

ГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ПОШУКУ ЗОЛОТА В КОРАХ ВИВІТРЮВАННЯ КРИСТАЛІЧНОГО ФУНДАМЕНТУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА (БРУСИЛІВСЬКА ШОВНА ЗОНА І ПРИЛЕГЛІ ТЕРИТОРІЇ)

Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко, О.А. Жук, М.В. Кухар, Е.В. Панаїт
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна

Проведено аналіз вмісту золота та елементів-індикаторів у корінних породах та корях вивітрювання території Українського щита (УЩ), внаслідок чого систематизовано наявні золотоносні корінні породи та елементи-супутники золота. Представлено результати досліджень особливостей розподілу Au, Li, As, Y, Yb у об'єктах довкілля Брусилівської шовної зони (корінних породах, корях вивітрювання, ґрунтах, рослинах). Розроблена технологія проведення пошуків золота в корях вивітрювання за рухомими формами хімічних елементів шляхом літохімічного опробування — в зонах тектонічних порушень золотоносні кори вивітрювання можуть бути встановлені за аномаліями рухомих форм As та Li у поверхневих відкладах, на ділянках зон тектонічної стабільності — за аномаліями рухомих форм Y, Yb. За комплексом геохімічних факторів встановлена перспективна ділянка для проведення пошукових робіт на наявність золотого зруденіння у корях вивітрювання. Встановлено, що трав'яниста рослина (пирій) є концентратором золота і може бути індикатором зруденіння.

Ключові слова: золото, кора вивітрювання, елементи-індикатори.

Вступ. Натепер золотоносні кори вивітрювання становлять великий інтерес, що обумовлено відпрацюванням зони окиснення рудних родовищ з характерною для них високою концентрацією золота і достатньою збагачуваністю руд. У багатьох країнах світу почали активно використовувати золотоносні кори вивітрювання, що розвиваються на слабозолотоносних породах з розсіяною або прожилково-вкрапленою мінералізацією. Це стосується і території УЩ, де поширені золотоносні глинисті кори вивітрювання, які довгий час не викликали інтересу, і тільки нещодавно їхні перспективи стали оцінювати високо. Незважаючи на їх близькоповерхнєве розташування, глинисті кори вивітрювання зазвичай не розглядали під час геологорозвідувальних робіт, лише подеколи звертаючи на них увагу під час розвідки й експлуатації. Труднощі у виявленні родовищ подібного типу пояснюються недостатньою вивченістю геології золотоносних кор вивітрювання і відсутністю розроблених методик їх прогнозування і пошуків.

Головна мета роботи — розробка геохімічних критеріїв пошуку золотоносних кор вивітрювання за вторинними ореолами у межах Брусилівської шовної зони.

Методика досліджень. Літохімічне опробування проведено на ділянках з розвинутими кора-

ми вивітрювання. Опробування проводили тільки за сухої погоди, не раніше ніж на 4–5 день після дощу. Маса кожної проби становила 0,5 кг.

Аналітичні дослідження кристалічних порід та поверхневих відкладів виконано за допомогою комплексу аналітичних методів: напівкількісного спектрального аналізу (визначення виконано для 37 елементів), полум'яної емісійної фотометрії, атомної абсорбції, іон-селективного та ін. за стандартними методиками, а контрольні визначення — на ICP-MS (мас-спектрометр з індукційно-зв'язаною плазмою). Роботи виконано в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України.

Перед проведенням аналітичних вимірювань для встановлення кількісного вмісту хімічних елементів зразки піддавали хімічній обробці з метою переведення елементів, що визначаються, у розчин. У ході вивчення валового вмісту хімічного елементу використовували метод кислотного розкладання. Для вивчення рухомих форм наважку літохімічної проби, заздалегідь просіяну та відквартовану, клали у стакан місткістю 200 дм³, заливали відповідним екстрагентом (1 н HCl, амонійно-ацетатний буфер, вода, в залежності від хімічного елементу та досліджуваної форми знаходження) у відношенні тверда фаза — рідка фаза 1 : 10, струшували протягом заданого часу на струшувачі “Water bath shaker type 357” і відфільтровували розчин через фільтр “біла стрічка” у колбу.

Для визначення масової концентрації золота пробу вагою 10 г прожарювали у муфельній шафі 3 години за температури 750 °С, потім до проби додавали 25 дм³ розчину царської горілки та розчиняли протягом трьох годин за температури 100 °С. Після цього пробу залишали на 12 годин та відфільтровували у 100 дм³ колбу, доводячи до мітки 2н НСІ. Визначення вмісту проводили за допомогою методу атомної-абсорбції на спектрофотометрі С-115 М. Вміст рухомих форм важких металів вивчали в екстрагенті 1н НСІ.

Результати та обговорення. На сьогоднішній день встановлено, що перспективною на золоторудну мінералізацію є Придніпровська металогенічна зона — граніт-зеленокам'яна область. Рудопрояви та родовища гідротермально-метасоматичного типу приурочені до різних породних комплексів: протерозойських гранітно-гнейсових та архейських зеленокам'яних структур на території Кіровоградського та Середньопридніпровського мегаблоків (рис. 1).

Золотоносність території Брусилівської шовної зони була виявлена у 1970-х роках та визначена як перспективна. За матеріалами геологічної зйомки масштабу 1 : 50000 на території Житомирської та Вінницької областей (1979) було виявлено прояви золота та геохімічну спеціалізацію корінних порід. Встановлено, що у генетичному відношенні золоте зруденіння у вивченому районі

належить до золото-кварц-сульфідної та золото-скарнової рудних формацій.

Золотоносні кристалічні породи зафіксовано у Кочерівському районі, розташованому південніше від Коростенського плутону [7]. Тут розвинені метатеригенні, і рідше, метакорбонатно-теригенні породи нижньопротерозойської тетерівської серії. Вони представлені, переважно, графітвмісними гнейсами і кристалосланцями, що зазнали різною мірою процеси катаклазу, діафтолізу, калішпатизації, окварцювання, скарнування і сульфідизації (пірит, халькопірит, сфалерит, галеніт). Фоновий вміст золота — 0,01—0,07 г/т; в окварцьованих породах, гнейсах і кристалосланцях (Березівський прояв) — до 0,3—0,4 г/т; в окварцьованих, мікроклінізованих і сульфідизованих графіт-біотитових гнейсах і біотит-роговообманкових кристалосланцях (Чуднівський і Кочерівський прояви) до 0,15 г/т (Металіди та ін., 1992). Максимальний вміст (понад 0,3 г/т) фіксується в епідотизованих, окварцьованих і сульфідизованих (пірит, халькопірит) роговообманкових гнейсах, амфіболітах, габро, а також у заміщених пегматитах. Підвищені концентрації золота супроводжуються ореолами срібла, вісмуту, молібдену, олова, нікелю, міді та свинцю. Золоторудна мінералізація зафіксована також у силікатно-карбонатних кристалосланцях кочерівської світи тетерівської серії — 0,003—0,03 г/т. Золото представле-

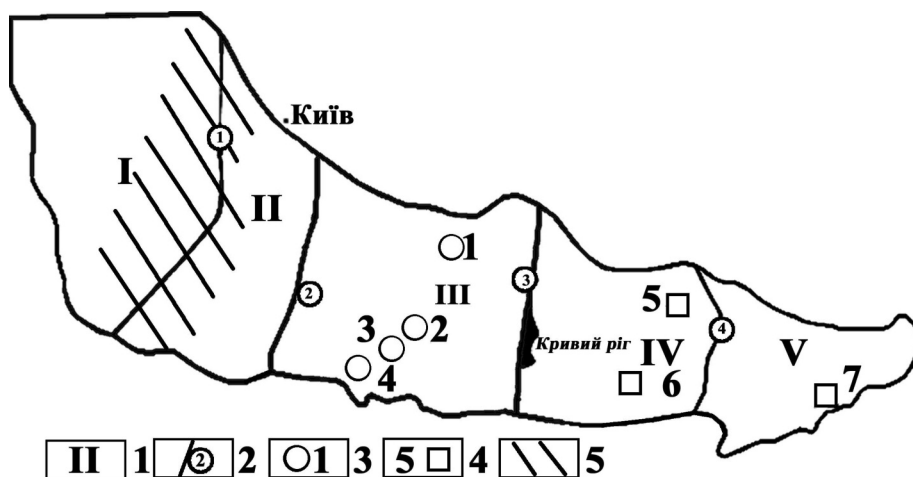


Рис. 1. Схема розташування золоторудних проявів на території УЩ [5]: 1 — мегаблоки (I — Волино-Подільський; II — Білоцерківсько-Середньобуззький; III — Кіровоградський; IV — Середньопридніпровський; V — Приазовський); 2 — шовні зони (1 — Немирівсько-Кочерівська (Брусилівська); 2 — Голованівсько-Ядлово-Трахтемирівська; 3 — Західно-Інгулецько-Криворізька; 4 — Оріхово-Павлоградська); 3 — гідротермально-метасоматичні, приурочені до протерозойських гранітно-гнейсових комплексів (1 — Клинцівське та Юрїївське родовища, 2 — Липняжське та Березівське рудні поля, 3 — Капітанське та Демов'ярьське рудні поля, 4 — Савранське рудне поле, Майське родовище); 4 — гідротермально-метасоматичні рудопрояви та родовища, пов'язані з архейськими зеленокам'яними структурами (5 — Сергіївське та Балка Золота — Сурський золоторудний район, 6 — Балка Широка, Чертомликський район, 7 — Суроцьке-Сорокинська зона); 5 — територія району досліджень (прояви золота в корах вивітрювання Брусилівської шовної зони)

но одиничними тонкими блідо-жовтими напівпрозорими лусочками до 0,1 мм в поперечнику. Провідний генетичний тип золотопроявів району — постультраметаморфічний.

Золоторудна мінералізація кристалічних порід Ружинського району (південніше Кочерівського району) виявлена в чудново-бердичівських гранат-біотитових гранітах і мігматитах, що містять тіла чарнокітів і останці різних за складом, але нерідко графітвмісних гнейсів і кристалосланців [7]. У екзо- і ендоконтактах гранітоїдів, у зонах Немирівського та Яготинського розломів, зафіксована підвищена золоторудна мінералізація в окварцованих і мікроклінізованих графітвмісних піроксен-біотитових гнейсах з сульфідами — 0,05—0,7 г/т (Північно-Ружинський і Ружинський прояви), в кварцових прожилках і жилах, які розсікають граніти і гнейси до 0,5 г/т (Липовецький прояв). Максимальний вміст золота (більше 1,0 г/т) приурочений до окварцованих і сульфідизованих габроїдів — Білилівський рудопрояв (Нечаєв, 1992). Золото знаходиться в асоціації з піритом, халькопіритом, самородним вісмутом, сріблом і телуром.

Золотоносні кори вивітрювання. Корінні золотоносні породи і руди, за якими утворюються

гіпергенні концентрації золота, часто самі по собі не становлять промислового інтересу, тому що вони мають низький вміст золота, що знаходиться в важкозбагачуваних формах (тонка вкрапленість у сульфідах, кварці, силікатах та ін.). Але питання щодо перспективності золотоносних кор вивітрювання не розглядалися, хоча вони є залишковим продуктом руйнування корінних порід [8]. Гіпергенні родовища золота характеризуються тим, що більшість із них лежить неглибоко і може бути відпрацьована відкритим способом, руди їх пухкі, і легкозбагачувані (з помітною часткою крупнозернистих і самородкових індивідів). У зв'язку з тим, що за наявності золотоносної мінералізації в кристалічних породах кора вивітрювання теж збагачена золотом, питання щодо процесів утворення кор вивітрювання стало об'єктом дослідження.

Утворення кор вивітрювання УЩ відбувалось за рахунок магматичних і осадово-метаморфічних порід, які піддавалися тривалому континентальному вивітрюванню. Протягом окремих геологічних епох існували сприятливі кліматичні, тектонічні та геоморфологічні умови для інтенсивного фізичного та хімічного вивітрювання і накопичення потужних елювіальних товщ — кори

Таблиця 1. Потужність кори вивітрювання кристалічних порід УЩ [7]

Область	Площа (% до загальної площі)	Потужність кори вивітрювання (% площі)				
		0 м	0–10 м	10–20 м	20–40 м	40–60 м та більше
Волино-Подільська	41	18	48	22	11	1
Центральна	28	46	32	11	9	2
Придніпровська	24	21	40	25	12	2
Приазовська	7	21	62	11	6	—
Разом по щиту (200 000 км ²)	100	26,6	42,6	18,9	10,4	1,5

Таблиця 2. Гіпергенні мінерали кори вивітрювання кристалічних порід Українського щита

порід	Мінеральний склад зон кори вивітрювання			
	перша зона	друга зона	третя зона	четверта зона
Кислі (граніти, мігматити, гнейси та ін.)	гіпергенні мінерали розвинені слабо	каолінит, гідрослюда (галуазит, гідрохлорит)	каолінит (гідрослюда, гідрогетит)	—
Основні (габроїди)		монтморилоніт, гідрохлорит, гідрослюда (каолінит, гідрогетит)	каолінит, гідрогетит (монтморилоніт, гідрослюда)	каолінит, гідрогетит (гібсит)
Основні (амфіболіти, амфіболові сланці)		гідрохлорит, монтморилоніт (гідрослюда, галуазит)	каолінит, гідрогетит (монтморилоніт, галуазит)	гібсит, гідрогетит (каолінит)
Ультраосновні (перидотити, піроксеніти, серпентиніти та ін.)		гідрохлорит, нонtronіт, гідрогетит (монтморилоніт)	гідрогетит, каолінит (нонтроніт)	гідрогетит, каолінит, гібсит
Лужні (нефелінові сієніти та ін.)		гідрослюда, гідрохлорит, галуазит (каолінит, монтморилоніт)	каолінит (галуазит, гідрогетит)	каолінит (гідрогетит, гібсит)

Примітка. Складено за фондовими матеріалами геологозіомочних робіт на території Житомирської, Київської та Вінницької областей, 1979.

вивітрювання. Умовно розділивши територію УЩ на окремі розмежовані розломами області (Волино-Подільська, Центральна, Придніпровська, Приазовська), можна дійти висновку щодо поширення і потужності кор вивітрювання в межах кожної з них (табл. 1). Так, на території Волино-Подільської та Центральної областей, у межах яких знаходиться Брусилівська шовна зона, переважна потужність кори вивітрювання становить 0—10 м, що свідчить про доцільність проведення пошукових робіт на золото.

У розрізі кори вивітрювання (табл. 2) виділяють три-чотири зони (знизу вгору): перша — початкових продуктів вивітрювання (дезінтеграція і вилуговування); друга — проміжних продуктів вивітрювання (монтморилоніту, нонтроніту, гідролюд); третя — стійких продуктів вивітрювання (каолініту і гідроксиду заліза); четверта — кінцевих продуктів вивітрювання (мінералів вільних окислів алюмінію і заліза).

В окремих випадках спостерігається скорочений профіль кори з випадінням другої проміжної зони. Склад і потужність кожної зони кори

зумовлені типом кристалічних порід, загальними та місцевими умовами вивітрювання, особливостями рельєфу та іншими факторами.

Кора вивітрювання середньомезозойської епохи широко поширена майже на всій території УЩ і місцями має більшу потужність (у межах Брусилівської шовної зони 6 м, зрідка до 30 м). Найхарактернішими рисами кори вивітрювання є: добре виражена вертикальна зональність, переважно глинистий склад, збереження структурних і текстурних рис материнських порід, переважно у нижніх частинах розрізу.

На кори вивітрювання Брусилівської шовної зони як самостійні золотомісні об'єкти вперше звернули увагу наприкінці 1970-х років, у результаті робіт Правобережної геологічної експедиції. Перші дані стосовно золотоносних кор вивітрювання було надано у 1979 році В.А. Голубевим (с. Білилівка), І.І. Бондарем (с. Запрудинці, Немиринці, Княжичі), С.М. Бондаренко (с. Педоси), у 1996 році С.М. Куликом (с. Сидори і Великі Єрчики), у 2003 році В.В. Зюльцле (с. Карачиїв, Куподеринці).

Таблиця 3. Вміст золота та інших елементів у корінних породах та корах вивітрювання Брусилівської шовної зони

Назва об'єкту (вмісні породи)	Вміст золота, г/т	Вміст інших елементів
Корінні породи		
с. Білилівка, прояв (габро сульфідизоване, окварцзоване, прожилок у граніті)	до 4,0	Cu (0,03 г/т), Bi (0,005 г/т), Ag (0,15 г/т)
с. Княжичі, точкова аномалія (амфіболіт окварцований, сульфідизований)	до 0,1	не встановлено
с. Куподеринці, площова аномалія (амфібол біотитові плагіогнейси)	до 0,3	Cu (0,02 г/т); Ag (0,2 г/т)
с. Педоси, площова аномалія (габро-амфіболіти гранітизовані)	до 0,07	Cu (0,05 г/т), U (0,06 г/т)
с. Зарудинці площова аномалія (графіт-біотитові гнейси сульфідизовані)	до 0,3	Zn, Pb (1 %)
Кора вивітрювання		
Глухівецьке родовище каоліну	до 0,03	Sc, W (0,01%)
Брусилівська площа (метасоматично змінені метабазити і гранітоїди)	0,015	Nb, Bi (до 0,03%), Sn, Be (до 0,01%)
Ружинсько-Липовецька площа (графітвмісні піроксен-біотитові гнейси)	0,01	Cu (до 0,03%), Ag (до 1,0 г/т)
Білокоровицька площа (кристалосланці)	0,01	Bi (0,0005 %), Zn (0,03 %), Nb (0,01 %)
Малокутищанський прояв	до 8,5	Ag (до 2 г/т), Pt (до 0,42 г/т)
с. Сидори, прояв (метасоматично змінені метабазити і гранітоїди)	до 10,0	Ag (190 г/т), Bi, Pb, Zn (0,1 %)
с. Великі Єрчики, прояв (ультрабазити)	до 0,26	Ag (79 г/т)
с. Карачиїв, площова аномалія (метабазити)	до 0,07	Cu (0,02 г/т), Zn (0,05 г/т)
с. Немиринці, площова аномалія (амфібол-піроксенові кристалосланці)	до 0,3	Cu (0,03 г/т)

Примітка. Складено за матеріалами робіт Правобережної геологічної експедиції, 1970—2010 рр.

У корях вивітрювання УЩ виявлено наступні форми існування золота: пилоподібне і тонкодисперсне; домішка у вторинних мінералах; “гідрогенне” золото; макроскопічно видиме. Вміст золота коливається від 0,005 до 10 г/т. Внаслідок систематизації відомостей щодо золотоносності корінних порід та кор вивітрювання Брусилівської шовної зони визначено, що крім золота, вони збагачені на Cu, Bi, Ag, Pb, Sn, Pt, Zn, Nb, W (табл. 3).

Поширеність золотоносних кор вивітрювання контролюється двома основними факторами: розвитком і збереженням регіональних кор вивітрювання та їх просторовим і генетичним зв'язком із золотоносними породами. Наприклад, за підвищеного вмісту золота (0,07 мг/кг) у корінних породах (метасоматично змінені метабазити і гранітоїди) ділянки с. Сидори концентрація золота у корях вивітрювання становить в середньому 1 мг/кг.

Завдяки аналізуванню вмісту золота у породах та корях вивітрювання (табл. 4) виявили загальну тенденцію: за загального вмісту золота у породах 0,005 мг/кг, концентраторами золота є гнейси-граніт-біотитові (0,05 мг/кг), кременисто-кварцові породи (0,32 мг/кг), габро-амфіболіти (0,07 мг/кг). Щодо кор вивітрювання — аномальний вміст золота — 0,3–0,54 мг/кг (за середнього 0,005 мг/кг) виявлений у гідрослюдисто-глинистій по сильно озалізованому перідотиту.

Систематизувавши результати досліджень щодо геохімічної спеціалізації корінних порід території УЩ у межах Брусилівської шовної зони ми отримали типові асоціації золота: гнейси і кристалосланці гранат-біотитові і біотитові — Cu, Ni, Co (Mo, Sn, Au, Ag) — мінералізація: халькопірит, арсенопірит, молібденіт, галеніт, піротін; гнейси і кристалосланці графіт-біотитові — Zn, Cu (Pb, Ni, Au, Ag, Y, Mo) — мінералізація: халькопірит, піротін, молібденіт; граніти і мігматити гранат-біотитові в “активізованих зонах” — Ba, Zr (Co, Au, Ag) — мінералізація: сфалерит, піротін, молібденіт; габро-норити, габро-амфіболіти — Co, Zr (Sn, V, Sc, Zn, Au, Ag) — мінералізація: піротін, халькопірит.

У зонах гіпергенеза поряд із золотом накопичуються цинк, ртуть, вольфрам, стибій та ін. Інтенсивність зруденіння золота та інших супутніх металів у корях вивітрювання може зростати у багато разів (порівняно з корінними породами). Це пов'язано з тим, що у корях вивітрювання золото вивільнялося внаслідок розкладання сульфідів, силікатів і карбонатів. Вторинне золото накопичується за рахунок осадження з розчинів, випадіння колоїдів і тонкодисперсних частинок, адсорбції

Таблиця. 4. Середній вміст золота в корінних породах та корях вивітрювання (Брусилівська шовна зона УЩ)

Порода	Au, мг/кг
Гнейс-граніт-біотитовий	0,05
Гнейс піроксеновий	0,007
Гнейс біотитовий	0,02
Гнейс гранат-біотитовий	0,005
Гнейс графіт-біотитовий	0,005–0,1
Гнейс гранітований графіт-біотитовий	0,01–0,02
Гнейс прокварцований з сульфідами	0,015
Кварц	0,005–0,01
Кварц-піроксен-магнетитовий	0,02
Кременисто-кварцова порода	0,32
Габро-діорит змінений	0,02
Габро-амфіболіт	0,07
Пегматит рожевий	0,005–0,007
Пегматит окварцований	0,015
Граніт пегматоїдний	0,01
Плагіограніт гранат-біотитовий	0,01
Піроксеніт серпентинізований	0,01–0,02
Піроксеніт	0,005
Кристалосланець амфібол-піроксеновий	0,02–0,03
Мігматит гранат-біотитовий	0,015
Мігматит з багатою сульфідною мінералізацією	0,02
Кора вивітрювання	
<i>Глиниста</i>	
Графіт-біотитового гнейсу	0,005–0,007
Серпентиніту (хлоритизована)	0,015–0,048
Габроїдів	0,005–0,009
<i>Гідрослюдисто-глиниста</i>	
Перідотиту (сильно озалізованого)	0,3–0,54
Серпентинізованого піроксеніту	0,05–0,19
Біотіту	0,13–0,20
<i>Гідрослюдисто-дресв'яна</i>	
Гнейсу	0,01–0,02
Піроксеніту	0,14–0,21
<i>Дресв'яна</i>	
Графіт-біотитового гнейсу	0,01–0,07

Примітка. За матеріалами звіту “Складання прогнозно-мінералізаційної карти на золото Правобережної експедиції”, 2002.

золота на гідроксидах і оксидах заліза, каолініті, гідрослюді та ін. На накопиченні золота в корях вивітрювання позитивно позначається потужність покривних утворень, які слугують екраном для гідрослюдисто-каолінового профілю, перешкоджаючи вивітрюванню та епігенетичним, поверхневим перетворенням. Ступінь гіпергенного концентрування золота залежить від складу короутворювальних порід, характеру і рівня їх золотоносності.

Різні породи характеризуються різною стійкістю до виносу з них золота в ході гіпергенного перетворення. Стійкість зростає в ряду порід різного складу: середні, кислі, основні, ультраосновні.

Аналізуючи концентрацію золота в золотоносних корах вивітрювання в межах ділянки Брусилівської шовної зони (рис. 2) визначили середній вміст золота — 0,005 мг/кг. Безумовно, перевищення у 10 і більше разів можуть викликати пошуковий інтерес.

При порівнянні вмісту золота в корінних породах та корах вивітрювання Брусилівської шовної зони можна встановити збільшення вмісту золота в 10 і більше разів у корах вивітрювання відносно корінних порід, що свідчить про його кон-

центрування за рахунок руйнації материнських порід (рис. 3).

Рудопрояв Сидори. Метою нашої роботи було встановлення геохімічних критеріїв виявлення золота в корах вивітрювання Брусилівської шовної зони за прямими і непрямими ознаками. Тому було проаналізовано вміст хімічних елементів у корінних породах і корах вивітрювання найбільш вивченого на цій території рудопрояву с. Сидори Білоцерківського району Київської області, де пробурено понад 100 свердловин (відстань між профілями від 30 до 400 м; між свердловинами в профілі — від 10 до 50 м). Ділянки золотоносності співпадають з площами, де розвинуті процеси діафорезу в умовах епідот-амфіболітової фації (рис. 4).

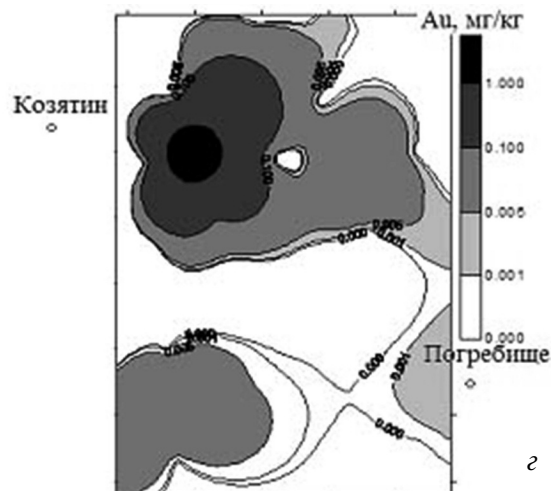
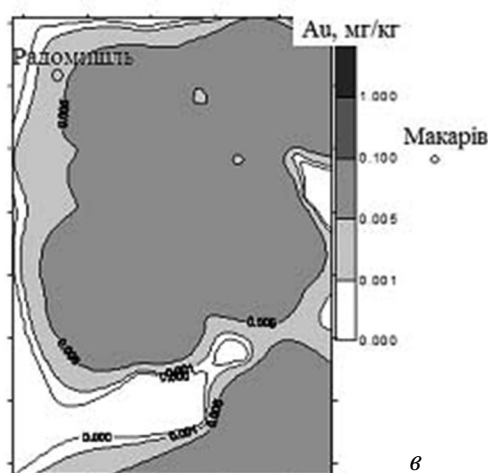
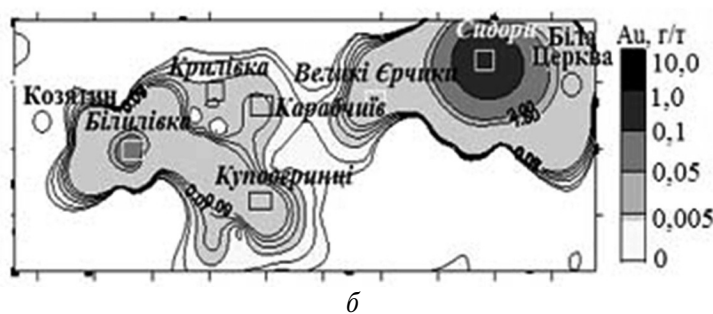
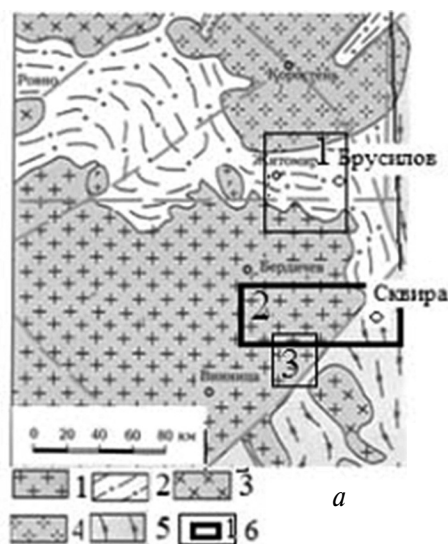


Рис. 2. Схема геологічної будови (а) та розподілу золота в корах вивітрювання на ділянках: б — Брусилівська, в — Сквирська, г — Ружинсько-Липовецька. 1 — гранітоїди бердичівського комплексу, 2 — граніти і мігматити житомирського комплексу, 3 — габро, діорити, гранодіорити і граніти осницького комплексу, 4 — анортозити, габро-анортозити, рапаківіподібні граніти коростенського комплексу, 5 — гранітоїди росинсько-тікицької серії, 6 — ділянка встановленої золоторудної мінералізації в корах вивітрювання та її номер: 1 — Брусилівська, 2 — Сквирська, 3 — Ружинсько-Липовецька

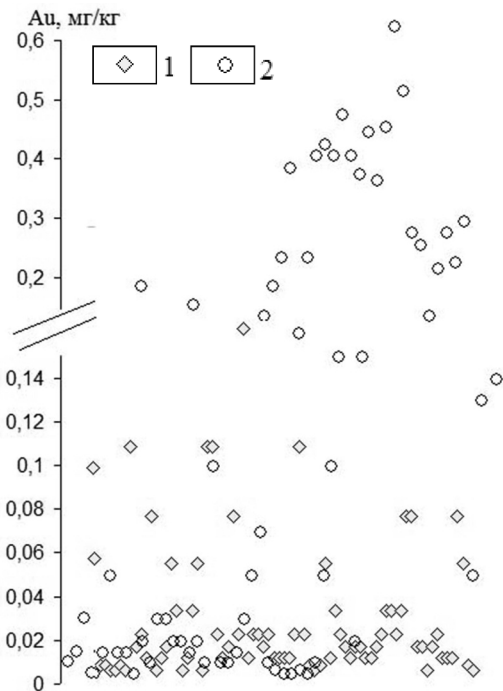


Рис. 3. Розподіл золота в корінних породах (1) та корах вивітрювання (2)

У структурно-тектонічному плані рудопрояв приурочено до зони тектонічних порушень (Фурсівська зона розломів). У керні свердловин тектонічні порушення фіксуються зонами брекчіювання та катаклазу. Для тектонічних зон характерні лінійні кори вивітрювання (потужність 20–70 м). Рудоконтролювальними є ділянки тектонічних порушень північно-західного простягання (протяжність зони — до 2,5 км, ширина — 200–400 м). Золотоносні породи — плагіограніти і плагіомігматити звенігородського комплексу, рідше, кварцові діорити тетіївського комплексу, граніти і мігматити уманського комплексу, породи росинсько-тікичської серії, представлені амфіболітами, кристалосланцями і плагіогнейсами [2].

Рудогенез у тектоно-метасоматичній зоні пов'язаний з етапом гідротермально-метасоматичних процесів. Фактором рудної локалізації є наявність геохімічного бар'єру, в ролі якого в цій зоні виступають метасоматично змінені супракрустальні утворення, багаті на закисне залізо. Важливе значення у формуванні контурів зруденіння мають

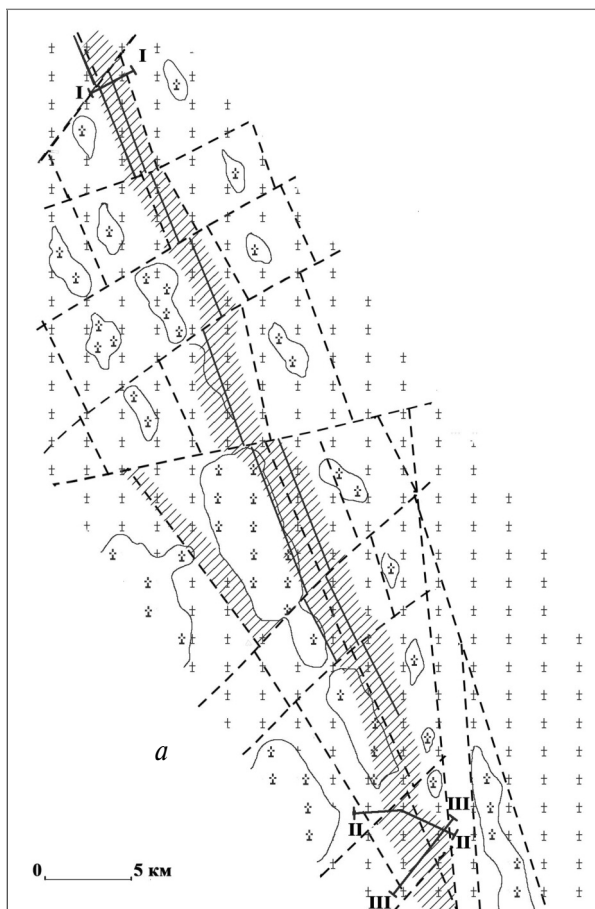


Рис. 4. Схематична геологічна карта (а) і розріз (б) ділянки Сидори: 1 — граніти та мігматити біотитові, 2 — плагіограніти та плагіомігматити, 3 — граніти лейкократові, суттєво мікроклінові; 4 — амфіболіти; 5 — тектонічні порушення (а — встановлені, б — передбачені); 6 — лінії геолого-геохімічних розрізів, 7 — у чисельнику потужність шару (м), у знаменнику — вміст золота (г/т), 8 — свердловини (на розрізі), 9 — діафторез в умовах епідот-амфіболітової фації

процеси перерозподілу рудних елементів у ході гіпергенезу, які спотворюють первинні ореоли і призводять до утворення концентрацій рудних елементів у корі вивітрювання, навіть поза зоною гідротермально-метасоматичної переробки порід.

У результаті проведення геохімічних досліджень, що спираються на дані спектрального, золотоспектрального, пробірного (на золото, срібло, платину і платиноїди), мінералогічного аналізу у межах ділянки встановлено аномальний вміст елементів, %: U — 0,05; Bi — 0,1; As — 0,2; Zn — 0,07; Pb — 0,1; Mo — 0,02; Cu — 0,1; Ti — 7; W — 0,01; Cr — 0,7; Ni — 0,3; Co — 0,03; а також, г/т: Au — 10, Ag — 191, Pt — 0,3.

Золотоносність кор вивітрювання території УЩ практично не вивчена (як зазначено вище) внаслідок того, що глинисті породи при бурінні свердловин на корисні копалини не вважалися за цінний матеріал, тому не аналізували на вміст золота та інших хімічних елементів. Отже сьогодні не можна говорити про загальні просторові закономірності, але висновки щодо окремих конкретних ділянок можливі.

Широкий розвиток на породах кристалічного фундаменту мають переважно каолінові кори вивітрювання, що формуються в результаті руйнування гранітних порід. Процеси вивітрювання кристалічних порід (гранітів Брусилівською шовної зони) можна розрізнити за існуванням зон ви-

вітрювання: кори фізичного вивітрювання (зона, в якій граніти внаслідок руйнування перетворюються на дресву), що вище змінюється зоною хімічного вивітрювання, яку відрізняє наявність у ній інакшого за кольором каоліну.

Кори вивітрювання приурочені до зон тектонічних порушень, де потужність вивітрених порід може досягати десятків метрів. У деяких випадках формуються повторно перевідкладені кори вивітрювання.

Існують поодинокі схеми розрізів кор вивітрювання Брусилівської шовної зони, що не враховували їх можливу золотоносність. Лише одна схема розрізу опублікована (Павлюк М.І., 2007) з зазначенням вмісту золота у певних інтервалах кор вивітрювання (рис. 5). Так, найбільший вміст золота (5,8 мг/кг) встановлено у каолініт-хлоритових глинах за потужності прошарку 0,4 м, але загалом вміст золота не перевищує 0,6 мг/кг [6].

Аналіз фондових матеріалів щодо золотоносності кор вивітрювання дозволив визначити, що в межах Брусилівської шовної зони переважно поширення мають такі кори вивітрювання: кварц-каолінітові, гідрослюдисті, кварц-гідрослюдисті, каолінітові, гідрослюдисто-каолінітові, гідрослюдисто-монморилонітові. Вміст золота у корах вивітрювання — до 1 мг/кг, і лише в гідрослюдисто-монморилонітовій знаходиться в межах 1—6 мг/кг (рис. 6).

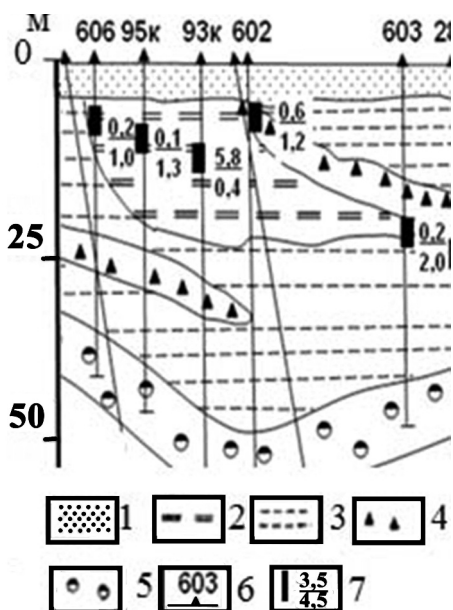


Рис. 5. Фрагмент розрізу кори вивітрювання ділянки Сидори: 1 — піщано-глинисті відклади, 2 — глини каолініт-хлоритові, 3 — глини каолініт-монморилонітові, 4 — конглобрекції кварцові, 5 — валунно-галькові відклади, 6 — свердловини, та їх номери, 7 — у чисельнику — вміст золота, г/т; у знаменнику — потужність прошарку

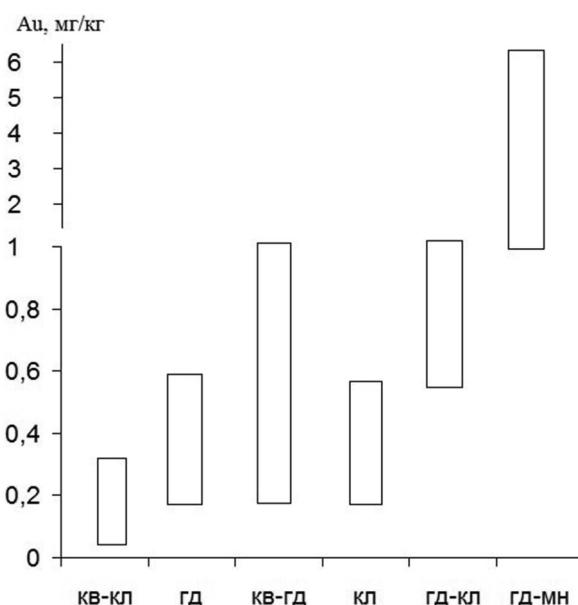


Рис. 6. Статистичні характеристики щодо вмісту золота у корах вивітрювання (ділянка Сидори). Кори вивітрювання: кв-кл — кварц-каолінітові, гд — гідрослюдисті, кв-гд — кварц-гідрослюдисті, кл — каолінітові, гд-кл — гідрослюдисто-каолінітові, гд-мн — гідрослюдисто-монморилонітові

Концентрування золота в гіпергенних зонах здійснюється такими шляхами: збагачення первинним золотом; накопичення в різних порожнинах, тріщинах, пастках; концентрація колоїдного, розчиненого золота з привнесених з поверхні розчинів і вод, що відбувається за наявності геохімічних бар'єрів; сорбування золота гідрооксидами і оксидами заліза і марганцю, глинами; локальний перерозподіл золота зі збільшенням його розмірів. Пробність гіпергенного золота в порівнянні з золотом корінних утворень майже завжди підвищується, чому сприяють умови його формування.

Роль органічної речовини у створенні гіпергенних концентрацій золота має кілька аспектів. Гумінові й інші органічні кислоти поверхневого і близькоповерхневого походження, проникаючи вглиб із поверхневими водами підвищують їхню кислотність, отже беруть участь у кислотному вилуговуванні порід і руд, у розчиненні золота та інших елементів [9]. Тому, за відповідних умов, зміни концентрацій розчинів або їх змішуванні, відбувається осадження золота. Вуглисті та графітові речовини мають досить високу сорбційну здатність щодо золота. Окрім того, мікроорганізми активно розкладають первинні золотовмісні сульфідні, сприяючи укрупненню частинок золота в зонах гіпергенезу. У створенні гіпергенних накопичень золота істотну роль відіграє абсорбування тонкодисперсного золота гідрооксидами заліза і марганцю, глинистими мінералами. Чим тонше зернистість первинного золота, чим тісніше воно зв'язане з сульфідами, арсенатами, карбонатами і вугільною речовиною, тим вище його хімічна активність і розчинність [4].

Мобілізація і транспортування золота обумовлені складом і динамікою природних вод, що проникають у породи. Розчиненню й міграції золота сприяє наявність у розчинах сірки, водню, кисню, вуглекислоти, лужних, чорних і кольорових металів, органічних сполук тощо. Вивільнене з корінних порід і мінералів золото з гіпергенними водами перерозподіляється, мігрує по профілю вивітрювання в тонкозернистому, дисперсному, колоїдному, розчиненому стані [1].

Золото в розчинах мігрує у формі іонів, різноманітних за складом і ступенем складності комплексних сполук, інших металоорганічних комплексів тощо. Золото осідає спільно з гідрооксидами і оксидами заліза, марганцю та інших металів, карбонатами. Істотно відновні умови сприяють осадженню золота спільно з сульфідами, карбонатами та ін. Міграція й концентрація золота найча-

стіше регулюються наявністю різних геохімічних бар'єрів: лужно-кислотних, відновно-окиснювальних, сорбційних, сульфатно-сульфідних, карбонатних, концентраційних та інших, котрі створюються внаслідок зіткнення розчинних потоків і взаємодією їх із вмісними породами.

У концентруванні золота у межах Брусилівської шовної зони має значення сорбційний бар'єр. Оскільки будь-який профіль вивітрювання вже на початкових стадіях розвитку багатий на глинисті матеріали, його високі сорбційні властивості дозволяють зв'язувати велику кількість різноманітних елементів, подальша міграція яких можлива лише в результаті десорбції за зміни фізико-хімічних умов середовища або спільно з глинистими частинками під дією гравітаційних сил. Характерно, що глинисті частинки міцно сорбують золото у широкому діапазоні значень рН. При цьому, в кислих середовищах його активно поглинають мінерали кислого ряду (каолінит, лимоніт, піролюзит тощо), в лужних — лужного (монтморилоніт, кальцит та ін.) [9]. Внаслідок цього золото нерівномірно розподіляється практично по всіх вторинних мінералах.

Золотоносні кори вивітрювання можуть формуватися не тільки по породах з підвищеним його вмістом, але і з кларковим. При цьому особливого значення для виявлення золотоносних кор вивітрювання набувають екзогенні потенційно глинисті формації, які утворюються завдяки руйнуванню породоутворювальних порід.

Золото відносно стійке в зоні гіпергенезу, однак відомо, що за певних умов вивітрювання воно може утворювати низку комплексних рухомих іонів. Залежно від походження речовини ґрунту і ступеня його вивітрення золото наявне в ньому у складі тонких часток або в гальці. Найчастіше золото збагачує гуміновий шар, оскільки він може діяти як відновник і осаджувати рухомі форми золота. Середній вміст золота у ґрунті 0,0001 мг/кг, аномальний вміст за наявності золоторудної мінералізації перевищує середній у десятки разів. Органічна форма перенесення золота може відігравати істотну роль у процесах вторинного збагачення золоторудних родовищ. Наявність мінералізованих ґрунтових вод збільшує розчинність золота.

Сучасні кори вивітрювання, механізм і умови їх формування залежать від особливостей ґрунтового шару. Ґрунти є одним з основних продуктів сучасного вивітрювання, який утворюється під дією атмосферних і біогенних факторів на поверхні гірських порід. У межах досліджуваної ділянки

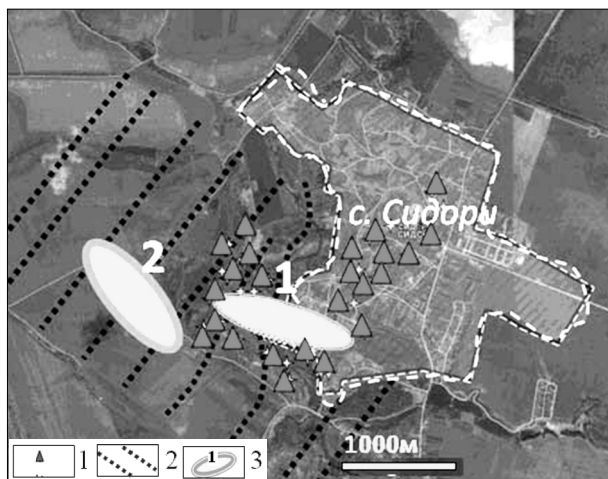


Рис. 7. Схема літохімічного опробування на ділянці Сидори: 1 — свердловини, 2 — літохімічні профілі, 3 — перспективні ділянки та їхні номери

максимальна потужність ґрунтового шару досягає 0,5 м. Ґрунти тут представлені дерново-підзолистими різновидами (рН 6,4–7,2), формуються за рахунок продуктів руйнування гранітів, гнейсів, метасоматитов та ін., включаючи золотоносні породи.

Зважаючи на те, що ґрунт є середовищем, де на індикаторному горизонті фіксується наявність хімічних елементів, які надходять з глибше розташованих шарів, літохімічне опробування було проведено на ділянці саме з такого горизонту. На ділянці пройдено 9 профілів (відстань між профілями — 25 м, між точками відбору — 10 м). Всього відібрано біля 400 проб (рис. 7).

Опробування було проведено на ділянці, де пробурено свердловину, і на ділянці, щодо якої відсутні відомості про кору вивітрювання. За допомогою методу *ISP-MS* було аналітично визначено вміст 35 хімічних елементів у корінних породах (рухомі форми), корах вивітрювання і ґрунтах, що дозволило визначити, окрім типових, індикаторні рідкісні елементи. Для порівняння визначено фонові концентрації й інших елементів (табл. 5).

Як бачимо, у ґрунті вміст рухомих форм Y , Yb незмінний для рудоносних ділянок у межах тектонічного порушення і поза ним і складає 3,5 мг/кг і 0,7 мг/кг відповідно (що переважає фоновий вміст у 2–3 рази), але разом з підвищеною концентрацією золота це може бути критерієм виявлення рудоносних площ [10]. Вміст Li та As , які є індикаторами тектонічних порушень, у зонах розломів перевищує фоновий у 3–4 рази. На цих площах відбувається і швидше руйнування материнських золотоносних порід, що призводить до накопичення золота в корах вивітрювання і, відповідно, концентрації у ґрунті.

Таблиця 5. Середній вміст рухомих форм Y , Yb , Au , Li , As у ґрунтових відкладах ділянки Сидори (за наявності золоторудної мінералізації), мг/кг

Елемент	Фоновий вміст	Вміст на тектонічно стабільних ділянках	Вміст в зонах тектонічних порушень
Y	1,5	3,5	3,5
Yb	0,2	0,7	0,7
Au	0,0005	0,0011	0,0015
Li	0,5	0,5	2,0
As	1,5	1,5	4,0

Для встановлення можливого зв'язку між вмістом золота та інших хімічних елементів проведено розрахунок статистичних параметрів, у тому числі визначено їх кореляційний зв'язок. Отримано тісну позитивну кореляційну залежність золота та Y , Yb (0,8) на ділянках зон тектонічної стабільності (ґрунти, гідрослюдистий та каолінітовий горизонт кори вивітрювання).

У зонах тектонічних порушень встановлено підвищений вміст золота, який корелює з вмістом As та Li (по вертикальному розрізу від материнських порід до ґрунтів). Це дозволяє за вторинними сольовими ореолами у ґрунтах виділяти рудоносні зони (при їх кореляції з золотом) та встановлювати площі для проведення пошукових робіт (рис. 8).

На основі виділених геохімічних критеріїв за літохімічними даними була уточнена площа проведення детальних пошуків щодо встановлення локальної ділянки золотоносності в корах вивітрювання ділянки Сидори (див. рис. 7, площа 1) та визначено перспективну ділянку (див. рис. 7, площа 2), на якій не виконувались пошукові роботи.

Біохімічні методи визначення золотого зруденіння. Рослинність є чутливим індикатором варіацій складу ґрунтів і ґрунтоутворювальних порід. За рослинними асоціаціями можна визначати тип ґрунтів та особливості ґрунтоутворювальних гірських порід, вміст у них тих чи інших елементів [3]. Рослинність території досліджень — дуб, береза, осика і різноманітні трав'янисті рослини, серед яких переважають багаторічні. Найпоширенішою трав'янистою рослиною є пирій (сімейство злакових), в якому визначено індикаторні хімічні елементи (трава зібрана на рудоносних ділянках).

У золі пирію методом екстракції було встановлено вміст золота, що перевищує вміст його в ґрунтах у сотні разів. Вміст золота в золі пирію був вищим від його вмісту в золі інших рослин з цієї ж ділянки (досліджено конюшину та хвощ польовий).

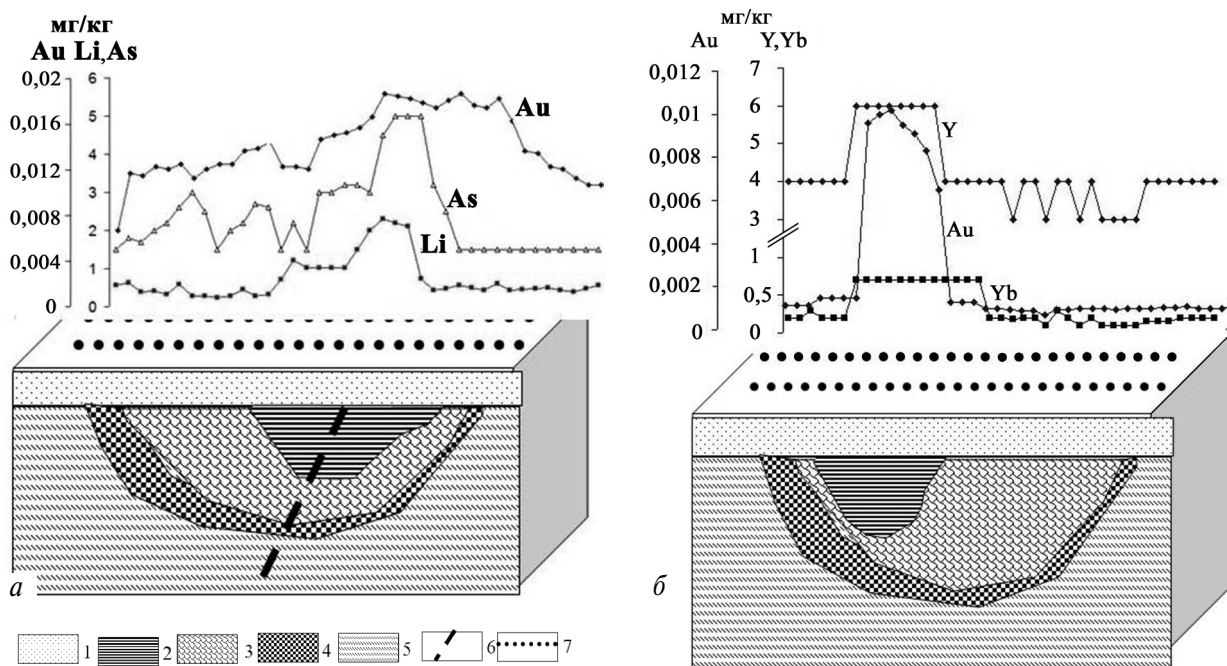


Рис. 8. Схема типового геологічного розрізу ділянки Сидори: а — за наявності тектонічного порушення; б — тектонічно спокійна зона: 1 — ґрунтово-рослинний шар та піщано-глинисті відклади, 2 — глини каолініт-хлоритові, 3 — глини каолініт-монморилонітові, 4 — валунно-галькові відклади, 5 — граніти, 6 — тектонічне порушення, 7 — літохімічні профілі

вий) у 7–9 разів. Це свідчить про здатність пірїю активно концентрувати золото.

Рослини можуть поглинати золото, що знаходиться в розчинних формах, і коли воно надходить до судинної системи коренів рослин, то легко переноситься в надземні частини.

Наявністю сорбційного бар'єру можна пояснити концентрування золота разом з ітрієм, ітербієм у глинистих корах вивітрювання і в поверхневих відкладах (ґрунтах). Ітрій входить у різні мінерали, з яких найбільшу поширеність мають силікати, фосфати і оксиди. Середня концентрація ітрію в ґрунтах становить 3 мг/кг, а в рудоносних зонах — удвічі більше. Середній вміст ітрію в пірїї становить 0,8 мг/кг повітряно-сухої маси, на рудоносних ділянках — у 5 разів більше.

Арсен характеризується досить однорідним розподілом у головних типах гірських порід. Його концентрація становить, як правило, 0,5–2,5 мг/кг, і лише в глинистих відкладах підвищується до 13 мг/кг. Арсен утворює власні мінерали і входить до складу багатьох інших. Цей елемент тісно пов'язаний із родовищами багатьох металів і відомий як пошуковий індикатор для проведення геохімічних робіт.

Хоча мінерали і сполуки арсену легкокорозійні, інтенсивність його міграції через активну сорбцію глинистими частками, гідроксидами і

органічною речовиною невелика. Найбільшою активністю в утримуванні арсену відрізняються гідратовані оксиди заліза і алюмінію. Арсен, адсорбований ґрунтом, важко піддається десорбції, а міцність його зв'язування ґрунтом з роками зростає. Однак, пов'язаний із оксидами заліза і алюмінію арсен може вивільнитися під час гідролізу внаслідок зниження окиснювально-відновного потенціалу. Найнижчий вміст арсену властивий ґрунтам, що формуються на гранітах, найвищий — у ґрунтах, збагачених органічною речовиною. У зонах тектонічних порушень вміст арсену підвищується удвічі та більше. У результаті дифузії арсену від рудних порід до поверхні його вміст у верхніх горизонтах ґрунтів підвищується й унаслідок фіксації арсенатів органічною речовиною і гумусом.

Коріння пірїю вибірково абсорбує золото та його елементи-індикатори, внаслідок чого ці елементи накопичуються у надземній частині рослини, що дає можливість використовувати її як надійний індикатор для встановлення перспективних площ золотоносності.

Висновки. У результаті виконаних робіт встановлено геохімічні критерії пошуку золота в корах вивітрювання Українського щита (Брусилівська шовна зона та прилеглі території). Виконано аналіз вмісту золота та його елементів-індикаторів у корінних породах і корах вивітрювання території

Українського щита, завдяки чому систематизовано відомості щодо золотононосних корінних порід та елементів-супутників золота. Викладено результати дослідження особливостей розподілу Au, Li, As, Y, Yb в об'єктах довкілля Брусилівської шовної зони (корінних породах, корах вивітрювання, ґрунтах, рослинах).

Розроблена технологія проведення пошуків золота в корах вивітрювання за рухомими формами хімічних елементів шляхом літохімічного опробування — у зонах тектонічних порушень золото-

носні кори вивітрювання можуть бути встановлені за аномаліями в поверхневих відкладах рухомих форм As та Li, на ділянках зон тектонічної стабільності — за аномаліями рухомих форм Y та Yb. За комплексом геохімічних факторів встановлено перспективну ділянку для проведення пошукових робіт на наявність золотого зруденіння у корах вивітрювання. Визначено, що пирій (трав'яниста рослина) є концентратором золота і може бути індикатором для виявлення перспективних територій на пошуки золота.

Список літератури

1. Бурмин Ю.А. Геохимия рудоносных кор выветривания / Ю.А Бурмин. — М. : Недра, 1987. — 228 с.
2. Віниченко П.В. Рудопрояр Сидори — новий тип золото-срібло-уранових концентрацій на Українському щиті / П.В. Віниченко // Мінеральні ресурси України. — 1998. — № 4. — С. 20—23.
3. Кабата-Пендіас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендіас., Х. Пендіас. — М. : Мир, 1989. — 439 с.
4. Ковальчук М.С. Золото з різновікових кір вивітрювання України / М.С. Ковальчук // Геол. журн. — 2000. — № 2. — С. 10—39.
5. Металічні корисні копалини України / Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. — К.-Львів : Центр Європи, 2006. — 793 с.
6. Павлюк В.М. Самородне золото Сквирської площі Брусилівської шовної зони / Павлюк В.М., Павлюк О.В. // Мінерал. зб. — 2007. — № 57, вип. 2. — С. 70—75.
7. Проблемы золотоносности недр Украины / отв. ред. Е.А. Кулиш. — К., 1997. — 310 с.
8. Разин А.В. Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа / Разин А.В., Рожков И.С. — М. : Наука, 1966. — 253 с.
9. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза / Н.А. Росляков. — Новосибирск : Наука, 1981. — 240 с.
10. Zhovinsky E.Ya. Rate elements in weathering Crusts of Brusilovsky suture zone of Ukraine Shield / Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Zhuk O.A // Пошукова та екологічна геохімія. — 2014. — № 1—2 (14—15). — С. 80—83.

Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Zhuk O.A., Kuhar M.V., Panait E.V. Geochemical Criteria of Search of Gold in the Weathering Crusts of the Crystalline Basement of the Ukrainian Shield (Brusilov Suture Zone and Adjacent Areas).

The analysis of the content of gold and indicator elements in the badrock and weathering crust of Ukrainian shield (US) territory, resulting in systematized available gold-bearing bedrocks and satellites elements of gold. The results of studies on the distribution characteristics of Au, Li, As, Y, Yb objects in the environment Brusilov suture zone (bedrock, weathering crust, soils, plants) presented. The technology of conducting search of gold in the weathering crusts by mobile forms of chemical elements by methods of litochemistry testing-in zones of tectonic disturbances gold-bearing crust can be established by anomalies in the surface sediments of mobile forms As and Li in areas of tectonic zones; in areas of stability — by anomalies mobile forms Y, Yb. For complex geochemical factors set promising area for prospecting the gold mineralization in the weathering crusts. Established that the herb — bluegrass is the hub of gold and can be an indicator of areas of mineralization.

Key words: gold, weathering crust, indicator elements.

Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Жук О.А., Кухар М.В., Панайт Е.В. Геохімічні критерії пошуку золота в корах вивітрювання кристалічного фундаменту Українського щита (Брусилівська шовна зона і прилеглі території).

Проведен анализ содержания золота и элементов-индикаторов в коренных породах и корах выветривания территории Украинского щита (УЩ), в результате систематизированы известные золотоносные коренные породы и элементы-спутники золота. Представлены результаты исследований особенностей распределения Au, Li, As, Y, Yb в объектах окружающей среды Брусилловской шовной зоны (коренных породах, корах выветривания, почвах, растениях). Разработана технология проведения поисков золота в корах выветривания по подвижным формам химических элементов путем литохимического опробования — в зонах тектонических нарушений золотоносные коры выветривания могут быть установлены по наличию в поверхностных отложениях аномалий подвижных форм As и Li, а на участках тектонически стабильных — по аномалиям подвижных форм Y, Yb. По комплексу геохимических факторов установлен перспективный участок для проведения поисковых работ на наличие золотого оруденения в корах выветривания. Установлено, что пирей (травянистое растение) служит одним из концентраторов золота и может быть индикатором оруденения.

Ключові слова: золото, кора выветривания, элементы-индикаторы.

Надійшла 21.09.2015