



УДК 553.411:551.311.231(477)

АСПЕКТИ ЗОЛОТОНОСНОСТІ КОРИ ВИВІТРЮВАННЯ РУДОНОСНИХ ПОРІД РОДОВИЩА БАЛКА ШИРОКА

М.С. Ковальчук, Ю.В. Крошко, О.Ю. Шестаков

Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна,
kms1964@ukr.net, tamagoji.79@mail.ru, olshes@i.ua

У корі вивітрювання рудоносних порід родовища золота Балка Широка встановлено точки мінералізації і рудопрояви золота. Комплексність аномалій золота і його супутників загалом віддзеркалює асоціацію елементів у кристалічному фундаменті, зокрема, аномалії золота супроводжуються аномаліями срібла, арсену, міді, меншою мірою – свинцю і нікелю. Рудне золото головним чином пов'язане із сульфідами, які доволі легко руйнуються в зоні гіпергенезу. В корі вивітрювання золота, вивільнившись від сульфідів, переходить у міграційноздатні форми та перерозподіляється у профілі кори вивітрювання, утворюючи ореоли вторинного золотого збагачення. Завдяки мобілізованому золоту (яке мігрує, перерозподіляється, концентрується) відбувається багато-стадійний процес природного збагачення кори вивітрювання.

Ключові слова: золото, родовище золота Балка Широка, кора вивітрювання, вторинні ореоли збагачення.

ASPECTS OF THE GOLD MINERALIZATION IN THE WEATHERING CRUST OF THE BALKA SHYROKA DEPOSIT'S ORE-BEARING ROCKS

M.S. Koval'chuk, Yu.V. Kroshko, O.Yu. Shestakov

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, 55-b, O. Honchar st., Kyiv, 01054, Ukraine,
kms1964@ukr.net, tamagoji.79@mail.ru, olshes@i.ua

The points of mineralization and ore occurrence of gold are established in the weathering crust of the Balka Shyroka gold deposit's ore-bearing rocks. Anomalies of gold and its satellites reflect the elements' associations of crystalline basement in the whole. Abnormal gold variations are observed together with those of silver, arsenic, copper. Anomalies of lead and nickel are here too but in the less quantity. Ore gold connects in main with sulfides, which are destroyed in the hypergenesis zone quite easy. In the weathering crust gold loses sulfides, turns into the mobile forms; after that gold is relocated in the weathering profile and like so produces the aureoles of the secondary golden enrichment. The multistage process of natural weathering crust's beneficiation originates through mobilized gold which migrates, rearranges and concentrates.

Keywords: gold, gold deposit Balka Shyroka, weathering crust, aureoles of the secondary enrichment.

АСПЕКТЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ РУДОНОСНЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЛКА ШИРОКАЯ

М.С. Ковальчук, Ю.В. Крошко, О.Ю. Шестаков

Институт геологических наук НАН Украины, ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина,
kms1964@ukr.net, tamagoji.79@mail.ru, olshes@i.ua

В коре выветривания рудоносных пород месторождения золота Балка Широкая установлено точки минерализации и рудопоявления золота. Комплексность аномалий золота и его спутников в целом отражает ассоциации элементов в кристаллическом фундаменте, в частности, аномалии золота сопровождаются аномалиями серебра, мышьяка, меди, в меньшей степени – свинца и никеля. Рудное золото главным образом связано с сульфидами, которые довольно легко разрушаются в зоне гипергенеза. В коре выветривания золото, высвободившись от сульфидов, переходит в миграционноспособные формы и перераспределяется в профиле коры выветривания, образуя ореолы вторичного золотого обогащения. Благодаря мобилизованному золоту (которое мигрирует, перераспределяется, концентрируется) происходит многостадийный процесс естественного обогащения коры выветривания.

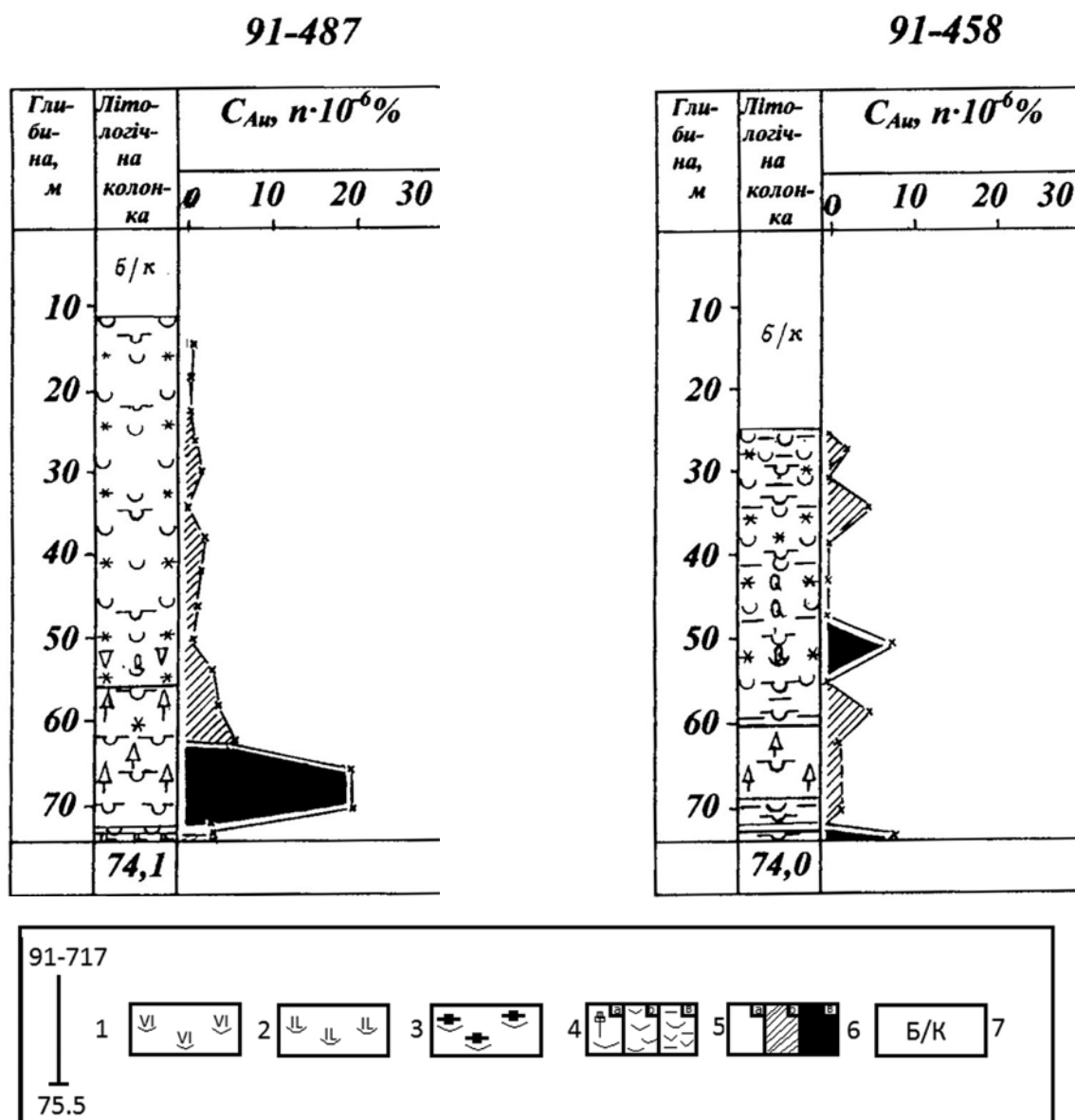
Ключевые слова: золото, месторождение золота Балка Широкая, кора выветривания, вторичные ореолы обогащения.

Вступ

Кори вивітрювання як джерело золота вже давно при-
ваблювали геологів. Однак під час вивчення ендеген-
них золоторудних проявів через уявлення, що історич-
но склалися про високу хімічну інертність металу за
екзогенних умов, кори вивітрювання трактували лише
як сприятливий чинник для формування його розсіпів
та осадових родовищ. Після того як з'ясували добру мі-
граційну здатність золота в процесах короутворення, яке
контрольоване типом вивітрювання, складом вихідних
порід та низкою інших чинників, увага до вивчення зо-
лотоносності кір вивітрювання значно зросла. Родовища
золота в глинистих корах вивітрювання становлять для
України новий перспективний геологопромисловий тип.

Постановка проблеми

Родовище Балка Широка розташоване в Нікопольсько-
му районі Дніпропетровської області, в 5 кілометрах
на північ від с. Чкалове і вважається найбільш пер-
спективним у межах Чортомлицької зеленокам'яної
структури. Геологічну будову, рудноформаційну, міне-
ралогічну характеристику родовища Балка Широка,
характеристику мінералів і мінеральних асоціацій в
різні роки висвітлили у виробничих звітах та науко-
вих працях І.Р. Білоус, О.Б. Бобров, С.М. Бондаренко,
М.М. Кір'янов, А.І. Корнієнко, В.С. Монахов, С.В. Не-
чаєв, К.І. Ніколенко, М.Л. Осадченко, В.М. Петько,
С.О. Рокачов, Ю.А. Фомін та ін. Ділянка родовища
Балка Широка – це південно-західний фрагмент Ши-



Умовні позначення. 1 – свердловини та їх номери (вгорі) і глибини (внизу); кора вивітрювання: гідрослюдиста (зона гідролізу); 2 – по метабазах; 3 – по метадіабах; 4 – по залізистих кварцитах; 5 – кора вивітрювання по сланцях: а – структурна (зона дезінтеграції і вилуговування), б – гідрослюдиста (зона початкового гідролізу), в – каолінова (зона кінцевого гідролізу та окиснення); 6 – інтервали вмісту золота: а – значення вмісту золота у пробі < модального значення вмісту, б – значення вмісту золота у пробі < модального значення вмісту < верхньої межі фону, в – значення вмісту золота > верхньої межі фону; 7 – буріння без відбору керну.

Legend. 1 – Boreholes and their numbers (top) and depth (below); weathering crust: hydromica (hydrolysis zone) 2 – by metabasites; 3 – by metadiabases; 4 – by ferruginous quartzites; 5 – weathering crust in shales: a – structural (zone of disintegration and leaching), b – hydromica (zone of primary hydrolysis), c – kaolin (zone of final hydrolysis and oxidation); 6 – intervals gold content: a – gold content in the sample is less than the modal value content, b – gold content in the sample is less than the modal value content and upper limit of background, c – gold content in the sample is more than upper limit of background; 7 – drilling without coring.

Рис. 1. Літогеохімічні колонки свердловин, що розкрили кору вивітрювання, з вмістами золота
 Fig. 1. Lithochemical column boreholes revealed weathering crust with gold content

рокобалківської палеовулканічної структури, оконтурений системою кільцевих дайок. Геологічний розріз родовища складають дві групи порід: ефузивні та інтрузивні комагмати. З ефузивних найбільше поширені метабазальти і метаандезити, які залягають у вигляді потужних потоків. Їх проривають дайки від ультраосновного до кислого складу. Залізисті кварцити, силікат-

но-залізисті і карбонатно-залізисті породи перебувають у зв'язку з інтрузивними породами, часто розташовуючись на їх контактах з ефузивною товщею. Рудні поклади і мінералізовані зони розвиваються по всіх без винятку петротипах порід: від ультраосновних до кислих, як серед інтрузивних, так і серед ефузивних утворень [6]. Найбільш сприятливими для локалізації зру-

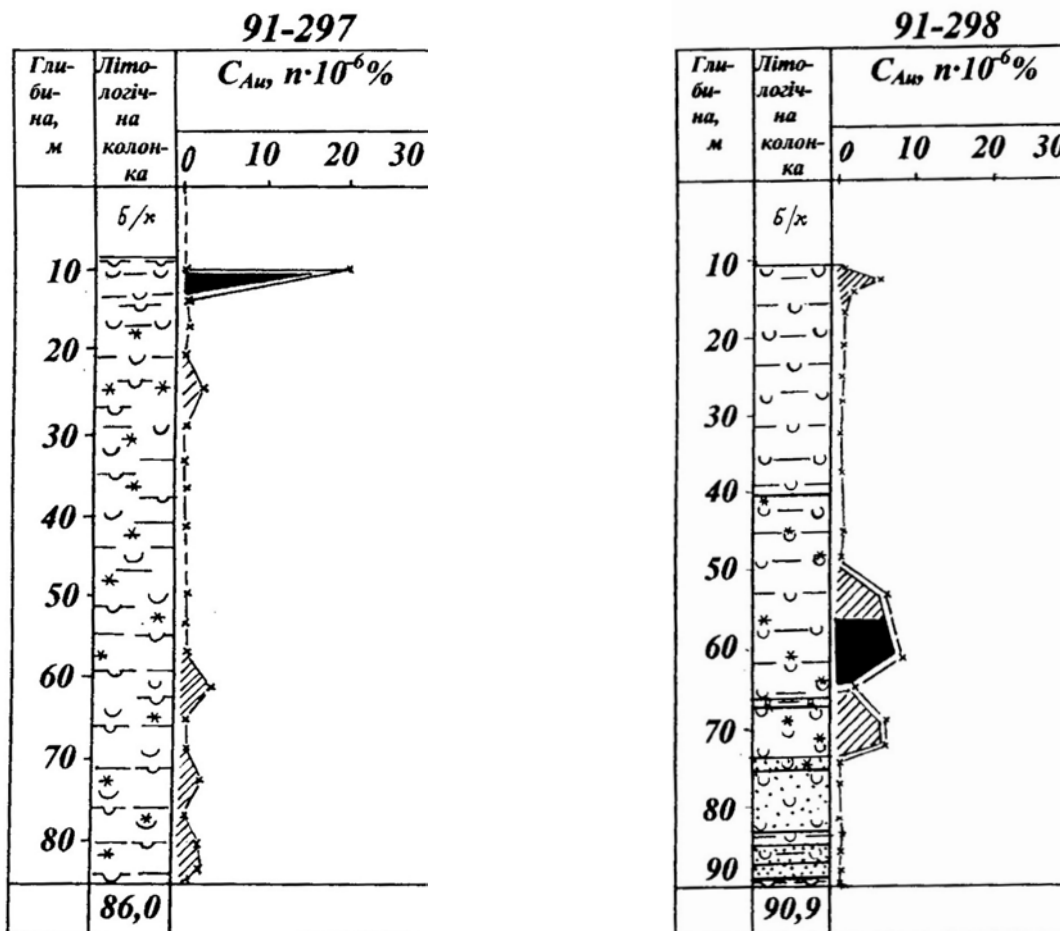


Рис. 1. Літогеохімічні колонки свердловин, що розкрили кору вивітрювання, з вмістами золота (продовження)
 Fig. 1 Lithochemical column boreholes revealed weathering crust with gold content (continuation)

деніння є тіла залізистих кварцитів (фон 36 – 113 г/т), карбонатно-залізистих і силікатно-залізистих порід, які були механічними і хімічними бар'єрами на шляхах міграції золотоносних гідротермальних розчинів. Золоторудні зони проявляються в породах як прояви дроблення, катаклазу, розсланцювання і брекчіювання, вздовж яких розвинуті окварцювання, карбонатизація і сульфідизація; їх потужність до 50 м [2; 6]. Золоторудні тіла і мінералізовані зони супроводжуються ореолами гідротермально-метасоматично (березит-лиственітового ряду) змінених порід, а також ореолами ендегенного розсіювання елементів-супутників золота (Ag, As, Cu, Pb, Zn, зрідка Mo і Bi).

За мінеральним складом руди золота поділяються на сім типів: 1) золото-кварцовий; 2) золото-сульфідно-кварцовий; 3) золото-сульфідно-залізистий; 4) золото-поліметалічний; 5) золото-колчеданний; 6) золото-кварц-пірит-арсенопіритовий; 7) золото-срібно-поліметалічний [2-4; 6; 10-12].

Активне, детальне дослідження ендегенного золотого зруденіння на родовищі Балка Широка залишило поза увагою питання золотоносності палеозой-мезозойської площової кори хімічного вивітрювання, яка повсюдно залягає на золотоносних породах докембрію. У корах вивітрювання і зонах окиснення золотовмісних

сульфідних руд зосереджено значні поклади гідрогенного золота й інтенсивно відбуваються його процеси мобілізації, міграції та концентрації (завдяки активній участі біосу та флювіальних процесів), що визначаються окисно-відновним потенціалом та рівнем ґрунтових вод. Зважаючи на переважаючий зв'язок золота з мінералами, які легко руйнуються в зоні гіпергенезу, цілком актуальним є дослідження перерозподілу золота в корі вивітрювання рудовмісних порід та формування вторинних ореолів золотого збагачення.

Загальні риси зональності кори вивітрювання та розподілу в ній золота і його елементів-супутників були частково розглянуті у дисертаційній роботі О.Ю. Шестакова та його наукових працях зі співавторами.

Результати дослідження

Потужність палеозой-мезозойської площової кори хімічного вивітрювання на окремих ділянках родовища Балка Широка досягає 83 м. Профіль кори вивітрювання складається з таких зон: зона дезінтеграції і вилугування (до 16 м); зона гідролізу (до 23 м); зона кінцевого гідролізу та окиснення (до 44 м) [13]. Забарвлення окремих зон та кори вивітрювання загалом строкате (біле, світло-сіре, сіре, червоно-жовте та ін.)

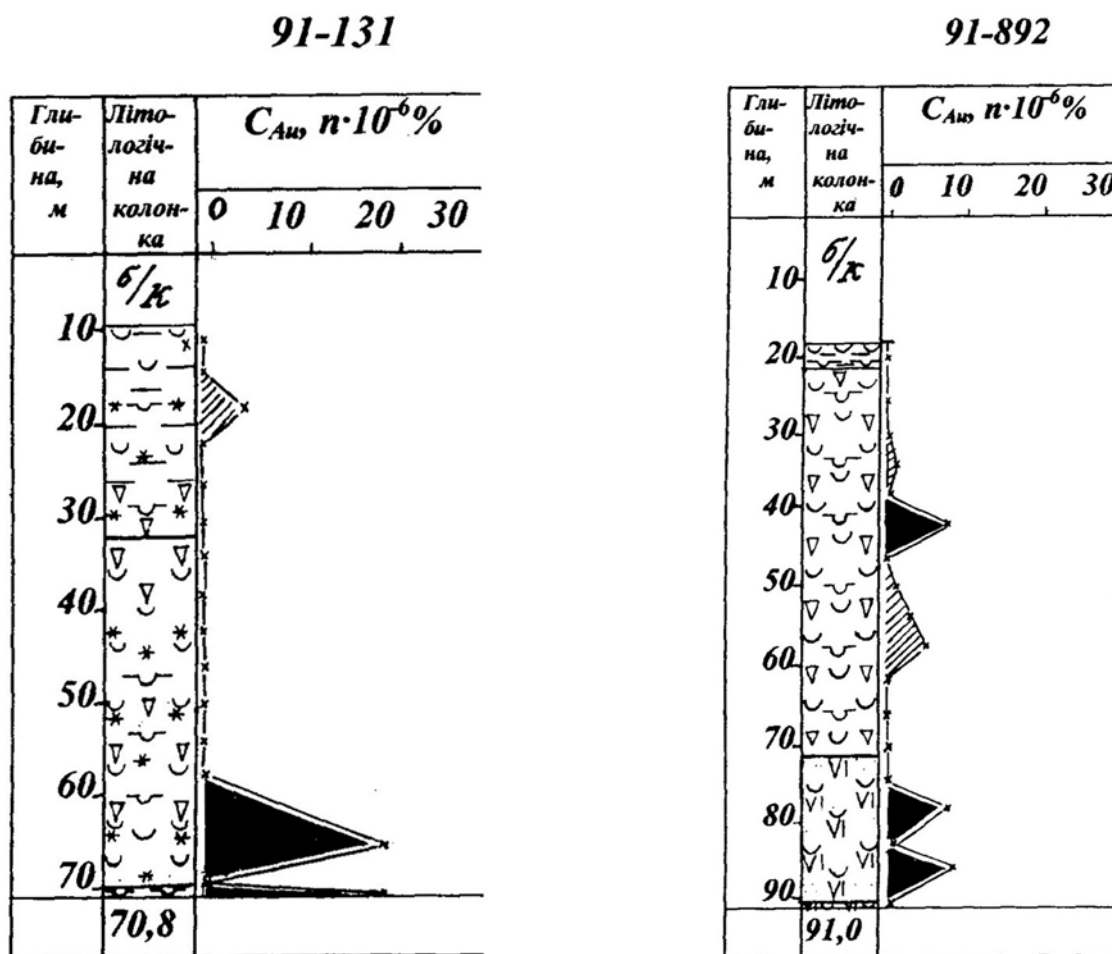


Рис. 1. Літогеохімічні колонки свердловин, що розкрили кору вивітрювання, з вмістами золота (закінчення)
 Fig. 1 Lithochemical column boreholes revealed weathering crust with gold content (completion)

і зумовлене петротипом вихідних порід субстрату по яких утворився елювій, та переважанням певних гіпергенних мінералів. Елювій складений головне уламками материнських порід, кварцом, гідрослюдою, гідрохлоритом, серицитом, каолінітом, гетитом, гідрогетитом, гематитом, сидеритом та ін. Видиме золото в корі вивітрювання зустрічається рідкісно, однак в елювіальній товщі встановлено точки мінералізації і рудопрояви золота (вміст золота від 0,001 до 9 г/т).

Фактичним матеріалом досліджень слугували координати і опис свердловин, дані опробування свердловин на золото і його елементи-супутники. На підставі фактичного матеріалу автори побудували літогеохімічні колонки свердловин, які розкрили кору вивітрювання, та простежили розподіл золота у розрізі кори вивітрювання (рис.1).

За допомогою математико-статистичних методів (пакет прикладних програм Statistica-5) і ГІС-технологій (Golden Software Surfer) досліджено площовий і вертикальний розподіл золота в елювіальній товщі, а також встановлено геохімічні бар'єри та їх типи; створено структурно-літологічну модель золотоносної кори вивітрювання в межах родовища (карту зональності кори вивітрювання, карти підшови і поверхні

кори вивітрювання та її зон зокрема, карти розподілу золота в корі вивітрювання і в різних зонах зокрема). На підставі отриманих результатів встановлено:

- поверхня кори вивітрювання і окремих її зон ямчасто-пагорбкова та зумовлена різною стійкістю до процесів гіпергенезу порід субстрату (рис. 2);

- наявність контрастних аномалій золота в розрізі та по латералі кори вивітрювання свідчить про активну міграцію гідрогенного золота у профілі кори вивітрювання;

- аномалії золота у зоні дезінтеграції і вилуговування загалом збігаються за конфігурацією та інтенсивністю з ореолами, встановленими у материнських породах, і є їх продовженням, тобто успадкованими;

- аномалії золота супроводжуються аномаліями срібла, арсену, міді, меншою мірою – свинцю і нікелю;

- аномалії золота в зоні початкового і кінцевого гідролізів утворилися внаслідок міграції гідрогенного золота в профілі кори вивітрювання і його осадження на геохімічних бар'єрах;

- на межі зон кори вивітрювання відбувається зростання водневого показника рН, завдяки чому виникає лужний геохімічний бар'єр, який спричиняє руйнування комплексу $[AuCl_4]^-$, у вигляді якого золото

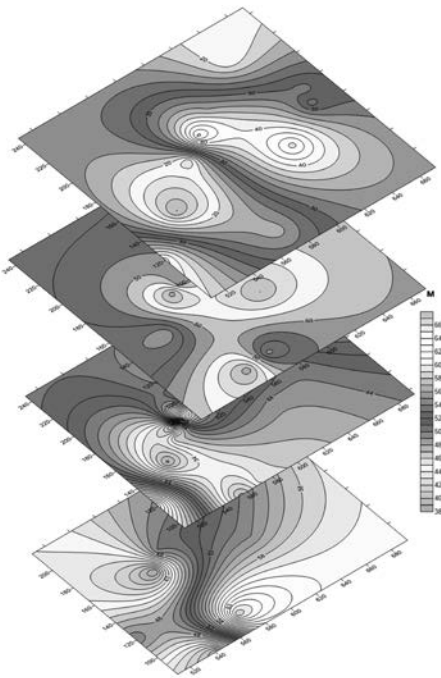


Рис. 2. Карта поверхні підшови зон кори вивітрювання (знизу вгору: зона дезінтеграції, зона вилугування, зона початкового гідролізу, зона кінцевого гідролізу)

Fig. 2. Map surface of middle zones weathering crusts (from the bottom up: the disintegration zone, zone of leaching, the area of the initial hydrolysis, the end zone of hydrolysis)

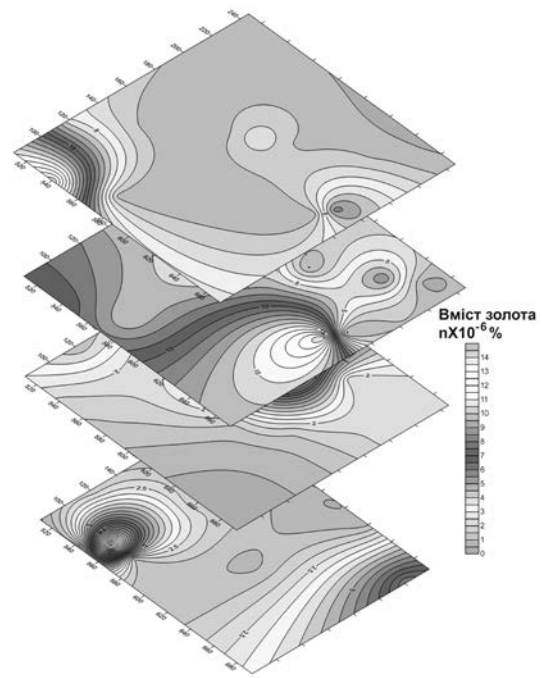


Рис. 3. Розподіл золота в зонах кори вивітрювання (знизу вгору: зона дезінтеграції, зона вилугування, зона початкового гідролізу, зона кінцевого гідролізу)

Fig. 3. Distribution of gold in of weathering crust (from the bottom up: the disintegration zone, zone of leaching, the area of the initial hydrolysis, the end zone of hydrolysis)

знаходиться у розчині [5; 8] та осадження металу на лужному геохімічному бар'єрі;

- наявність аномалій миш'яку (який не концентрується на лужному бар'єрі) та їх взаємозв'язок з аномаліями золота зумовлений тим, що переважно сульфідний тип руд золоторудної мінералізації у кристалічному фундаменті спричинює формування у корі вивітрювання відновного геохімічного бар'єру (додатково до лужного), на зразок того, який властивий для зон цементації сульфідних родовищ [9]; таким чином, виникає комбінований лужновідновний геохімічний бар'єр, що можливо згідно з рН – Eh діаграмами сульфат-сульфідної рівноваги [1];

- у профілі кори вивітрювання знизу вгору збільшується частка вільного й зв'язаного з оксидами й гідроксидами, глинистими мінералами золота та зменшується частка металу, зв'язаного із сульфідами та іншими мінералами;

- у зоні кінцевого гідролізу аномалії золота утворилися на сорбційному бар'єрі внаслідок його сорбції глинистими мінералами та гідроксидами заліза з розчинів;

- строкатий петрографічний склад порід субстрату та різний літолого-мінеральний склад кори вивітрювання зумовили мозаїчну картину золотоносності елювіальної товщі та окремих зон зокрема (рис. 3);

- у корі вивітрювання сланців переважно збагачені золотом зона дезінтеграції та вилугування і зона кінцевого гідролізу; в корі вивітрювання залізистих

кварцитів найбільше збагачена золотом зона початкового гідролізу; в корі вивітрювання порід основного складу золотоносність зменшується вгору за розрізом елювію, хоча іноді ореоли вторинного золотого збагачення формуються в зоні початкового гідролізу.

Висновки

Завдяки мобілізованому золоту (яке мігрує, перерозподіляється, концентрується) відбувається багатостадійний процес природного збагачення кори вивітрювання. Концентрація золота здійснюється шляхом збагачення ним продуктів вивітрювання внаслідок винесення рухомих петрогенних компонентів або концентрації гіпергенного золота (осадження з розчинів, випадіння колоїдів і тонкодисперсних золотинок, коагуляція золотоносних гелів, адсорбція золота на гідроксидах і оксидах заліза, марганцю, гіпергенних мінералах, органіці, глинистих мінералах) на геохімічних бар'єрах у різних зонах профілю елювію з утворенням горизонтів вторинного золотого збагачення.

Перетворення мінералів-концентраторів золота відбувається практично в усіх зонах вивітрювання, і тому в кожній зоні існує джерело міграційноздатного золота. Золото, яке вивільнилося з гіпогенних мінералів, сорбується новоутвореними мінералами, співосаджується з ними на геохімічних бар'єрах або ж виноситься за межі профілю.

У гіпергенних умовах ендегенне золото зазнає три стадії перетворення: розчинення; концентрація в порових розчинах і ґрунтових водах; осадження нових гіпергенних мінеральних форм. Золото, розсіяне в ендегенних мінералах, переходить у водний розчин одночасно з їх розчиненням і перерозподіляється між рідкою та гіпергенною твердою фазами залежно від характеристик геохімічного середовища. Залишкове золото в корі вивітрювання пов'язане з продовженням рудних тіл, а гідрогенне мігрує в профілі і, осаджуючись на геохімічних бар'єрах, формує ділянки гіпергенної золотоносності. Геохімічні бар'єри, на яких відбувається концентрація золота, зумовлені зміною літолого-мінерального складу в профілі елювію та рН і Eh середовища. Інтенсивність геохімічних аномалій зумовлена сорбційними властивостями гіпергенних мінералів субстрату кори вивітрювання та наявністю органічної речовини. У зв'язку з цим існують різні за походженням типи аномалій золота і його супутників у корі вивітрювання, які притаманні різним частинам її профілю: сорбційний (сорбенти – глинисті мінерали, гідроксиди заліза) і лужний при підлеглому значенні відновного.

Список літератури / References

1. Барабанов В.Ф. Геохимия. Москва. Недра, 1984. – 463 с. Varabanov V.F. 1984. Geochemistry. Moscow, Nedra, 463 p. (in Russian)
2. Белоус И.Р., Рокачев С.А., Кирьянов Н.Н., Петько В.Н., Осадченко Н.Л. Зона вторичного обогащения на золоторудном месторождении Балка Широкая (Среднеприднепровский блок Украинского щита). *Доп. НАН України*. 1999. № 5. С. 125-128. Belous I.R., Rogachev S.A., Kiryanov N.N., Petko V.N., Osadchenko N.L. 1999. The zone of secondary enrichment of gold Deposit Balka Shyroka (Middle Dniprean Block of the Ukrainian shield). *Reports the national Academy of Sciences of Ukraine*, vol. № 5, p. 125-128 (in Russian).
3. Бобров О.Б., Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Поздеев К.М., Сиворонов А.О. Генетична позиція та масштабність зручення родовища Балка Широка в аспекті обговорення деяких принципів генетичної типізації золотих родовищ України. *Мінеральні ресурси України*. № 3. 2003. С. 4-9. Bobrov O.B., Lyakhov Y.V., Pawlin M.M., Pozdeev K.M., Sivoronov A.O. 2003. Genetic position and scale of the mineralization of the Deposit Balka Shyroka in the aspect of discussion of certain principles of genetic typing of the gold deposits of Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*, vol. 3, pp. 4-9 (in Ukrainian).
4. Бобров А.Б., Сиворонов А.А. и др. Новые данные о геологии и условиях образования золоторудного месторождения Балка Широкая. *Відомості Академії гірничих наук України*. 1997. № 4. С. 86-92. Bobrov A.B., Sivoronov A.A. etc. 1997. New data on the geology and formation conditions of gold deposits Balka Shyroka. *Papers of the Academy of mining Sciences of Ukraine*, vol. 4, pp. 86-92 (in Russian).
5. Голева Г.А. Гидрогеохимия рудных элементов. Москва. Недра, 1977. 216 с. Goleva G.A. 1977. Hydrogeochemistry of ore elements Moscow, Nedra, 216 p. (in Russian).
6. Гурский Д.С., Есипчук К.Е., Калинин В.И. и др. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые, Киев – Львов. *Центр Європы*. 2005. 785 с. Gursky D.S., Esipchuk K.E., Kalinin V.S., etc. 2005. Metal and nonmetal minerals of Ukraine. Volume 1. Metallic minerals, Kyiv – Lviv. *Center of Europe*, 785 p. (in Ukrainian).
7. Ковальчук М.С. Особенности миграции золота в эволюционно-генетичному ряду залишкових кір вивітрювання і золотоносних розсипів. *Геол. журн.* 2001. № 2. С. 94 – 102. Kovalchuk M.S. 2001. Features migration of gold in evolutionary genetics number of residual weathered rock and gold-bearing placers. *Geological journal*, vol. 2, pp. 94 – 102 (in Ukrainian).
8. Колотов Б.А., Спасская Т.С., Миначева Л.И., Вагнер Б.Б. Кислый сорбционный барьер для золота в зоне гипергенеза рудных месторождений. *Геохимия*. 1975. № 12. С. 1898-1900. Kolotov B.A., Spasskaya T.S., Minacheva L.I., Wagner B.B. 1975. The acid sorption barrier for gold in the hypergenesis zone of ore deposits, *Geochemistry*, vol. 12, pp. 1898 – 1900 (in Russian).
9. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. Москва. Недра. 1972. 288 с. Perel'man A.I. 1972. Geochemistry of elements in the hypergenesis zone, Moscow, Nedra, 288 p. (in Russian)
10. Петько В.Н., Корниенко А.И., Кирьянов Н.Н. и др. Литолого-структурный контроль оруденения на месторождении золота Балка Широка. *Мінеральні ресурси України*. 1998. № 4. С. 39-41. Petko V.N., Kornienko A.I., Kiryanov N.N. etc. 1998. Lithological and structural control ore mineralization in the gold field Balka Shyroka, *Mineral resources of Ukraine*, vol. 4, pp. 39-41 (in Russian)
11. Фомин Ю.А., Савченко Л.Т., Демихов Ю.Н. и др. Золото-джеспилитовое оруденение Балки Широкая (Среднее Приднепровье). *Геол. журн.* 1994. № 3. С. 84-95. Fomin Yu.A., Savchenko L.T., Demikhov Yu.N. etc. 1994. Gold-jaspilite mineralization Balka Shyroka (middle Dnieper), *Geological journal*, vol. 3, pp. 84-95 (in Russian)
12. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Шибетский Ю.А. Золото-полиметаллическое рудопроявление Балка Широкая (Среднее Приднепровье). *Мінерал. журн.* 1996. Т. 18. № 1. С. 74-87. Fomin Yu.A., Demikhov Yu.N., Shibetskiy Yu.A. 1996. Gold-polymetallic occurrence of Balka Shyroka (Middle Dnieper). *Mineralogical journal*, vol. 18, iss. 1, pp. 74-87 (in Russian)
13. Шестаков О.Ю., Ковальчук М.С. Золото та його елементи-супутники в корі вивітрювання родовища Балка Широка. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2010. № 1. С. 53-63. Shestakov O.Y., Kovalchuk M.S. 2010. Gold and its satellite elements in the Balka Shyroka weathering crust, *Searching and ecological geochemistry*, vol. 1, pp. 53-63 (in Ukrainian).

Стаття надійшла 22.06.2015