

## ГЕОХІМІЧНІ АСПЕКТИ НИЖНЬОКРЕЙДОВИХ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ ПІВНІЧНОГО СХИЛУ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

**М.С. Ковальчук, Ю.В. Крошко**

*Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 55, б, Київ, Україна*

Висвітлено результати геохімічних досліджень нижньокрейдових континентальних відкладів північного схилу центральної частини Українського щита. Встановлено особливості розподілу основних породоутворювальних компонентів та мікроелементів у породах. Акцент зроблено на геохімію золота – одного з основних корисних компонентів товщі. Встановлено, що золото активно мігрувало у гідрогенній формі та концентрувалося на геохімічних бар'єрах на стадіях седиментогенезу і діагенезу. Встановлено, що на концентрацію золота значний вплив мали мікроорганізми.

*Ключові слова:* геохімія, нижня крейда, континентальні відклади, Український щит, золото.

**Вступ.** Територія північного схилу центральної частини Українського щита має складну геологічну і розламно-блокову будову, результатом якої є строкатий петрографічний склад порід кристалічного фундаменту, їх взаєморозташування у просторі та рудна мінералізація. Прояви золота у кристалічних породах фундаменту району досліджень різновікові та відрізняються за генезисом, морфологією, мінеральними формами. Прояви золота локалізовані в різноманітних породах дністровсько-бугської та росинсько-тікичської серій архею і представлені зонами окварцювання з золотом і сульфідами. Вони прослідковуються в графіт-біотитових і піроксен-плагіоклазових гнейсах, кристалосланцях, амфіболітах. Складна розламно-блокова тектоніка обумовила диференціацію тектонічних рухів як уздовж диз'юнктивних порушень так і вздовж контактів різних за генезисом і петрографічним складом порід, що призвело до створення тектонічних депресій. До початку крейдового періоду територія являла собою припідняту ділянку суходолу [2]. На території встановився стабільний тектонічний режим і відбулася пенеппенізація рельєфу. В умовах гумідного тропічного клімату на різних за генезисом, віком і петрографічним складом породах фундаменту сформувалися площові і лінійні каолінові та латеритні кори вивітрювання. Гумідний тропічний клімат обумовив збільшення кількості атмосферних опадів, які почали інтенсивно розмивати розпушені корутворенням породи кристалічного фундаменту. Формування постійних водних артерій відбувалося по ослаблених ділянках земної кори – тектонічних депресіях, контрольованих диз'юнктивними

порушеннями різного рангу, блоковою тектонікою і зонами контактів різних за петрографічним складом порід. Нижньокрейдові континентальні відклади, що виповнюють ерозійно-тектонічні депресії, є найбільш давніми континентальними утвореннями в межах центральної частини Українського щита. Вони збереглися від розмиву до наших днів у вигляді звивистих гілкоподібних смуг, що нагадують контури річкових долин, загальна схема яких була намічена Векличем М.Ф., Гойжевським О.О. та ін. [1, 3]. Питання просторового поширення, стратиграфічного розчленування, будови, літологічного і мінерального складу континентальних відкладів у різні роки висвітлили в наукових працях і виробничих звітах Ю.Б. Басс, Н.М. Баранова, Ю.І. Ветров, М.А. Воронова, Ф.М. Дисса, М.Д. Ельянов, С.Я. Єгорова, К.М. Заруцький, В.Г. Злобенко, О.Ф. Зуєв, М.С. Ковальчук, О.К. Мазур, В.Т. Погрібний, В.К. Рябчун, В.М. Соловицький, Г.С. Соловійов, О.Є. Шевченко та ін. В останні роки значна увага приділяється питанням золотоносності нижньокрейдових континентальних відкладів (Ковальчук М.С., Крошко Ю.В.). Завдяки цим роботам встановлено типоморфні особливості розсипного золота, створено цифрову структурно-літологічну модель перспективного розсипу в межах Канів-Звенигородської річкової палеодолини. Комплексні літологічні дослідження нижньокрейдових континентальних відкладів показали слабку їх геохімічну вивченість, зокрема це стосується питань геохімії золота – одного з основних корисних компонентів зазначених утворень.

**Результати дослідження.** Континентальні алювіальні утворення апту–нижнього альбу утворюють нижньокрейдову, континентальну, плат-

формну, гумідну, передтрансгресивну, піщано-глинисту субформацію [2]. Товщина відкладів субформації досягає 32,7 м. Залягають відклади на глибині 0–140 м від поверхні. Літологічний склад нижньокрейдових континентальних відкладів є строкатим, невитриманим за простяганням і значною мірою визначений складом кори вивітрювання кристалічних порід фундаменту, в межах яких закладені річкові палеодолини. У межах алювіальної фації виділені наступні мікрофації:

– стрижнева, представлена піщано-гравійно-галечниковими, каоліністими відкладами, інколи з бобовинами або уламками бокситів;

– руслова, представлена гравійними каоліністими відкладами, інколи з галькою кварцу;

– прируслової відмілини, що характеризується крупнозернистими і різнозернистими каоліністими пісками з гравієм;

– внутрішньої заплави, охарактеризованої середньозернистими каоліністими пісками, запісоченими вторинними каолінами і бокситоподібними породами;

– зовнішньої заплави, що представлена тонко і дрібнозернистими каоліністими пісками, вторинними каолінами і каоліновими глинами.

Провідна роль у будові континентальних утворень належить глинистим породам, які часто утворюють гомогенну товщу. Складені глинисті породи переважно каолінітом з меншим вмістом гідроліту, гібситу, гідраргіліту, монтморилоніту.

У нижньокрейдових континентальних відкладах виділяють від одного до шести циклів осадоконакопичення. Товщина кожного циклу становить 0–15 м. Розріз кожного циклу в загальному вигляді характеризується поступовим зменшенням до верху розмірів часток осадків.

Річкові долини стали вмістилищем різних корисних копалин, зокрема ільменіту, монациту, золота, бокситів, вторинних каолінів та вогнетривких глин [2]. Корисні копалини характеризуються стійким зв'язком з певними літофаціальними комплексами, генетичними типами відкладів і фаціями, утворення яких контролювалося відповідними палеогеографічними обстановками, визначеними тектонічним режимом, рельєфом, кліматом.

Водотоки, протікаючи по корах звітрювання різноманітних гірських порід, розмивали їх і частково або повністю успадковували геохімічні особливості, які існували в межах розвитку кори вивітрювання.

Аналіз результатів хімічного і спектрального аналізу різних типів порід з нижньокрейдяного

алювію північного схилу центральної частини Українського щита дозволив встановити деякі закономірності розподілу основних породоутворювальних компонентів та мікроелементів у породах.

Середній вміст кремнезему збільшується в напрямку: боксити – бокситовидні породи – вторинні каоліни – каолінові глини – піщано-глинисті породи – гравійно-галечні – різнозернисті піски. Середній вміст глинозему зростає в протилежному напрямку. Середній вміст  $Fe_2O_3$  зростає в напрямку різнозернисті піски – гравійно-галечні породи – піщано-глинисті породи – вторинні каоліни – бокситовидні породи – боксити – каолінові глини. Вміст  $TiO_2$  зростає у ряду різнозернисті піски – піщано-глинисті породи – гравійно-галечні породи – каолінові глини – вторинні каоліни – бокситовидні породи – боксити. Вміст  $CaO$  зростає у ряду уламкові – хемогенні – глинисті породи. У цьому ж напрямку зростає вміст  $P_2O_5$ ,  $SO_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ .

Встановлено, що величина модуля  $TiO_2/MnO$  у товщі вгору за розрізом поступово зменшується (18,0 – 11,0 – 8,3 – 5,6 – 2,8), що вказує на поступове зменшення привнесу теригенного матеріалу і трансгресії моря. Значення співвідношення  $Fe_2O_3/FeO$  в породах, головним чином,  $>1$ , що характерно для середовища зі слабкокислою геохімічною обстановкою. Значне коливання породоутворювальних компонентів ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ) відображає неоднорідний характер відкладів. Встановлено, що значення модулів  $Al_2O_3/SiO_2$ ,  $TiO_2/SiO_2$ ,  $Fe_2O_3/SiO_2$ ,  $Fe_2O_3/TiO_2$  зростає в напрямку уламкові – глинисті – хемогенні породи. Це вказує на єдиний процес їх утворення.

За допомогою спектрального аналізу в породах товщі встановлено 36 мікроелементів. З них, за [4], %: дуже рухомі – 2,85, рухомі – 11,43, слаборухомі – 22,86, рухомі та слаборухомі при певних умовах – 28,58, малорухомі – 34,28. Таким чином, товщу складають мікроелементи мало- та слаборухомі з підлеглим значенням рухомих і дуже рухомих. Це вказує на те, що в умовах гумідного клімату рухомі елементи майже повністю виносились у морський басейн. З дуже рухомих елементів у товщі наявна сірка. У гумідній зоні ландшафти дуже бідні на сірку [4]. Наявність сірки в товщі пояснюється зв'язком з органічною речовиною, піритом і марказитом, які сформувалися під час діагенезу.

Форми переносу та накопичення мікроелементів різноманітні: механічна форма переносу (в уламках гірських порід та мінералах) – Si, Al, K, Na, Ca, Mg, Fe, Ga, Ti, Zr, Hf, Au та ін.; у складі

глинистих частинок – Si, K, Na, Al, Mg, Fe, Mn, Ca, Au та ін; адсорбовані глинистими мінералами та органічною речовиною – Ti, V, Cr, Ni, Cu, Au; в колоїдних розчинах – оксиди Si – Al, Fe, Mn, Au та ін.; у суспендованому стані – Fe, Mn, Ni, Cu, V, Cr, K, Li, Pb, Cs, Co, Au та ін.

У зв'язку зі вказаними формами переносу мікроелементів спостерігається зональність їхнього (вертикального) розподілу у ряді руслова фація – фація прируслової відмілини – заплавної фація. У цьому ж напрямку поступово і закономірно зменшується вміст Si, Fe (III), Na, Ca, Mg і збільшується вміст Al, P, Ni, Co, Cr, V, Cu, Ba, Ca та інших мікроелементів.

Загальна кількість мікроелементів збільшується в напрямку хемогенні – глинисті – піщано-глинисті породи. Це обумовлено тим, що утворення змішаних порід пов'язане з накладанням багатьох форм седиментації елементів, накопичення в них мікроелементів має складний змішаний характер.

Для золота переважною формою міграції та концентрації/розсіювання є механічна. Золото виявлено в усіх літофаціях і фаціальних обстановках [2, 3]. Вміст металу в утвореннях формаційної одиниці коливається в широких межах – від одиничних знаків на шліх до 2,23 г/м<sup>3</sup>. Золотоносні тіла в розрізі алювіальних відкладів представлені «кущами», «кишенями», які формувались в западинах плотику, стрічко- і лінзоподібними тілами, що розташовані в приплотиковому шарі або високо над ним [1–3]. Із золотом у розрізі асоціюють ільменіт, каситерит, сфалерит, галеніт, монацит. Часто спостерігаються зростки золота з іншими мінералами (кварц, циркон, пірит, вісмутин).

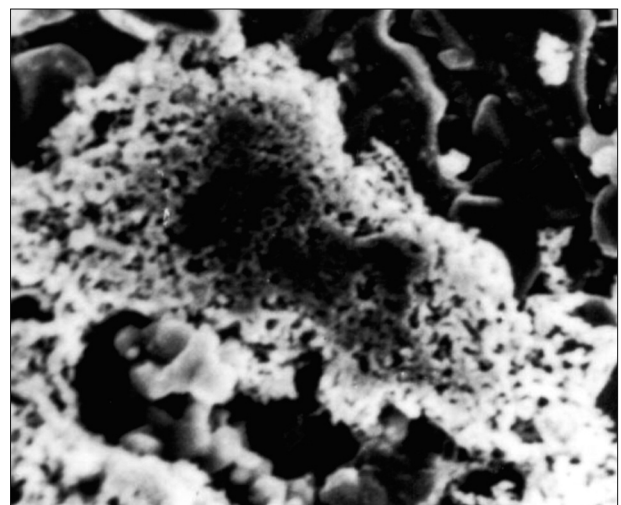
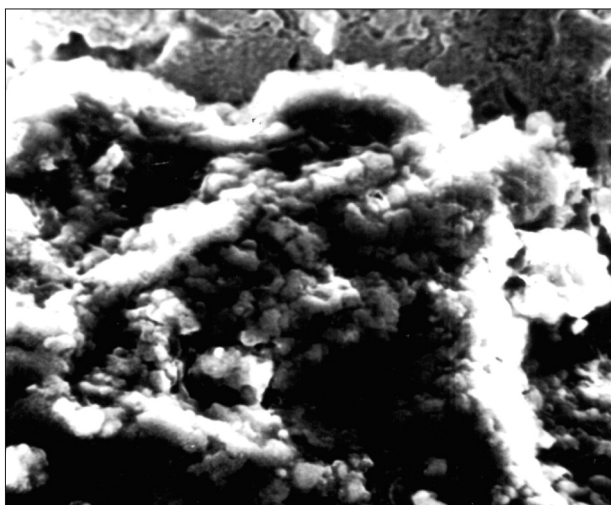
Відмічено золото в «сорочці» кремнезему. Іноді золотини вкриті тонкою кірочкою глинистої речовини білого, жовтувато-білого кольору.

Форма золотин досить різна, подекуди екзотична [2, 3]. Переважає золото у вигляді тонких лусочок, пластинок неправильної, часто викривленої форми з плавними або частково порізнаними, іноді загнутими краями. Підпорядковане значення мають золотинки короткотаблитчастого, сигароподібного, псевдооктаедричного, коржикоподібного габітусу.

За хімічним складом золото високопробне. Причому пробність золота майже завжди дещо вища в крайових частинах зерен, ніж у центральних.

Розмір золота змінюється від 0,01 до 3,5 мм. За гранулометричним розміром воно поділяється на шість класів: велике, середнє, дрібне, дуже дрібне, тонке і пилоподібне, проте основна частина належить до пилоподібного (0,01–0,05 мм), тонкого (0,05–0,1 мм) та дуже дрібного (0,1–0,25 мм) класу.

Простежується пряма залежність між вмістом золота, наявністю, крупністю кварцевої гальки і глинистою речовиною. Так, встановлено прямий кореляційний зв'язок між виходом золота тонких гранулометричних класів і вмістом глинистої фракції в осадках. Осадки зі значним вмістом глинистої складової були пастками на шляху міграції тонкого та тонкодисперсного золота. Внаслідок перемиву глинистих кір вивітрювання суттєва концентрація золота відбувалася вже у процесі відмучування, інтенсивність якого збільшувалася із багатоводністю ріки та зі зростанням у складі пухких продуктів, що перемивались, частки піщано-глинистих фракцій. Золотинки повністю



Псевдоморфози золота по мікробіологічним колоніям

вивільнювались лише за умов значної водонасиченості глин, тобто за наявності течій. В сухому і вологому стані грудки глин мали значну міцність та утримували золотинки, що містилися в них. Потрапивши у водний потік, глинисті грудки були більш мобільними, аніж окремі золотинки, і транспортували метал на значні відстані доти, поки не розмокали. Тоді золото, вивільнене від глинистої маси, незалежно від розміру, осаджувалося в будь-яких за гранулометричним складом осадах (це пояснює факт наявності більш крупних за розміром золотинок у дрібнішому алювії). Золото, що не встигло вивільнитися з катунів каоліну, осаджувалося разом з ним. Вміст золота в катунах каоліну – 0,003–0,03 г/т.

Значною за масштабами поширення є фізико-хімічна форма міграції та концентрації золота (поряд з біогенною). Експериментальні дані щодо осадження колоїдного золота на глинистих мінералах розсипів показали, що найбільш активним осаджувачем металу є каолініт. У зоні гіпергенезу для нього характерна недосконала кристалічна ґратка і дислокаційна поверхня, які сприяють адсорбції на ньому тонкодисперсного золота. Це пояснюється тим, що для золота розміром 0,01 мкм і менше, значну роль під час його міграції та осадження відіграють фізико-хімічні та хімічні процеси.

З наявністю каолініту пов'язана і найбільш масштабна біомінералізація золота на його пластинках. Оскільки структурна впорядкованість каолініту вища, а ентропія нижча, ніж монтморилоніту, то активність взаємодії каолініту з біоосадною системою значно вища. Завдяки цьому органічні молекули розташовуються не тільки на поверхні пластинок каолініту, а й у міжшаровому просторі. Наявність біосу та дислокаційності кристалічної ґратки є запорукою значних концентрацій золота в каолініті.

Біомінералізація золота виражена також в утворенні псевдоморфоз золота по мікроорганізмах. Мікроби та бактерії часто мають просту морфологію – кульки, крапельки, нитки, палички, гантелі тощо. Золоту, яке утворилося за участі органічної речовини, притаманні подібні морфологічні риси: куле-, крапле-, гантеле-, паличко- та амебоподібні, дуже високопробні ( $Au > 95,0 \%$ )

утворення, які характеризуються певною внутрішньою мікроморфологією, зокрема повторюють скелет організмів, по яких золото утворює псевдоморфози (рисунок).

Відмічена золотоносність діагенетичних мінералів дозволяє стверджувати про наявність міграційно здатного гідрогенного золота. Встановлено золото у фрамбоїдах піриту, пірит-марказитових конкреціях, лімоніті, зокрема вміст золота в пірит-марказитових конкреціях – 0,03–0,1 г/т. Окрім цього, встановлені автоепітаксичні нарости золота на механічно зношеному розсипному золоті, що вказує на наявність гідрогенних форм золота, їх міграції та концентрації в процесі літогенезу відкладів.

**Висновки.** Встановлені геохімічні особливості складу континентальних відкладів та їх компонентів вказують на складне поєднання фізико-хімічних умов формування нижньокрейдових континентальних відкладів, зокрема поєднання умов осадження теригенного, хемогенного матеріалів та сорбції глинистою речовиною, з істотною осадовою сепарацією важких мінералів.

Наявність видимого золота майже по всьому вертикальному розрізу глинисто-піщаних пачок і верств, які містять розсипне золото і залягають у товщі високо над її ложем, свідчить про перенос мінералу водними потоками вниз за течією, а наявність золота в пірит-марказитових конкреціях, діагенетичному піриті, лімоніті та глинистих мінералах – на перерозподіл металу на стадії діагенезу осадоної товщі.

Встановлено, що окрім кластогенного золота, в нижньокрейдових відкладах наявне також тонкодисперсне золото, його колоїдні та сольові форми, які не фіксуються гравітаційними методами збагачення, однак їх наявність підтверджує золотоносність гіпергенних і діагенетичних мінералів. Встановлено, що певна роль у формуванні золотоносності відкладів належить процесам біомінералізації. Участь органічної речовини у процесах біомінералізації золота виражена в мобілізації, міграції, концентрації золота і його сполук; каталізації процесів і регулюванні параметрів мінералоутворення; безпосередньому входженні мікроорганізмів у механізм еволюції мінералу тощо.

**Література**

1. Заруцкий К.М. Золото в мезо-кайнозойском осадочном покрове и коре выветривания докембрийских пород центральной части Украинского щита // Геохимия и рудообразование. – 1989. – № 12. – С. 89–92.
2. Ковальчук М.С. Літологія нижньокрейдових континентальних відкладів північного схилу центральної частини Українського щита та умови утворення в них розсипищ важких мінералів: дис. ... кандидата геол. мін. наук : 04.00.21 / Ковальчук Мирон Степанович. – К., 1993. – 230 с.
3. Ковальчук М.С., Крошко Ю.В. Мінералогія розсипного золота з нижньокрейдяного алювію центральної частини Українського щита // Зап. Укр. мінерал тов-ва. – К., 2011. – Т. 8. – С. 130–132.
4. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М., 1972. – 288 с.

*Koval'chuk M.S., Kroschko Yu.V. Geochemistry aspects of lower cretaceous continental deposits of north slope central part of the Ukrainian shield.* Highlight the results of geochemical studies of Lower Cretaceous continental deposits of the northern slope of the central part of the Ukrainian shield. The peculiarities of the distribution of major rock-forming components and trace elements in the rocks. Emphasis is placed on the geochemistry of gold - one of the main mineral components column. Found that gold actively migrated to hydrogenic form and concentrated on geochemical barriers at stages sedimentogenesis and diagenesis. It has been established that a significant effect of gold concentration on microorganisms provided. Key words: geochemistry, lower Cretaceous, continental deposits, Ukrainian shield, gold.

*Ковальчук М.С., Крошко Ю.В. Геохимические аспекты нижнемеловых континентальных отложений северного склона центральной части Украинского щита.* Освещены результаты геохимических исследований нижнемеловых континентальных отложений северного склона центральной части Украинского щита. Установлены особенности распределения основных породообразующих компонентов и микроэлементов в породах. Акцент сделан на геохимию золота – одного из основных полезных компонентов толщи. Установлено, что золото активно мигрировало в водородной форме и концентрировалось на геохимических барьерах на стадиях седиментогенеза и диагенеза. Установлено, что значительное влияние на концентрацию золота оказывали микроорганизмы. *Ключевые слова:* геохимия, нижний мел, континентальные отложения, Украинский щит, золото.

**Надійшла 01.07.2014.**