almost full domination of compounds with bismuth is observed among tellurides. There are also observed certain regional zonality in distribution of tellurides within the limits of western and east frames of magmatic system of Korsun'-Novomirgorodsky pluton – Novoukrainsky massif.

Постановка проблеми. Численні золотоносні райони світу, які характеризуються широким діапазоном обстановок формування й генезиса родовищ золота, містять помітні кількості мінералів телуру – телуриди (див напр. огляд [9]). Ці мінерали самі по собі можуть бути істотними носіями золота (Au- або Au-Ag телуриди) або можуть бути тісно парагенетично пов'язані з ним (особливо це справедливо для телуридів Bi).

На сьогодні відомо близько 83 телурвміщуючих сполук, які були описані як мінеральні різновиди. Кілька десятків інших фаз, які також були встановлені в останнє десятиліття, все ще залишаються недостатньо охарактеризованими. Через труднощі в одержанні рентгенівських даних, існуванні природних твердих розчинів і ізоморфних заміщень, безліч мінеральних субсистем залишаються ще недостатньо вивченими належним чином.

Але незважаючи на вищенаведене та той факт, що в більшості випадків телуриди формують дуже малі мінеральні зерна, вони можуть бути цінними індикаторами фізико-хімічних умов формування рудних систем, тому що їх склад є високочутливим до незначних змін щодо температури, Eh-pH, $f\text{Te}_2$, $f\text{S}_2$, $f\text{Se}_2$ і $f\text{O}_2$, а також інших фізико-хімічних параметрів. Внаслідок цього розуміння механізмів формування та стабільності телуридів може надати важливу інформацію щодо можливої еволюції подій мінералоутворення.

Постановка завдання. За деяким винятком телуриди в різних кількостях встановлені майже на всіх золото-рудних родовищах і рудопроявах Українського щита [2; 3; 8]. Генетичний зв'язок між мінералами золота та телуру підтверджується їх постійною просторовою близькістю й особливостями кристалізації в гідротермальному процесі при формуванні руд золото-арсенового типу [7]. Не дивлячись на те, що кларк Te значно нижче, ніж у багатьох рідкісних елементів, а геохімічні методи визначення вмісту металу в породі взагалі відсутні, в більшості випадків, за досить ретельних мікроскопічних та електроноскопічних досліджень вдається визначити мінеральні мікрофази Te в арсенідах і сульфоарсенідах заліза, а при більш значних вмістах вони спостерігаються і в рудному кварці. Загалом формування Au-Te парагенезисів відбувається при дифузійному перерозподілі металів у мінералах – концентраторах: арсенопіриті та льолінгіті, або ж безпосередній близькості біля них, серед породоутворювальних мінералів.

Серед особливостей телуридної мінералізації в золоторудних об'єктах західної частини Українського щита можна відмітити, що серед присутніх тут телуридів спостерігається майже повне домінування сполук із вісмутом (90–

100 % від загальної кількості). Роль інших телуридів несуттєва. На сьогодні в системі Bi-Te було встановлено такі окремі фази: хедлеїт (Bi_7Te_3), алтаїт (PbTe), цумоїт ($\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_{2+x}$), гесит (Ag_2Te), мелоніт (NiTe_2), тетрадиміт ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$), жозеїт-А ($\text{Bi}_4(\text{S}, \text{Te})_3$) та жозеїт-В ($\text{Bi}_4(\text{S}, \text{Te})_3$).

Хедлеїт, телурид вісмуту, є переважаючим телуридом у Au-Te парагенезисах і присутній майже на всіх рудопроявах західної частини щита. Особливо це характерно для Киянського та Стрийського рудопроявів (Новоград-Волинська товща), де хедлеїт фіксується у вигляді чисельних субмікроскопічних включень разом із золотом в арсенопіриті та серед жильного кварцу. В останньому випадку окремі виділення зерен хедлеїту сягають 0,06–0,2 мм по видовженню. Привертають також увагу орієнтовані по (0001) зростки хедлеїту з молібденітом.

Хедлеїти відзначаються нестійкістю хімічного складу (табл. 1, аналіз 1, 2), що мабуть зумовлено пластинчастим проростанням їх зерен з іншими телуридами. Поряд з переважаючим розповсюдженням субмікроскопічних включень в арсенопіриті, зустрічаються і відносно крупні зерна хедлеїту, які сягають 0,2–0,5 мм у поперечнику. В арсенопіриті Овражного рудопрояву в асоціації з хедлеїтом і самородним золотом було встановлено мінерал, за складом близький до неіснуючого верлітового ($\text{Bi}_{2+x}\text{Te}_{3-x}$ з домішками Pb від 1, 42 до 4,54 ваг %). У Північно-Березівському прояві цей телурид утворює зростки з гесситом.

Алтаїт, телурид свинцю, зустрічається досить рідко в золоторудних об'єктах Кіровоградського блоку (Контактовий рудопрояв) та Середнього Побужжя (Чемерпільський). Копір телуриду, взятого ізольовано від інших телуридів, сприймається у відбитому світлі як чисто білий, а в контакті з гесситом біло-зеленуватий. Аналізи мінералу наведено в табл. 1 (аналіз 10, 22). Вісмут-свинцевий телурид ($\text{Bi}_{0,96}\text{Pb}_{4,29}\text{Te}_{1,39}$) у вигляді мікрровключень у арсенопіритах зі збагачених графітом біотитових гнейсів було встановлено за результатами мікроскопічних досліджень у межах Овражного рудопрояву (табл. 1, аналіз 9).

Цумоїт, телурид вісмуту, збагачений свинцем і сріблом (табл. 1, аналіз 18–21), має поширення в парагенезисі з алтаїтом та Au, і відмічається у вигляді чисельних включень серед арсенопірит-льолінгітових агрегатів на Чемерпільському рудопрояві. На думку А. Годовікова [1], заміщення вісмуту свинцем у телуридах відбувається за рахунок доменного (блочного) ізоморфізму у зв'язку із близькістю радіусів різновалентних Bi^{+3} і Pb^{+2} та за відсутності компенсуючих катіонів. Найбільш характерні риси поведінки телуридів Ag, Pb, Ni в золоторудному процесі мало чим відрізняються від поведінки телуридів вісмуту.

Таблиця 1. Хімічний склад телуридів і сульфотелуридів із рудопровів золото-арсенового типу західної частини Українського щита, %

№ п/п	Fe	Bi	Pb	Sb	Ag	Au	S	Te	Σ	Кристалохімічна формула
Овражний										
1	0,09	73,67	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	19,58	93,42	Bi _{6,968} Te _{3,032}
2	0,15	72,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	20,42	92,86	Bi _{6,922} Te _{3,071}
3	0,40	73,57	0,00	0,52	0,00	0,14	0,00	21,68		Bi _{6,745} Te _{3,255}
4	0,83	82,06	0,21	0,00	0,00	0,00	6,00	10,83	99,93	Bi _{4,132} Te _{0,894} S _{1,974}
5	0,00	79,55	0,90	0,00	0,00	0,00	0,10	19,12	99,67	Bi _{7,118} Pb _{0,080} Te _{2,802}
6	0,00	68,36	4,54	0,00	0,00	0,00	0,00	27,18	100,08	Bi _{2,910} Pb _{0,192} Te _{1,895}
7	0,01	71,65	1,42	0,06	0,07	0,00	0,21	26,38	99,80	Bi _{3,081} Pb _{0,061} Te _{1,856}
8	0,14	76,67	0,72	0,00	0,28	0,00	0,00	21,62	99,43	Bi _{2,039} Pb _{0,018} Te _{0,941}
9	0,18	60,23	13,26	0,18	0,10	0,00	1,38	25,31	100,64	Bi _{0,962} Pb _{4,290} Te _{1,393}
Контактовий										
10	0,20	0,00	58,10	0,13	0,12	0,00	0,02	34,86	99,43	Pb _{1,013} Te _{0,987}
Північно-Березівський										
11	0,31	82,10	0,00	0,11	0,07	0,00	0,00	17,21	99,80	Bi _{7,444} Te _{2,556}
12	0,02	69,83	0,00	0,12	0,00	0,00	0,02	27,39	97,38	Bi _{3,044} Te _{1,956}
13	0,07	0,00	0,00	0,09	61,86	0,06	0,01	35,91	98,00	Ag _{2,012} Te _{0,987}
14	0,27	0,08	0,09	0,02	63,18	0,00	0,20	36,19	100,03	Ag _{2,021} Te _{0,978}
Мостовий										
15	0,24	80,49	0,25	0,00	0,16	0,00	0,02	16,53	97,69	Bi _{7,262} Te _{2,738}
Бандурівський										
16	0,00	60,18	0,01	0,12	0,13	0,38	4,18	34,36	99,36	Bi _{2,093} Te _{1,958} S _{0,949}
17	0,00	70,39	0,01	0,10	0,01	0,27	3,23	23,61	97,62	Bi _{3,786} Te _{2,080} S _{1,135}
Губівський										
16	0,12	78,12			0,00	0,00		20,56	99,36	Bi _{2,093} Te _{1,958} S _{0,949}
Чемерпільський										
18	0,06	58,45	3,76	0,00	0,23	0,00	0,04	38,54	101,08	Bi _{1,865} Pb _{0,121} Te _{2,014}
19	2,01	55,63	3,13	0,02	0,18	0,04	0,12	37,26	98,39	Bi _{1,857} Pb _{0,105} Te _{2,037}
20	0,03	57,98	3,06	0,00	0,00	0,03	0,05	38,59	99,74	Bi _{1,866} Pb _{0,099} Te _{2,035}
21	0,35	56,54	3,37	0,00	0,07	0,00	0,53	39,92	100,78	Bi _{1,805} Pb _{0,108} Te _{2,086}
22	0,15	1,72	60,39	0,00	0,41	0,00	0,10	38,18	100,95	Pb _{0,987} Te _{1,013}
Демів'ярівський										
23	0,27	0,00	0,00	0,00	61,42	0,21	0,08	36,68	98,66	Ag _{2,006} Te _{1,010}
Майське										
24	0,31	76,10	0,00	0,00	0,13	0,01	0,04	26,34	102,93	Bi _{1,914} Te _{1,085}
25	0,09	73,51	0,06	0,00	0,15	0,00	0,01	26,19	100,01	Bi _{6,319} Te _{3,685}
26	0,08	73,02	0,03	0,00	0,00	0,04	2,12	21,11	96,40	Bi _{4,209} Te _{1,993} S _{0,798}
Київський										
27		79,97	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	19,86	99,84	Bi _{7,109} Te _{2,891}
28		79,82	0,00	сл.	0,00	0,00	0,00	19,23	99,05	Bi _{7,170} Te _{2,830}
29		80,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	19,65	100,04	Bi _{7,140} Te _{2,860}
30		79,02		0,08	0,02	0,00		20,14	99,26	Bi _{7,055} Te _{2,945}
31		79,26			0,00	0,00	0,00	19,97	99,23	Bi _{7,079} Te _{2,921}
32		74,31	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	25,10	99,66	Bi _{1,927} Te _{1,066}
33		74,51	0,00	0,00	0,00	0,00	сл.	24,95	99,46	Bi _{1,937} Te _{1,062}
34		74,74		0,21	0,00	0,00		24,17	99,12	Bi _{1,961} Te _{1,039}
35		71,28		0,00	0,09	0,00	3,01	22,53	96,91	Bi _{3,903} Te _{2,021} S _{1,077}
36		72,11			0,00	0,00	2,93	23,67	98,71	Bi _{3,883} Te _{2,088} S _{1,029}
37		76,52		0,07	0,00	0,00	0,00	22,38	98,97	Bi _{2,321} Te _{0,679}
38		74,31		0,00	0,00	0,00	0,16	25,52	99,99	Bi _{1,920} Te _{1,080}
39		75,38			0,00	0,00	0,11	24,41	99,90	Bi _{1,960} Te _{1,040}
40		78,01	0,07	0,24	0,00	0,02	0,01	21,36	99,71	Bi _{6,904} Te _{3,096}
41		77,41	0,14	0,15	0,03	0,00	0,03	21,83	99,59	Bi _{6,840} Te _{3,160}
Стрийський										
42		74,78	0,06	0,00	0,01	0,08	0,04	24,17	99,14	Bi _{1,957} Te _{1,038}
43		77,96	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	21,68	99,69	Bi _{2,061} Te _{0,939}
44		74,32		0,00	0,00	0,00	0,07	22,89	97,28	Bi _{1,994} Te _{1,006}
45		78,07			0,00	0,00	0,48	22,74	101,29	Bi _{2,042} Te _{0,969}
46		75,34			0,00	0,00	0,00	24,23	99,57	Bi _{1,965} Te _{1,035}

Примітка. 1,2 – хедлєйті як включення в асоціації із самородним золотом у арсенопіриті, свер. 74–90, гл. 143,5 м; 3 – хедлєйті в асоціації із самородним золотом, свер. 1–95, гл. 256,0 м; 4 – жоєїт-А в асоціації із самородним золотом у арсенопіриті, свер. 1–95, гл. 256,0 м; 5 – хедлєйті як включення в арсенопіриті, свер. 45–88, гл. 211 м; 6,7 – верліт, 8 – хедлєйті як включення в арсенопіриті, свер. 45–88, гл. 211 м; 9 – телурид вісмуту та свинцю як включення в арсенопіриті, свер. 7–94, гл. 217,3 м; 10 – алтайт в арсенопіриті із апонейсових кварцитів, свер. 8–94, гл. 245,3 м; 11 – хедлєйті, свер. 88–88, гл. 411,7 м; 12 – верліт, там само; 13, 14 – гесит, там само; 15 – дрібне зерно хедлєйту як включення в арсенопіриті свер. 867, гл. 149,2 м; 16 – тетрадиміт із золотоносного графіт-діопсидового екзокскару, свер. 0421, гл. 209,5 м; 17 – жоєїт В – там само; 18–21 – цумоїти як субмікроскопічні включення в арсенопіриті, свер. 89, гл. 183,1 м; 22 – гесит як зростки з мелонітом і льолінгітом у глаукоті, свер. 40, гл. 584 м; 23 – алтайт як продовгувате включення в арсенопіриті, там само; 24,25 – хедлєйті в асоціації із самородним золотом у арсенопіриті, свер. 6520; 26 – жоєїт В, свер. 6520; 27, 28 – відносно крупні зерна (до 0,1 мм у поперечнику) хедлєйту в арсенопіриті в асоціації із золотом, свер. 50–37°, гл. 130,7 м; 29 – хедлєйті у зростках із біотитом і сульфідами, свер. 50–37°, гл. 127,4 м; 30 – хедлєйті в арсенопіриті, свер. 50–37°, гл. 107,7 м; 31 – хедлєйті в асоціації із самородним вісмутом і золотом, свер. 50–37°, гл. 154,8 м; 32, 33 – прожилкові виділення хедлєйту в зальбанді кварцової жили, свер. 50–37°, гл. 127,4 м; 34 – округлі зерна в молібденіті, свер. 50–37°, гл. 107,7 м; 35,36 – жоєїт В у зростках із самородним золотом, свер. 50–37°, гл. 154,8 м; 37–39 – дрібні зерна фази Bi₂Te у кварці, свер. 50–37°, гл. 154,8 м; 40–41 – хедлєйті як аллотріоморфнозернисті зростки з атроколітом, там само; 42 – фаза Bi₂Te в зростках із хедлєйтом і самородним золотом, свер. 50–33, гл. 172,3 м; 43 – хедлєйті, свер. 50–33, гл. 172,3 м; 44, 45 – чергування фаз Bi₂Te та Bi₇Te₃ у межах одного агрегату, свер. 50–33, 172,3 м; 46 – каплеподібне включення Bi₂Te на контакт арсенопіриту та піротину.

Гесит, телурид срібла, належить до типоморфних рудних мінералів золота в межах Північно-Березівського та Демов'ярівського рудопояв. При проведенні рудомікроскопічних досліджень виділення геситу чітко фіксуються на фоні арсенопіриту та телуридів Ві завдяки більш низьким показникам відбиття та зеленувато-сірому забарвленню.

Мелоніт, телурид нікелю, поки що представлений єдиною знахідкою в рудах золото-миш'якового типу Демов'ярівського рудопояву. Просторове знаходження мінералу мало чим відрізняється від решти досліджених телуридів. Матрицею для осадження телуриду є заміщений глаукодитом льолінгіт в асоціації із золотовмісним геситом. Вмісні породи збагачені графітом. За даними мікрозондового аналізу телурид нікелю має такий склад (ваг. %): Ni-19,89; Te-78,42; S-1,23; Ag-0,47; As-0,86; Fe-0,65.

Сульфотелуриди належать до парагенних золоту мінералів, але їх поширення в рудах золота досить обмежене і на мінералого-технологічні властивості руд вони практично не впливають.

Тетрадиміт досить поширений у золото-рудних асоціаціях Бандурівського рудопояву, де він зустрічається у вигляді тонкодиспергованих включень серед золото-вісмутинових агрегатів разом із мальдонітом. Досить близька за хімічним складом до тетрадиміту фаза також була встановлена при проведенні мікрозондових досліджень у арсенопіриті з Майського родовища.

Висновки. Узагальнюючи вищенаведені результати мінералого-геохімічної характеристики телуридної мінералізації руд золото-арсенового типу західної частини Українського щита можна зробити такі висновки. Накопичення Те на заключних стадіях гідротермального процесу відбувається паралельно з концентраціями елементів, які утворюють крупні катіони Ві, Ау, Аг, Рб, що зумовлено його геохімічними властивостями (велика атомна вага, розмір атомів, меншим порівняно із сіркою потенціалом іонізації та електровід'ємності). Телур має дуже великий іонний радіус і проявляє характерні для нього високі зв'язкутворювальні властивості. На основі мінералогічних спостережень ряд зростаючої спорідненості елементів до телуру виглядає так: Fe-Co-Ni-Cu-Au-Ag-Pb-Bi.

Завдяки своїм властивостям телур утримується від осадження із золотом до заключних стадій рудоутворення,

займаючи найвищину енергетичну позицію [4]. Вищезгадане підтверджується значним поширенням парагенезисів телуру із самородними Ві, Ау-Ag, галенітом і телуридами цих металів. Вказуючи на існуючу близькість поведінки в гідротермальному процесі Те та Ві, Годовиков [1] схиляється до думки про те, що інтерметалічні властивості телуридів Ві, серед яких встановлена значна частка упорядкованих фаз, зумовлений осадженням металу у відновних умовах за наявності вуглецю. Це підтверджується також результатами мінералогічних досліджень із рудопоявів західної частини Українського щита, де, як правило, навіть за фонові наявності графіту та антроксоліту, значно переважають телуриди та сульфотелуриди Ві. Також спостерігається певна мінералогічна зональність у регіональному плані, сутність якої полягає в зміні у південному напрямку в межах західного обрамлення системи Корсунь-Новомиргородський плутон – Новоукраїнський масив золото-самородно-вісмутів (Au-Bi-Bsm) парагенезисів (рудопояви Селище, Петроострівський, Мостовий, Ярошівський) на суттєво золото-вісмут-телуридни (Au-Bi-Te) (рудопояви Північно-Березівський, Овражний, Контактний). Аналогічна картина спостерігається і у східному обрамленні – вздовж Кіровоградської зони розломів: Клинці, Губівка, Юр'ївка.

1. Годовиков А.А. Минералогия. – М., 1975. 2. В.Н. Иванов., В.С. Монахов, Л.А. Рязанцева, Ю.В. Великанов, Н.Ф. Дудник. Золото-молибденитовая ассоциация с теллуридами Восточно-Сергеевского рудопоявления (Среднее Приднепровье) // Минералог. журн. – 2004. – Т. 26, № 4. 3. Теллуридная минерализация золоторудных проявлений Среднего Приднепровья / В.С. Монахов, Ю. Фомин, А.Я. Парфенова и др. // Минералог. журн. – 1998. – 20, № 4. 4. Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М., 1991. 5. Рудные минералы Восточно-Юрьевского месторождения золота (Украинский щит) / Фомин Ю.А., Шестаков Ю.П., Заборовская Л.П. и др. // Минералог. журн. – 2003. – Т. 25, № 4. 6. Grinchenko A., Siomka V. Typomorphic features of tellurides and native gold in Proterozoic Au-deposits of the Ukrainian Shield // International field workshop of IGCP project 486: Alba Iulia, Romania, 31st Aug.-7th Sept. 2004, Abstract volume. – 2004. 7. Bondarenko S. Mineralogical-geochemical types of endogenic gold mineralization of western part of the Ukrainian shield // Metallogeny of Precambrian Shields: The abstracts, Kyiv, Ukraine, 13-26 Sept., 2002. 8. Bondarenko S., Grinchenko A. Telluride mineralization in the Ukrainian Shield // 18th General Meeting of the International Mineralogical Association, Edinburgh, Scotland, 1st-6th Sept. 2002, Abstract volume. – 2002. 9. Hagemann S.G., Brown P.E. Gold in 2000 // Rev. in Econ. Geol. – 2000. – Vol. 13.

Надійшла до редколегії 22.09.05

В. Нестеровський, канд. геол.-мінералог. наук,
М. Криницька, пров. геолог

ГЕОЛОГІЧНІ ПАМ'ЯТКИ: ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Проаналізовано як необхідність часу, зміну ставлення до геологічної спадщини України. Виділено критерії оцінки геологічних пам'яток України.

Mind changes of the geological heritage of Ukraine is analyzed. Criteria of estimation of Ukrainian geological monuments is allocated.

Вступ та постановка проблеми. Геологічні пам'ятки є національним надбанням України і вимагають серйозного підходу до вивчення та належного збереження. Загрозна екологічна обстановка сьогодення продиктована самою людиною, її несвідомим ставленням до природи, бездумним знищенням умов існування всього живого і, в тому числі, ресурсів, необхідних для проживання людства. Відхід людини від природи, грубе насилля над нею ведуть до розриву гармонійного співіснування. Якщо природі дискомфортно у сфері діяльності людини, то проходить і зворотна реакція – людині стає дискомфортно в оточуючому світі. Руйнування встановлених природою зв'язків призводить до негативного впливу середовища на людину: з'являються нові хвороби, проявляються природні катастрофи, катаклізми. Людина та людство тісно

пов'язані з навколишнім середовищем, від якого реально ніякими фізичними процесами не можуть бути відділені, хіба що в думці [2].

Більшість процесів, особливо руйнування природної геохімії, веде до негативних змін у природному середовищі, які можливо лише призупинити або, у кращому випадку, направити ланцюжок розпочатих змін в екологічно безпечне "русло".

На сьогодні ще не всі розуміють роль позитивної енергії, яку ми отримуємо від тваринного, рослинного та мінерального світу. Та цілком зрозуміло, що людство не може духовно розвиватися, не перебуваючи в гармонії з оточуючим середовищем. Передбачається, що першими енергополюс людини приймають приручені тварини, за ними – рослинний світ, потім мінерали [1].

© В. Нестеровський, М. Криницька, 2006