Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Львівський національний університет імені Івана Франка

Методичні рекомендації

до вивчення курсу “Геолого-генетичні типи золоторудних полів”
для студентів V курсу геологічного факультету

Львів
Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка
2011

Рекомендовано до друку
кафедрою геології корисних копалин
Протокол № 32 від 10.11.2010

Уклали: Ляхов Юрій Васильович
Павлунь Микола Миколайович
Шваєвський Олександр Васильович

Відповідальний за випуск М. М. Павлунь

Редактор М. М. Мартиняк
Технічний редактор С. З. Сеник

Методичні рекомендації
до вивчення курсу “Геолого-генетичні типи золоторудних полів”
для студентів V курсу геологічного факультету

Формат 60 х 84/16. Умовн. друк. арк. Тираж прим. Зам.

Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка
79000 Львів, вул. Дорошенка, 41

Вступ

Мета спецкурсу – підготовка магістрів (V курс) якщо не до самостійної роботи, то хоча б до свідомої роботи та участі в науковій тематиці на золоторудних об'єктах різного масштабу – металогенічних провінціях, рудних районах, родовищах, рудопроявах.

Форма навчання – лекції, семінари, самостійні пробні лекції для студентів IV курсу тієї ж спеціалізації.

Форма попередньої перевірки знань – колоквіуми, співбесіди, машинне тестування, курсова робота (тематику наведено нижче).

Загальна концепція – знати про золото майже все: від етимології (французькою "солей" – сонце, старослов'янською "сол" – яскраве каміння) до геології. Тобто від специфіки електронної будови атома та структури мінералу під назвою "золото" до розуміння – де? чому? як? утворюються його родовища, а відтак, – де і як їх розшукувати?

Справді, саме особливостями внутрішньої будови атома як хімічного елемента та структури золота як мінералу зумовлені, перш за все, галузі його використання і властивості, які ми так цінуємо: антикорозійність, блиск, колір, декоративність, висока електропровідність, ковкість, тягучість, пластичність за високої температури плавлення. В геолого-структурному сенсі саме структурними особливостями золота визначено головні фізико-хімічні параметри, що визначають його поведінку в ендо- та екзогенних процесах і на яких ґрунтується наукове розуміння причин та механізмів концентрацій або розсіяння металу: без них неможливі ні розробка надійної ієрархії розшуково-оцінювальних критеріїв, ні саме прогнозування зруденіння.

Фізико-хімічні властивості золота важливі й для результативності промислового збагачення руд різного мінерального і текстурно-структурного типу, де обов'язково враховують поведінку його вільних або хімічно зв'язаних форм у збагачувальних схемах відповідного технологічного характеру: недостатньо повна інформація про морфометрію самородного золота призводить до суттєвих втрат металу. Отже, справжній "золотар" повинен ліпше від іших розумітися на питаннях не тільки хімії, геохімії, поведінки золота в природних та

техногенних фізико-хімічних системах, а й у мінералогії руд різних рудних формацій, технологіях збагачення золота і, особливо, на принципах геолого-генетичної типізації, прогнозування та розшуків його природних концентрацій. Такий перелік, по суті, є принциповим відображенням структури та змісту цього спецкурсу.

Розділ 1. Фізико-хімічні властивості золота

1.1. *Характерні властивості золота*. Загальні відомості з хімії цього металу дуже стисло наведені в періодичній таблиці хімічних елементів. Головне, що Au (разом з Cu та Ag) входить до першої групи типових "лужних" елементів (Li, Na, K, Rb, Ce, Fe) у вигляді специфічної підгрупи "Б", що має суттєво підвищену густину, твердість та хімічну інертність відповідних металів; у природі вони частіше від інших трапляються у вільному, так званому самородному вигляді. Важливо привернути увагу до того, що переважна здатність до реакцій відновлення притаманна, хоча й різною мірою, майже всім найближчим у періодичній таблиці сусідам золота (Au): в періоді VI – Os, Ir, Pt, Hg, Tl, Bi, а в періоді V - Ru, Rh, Pd, Ag. Треба звернути увагу і на деяку природну спільність багатьох з цих елементів у вигляді певних, так званих геохімічних, асоціацій: Au - Ag, Au - Cu, Au - Hg, Au - Bi, Au - Pt, а також з Os, Ir, Pd, Rh тощо.

У цьому ж розділі є пояснення 79-го порядкового номера комірки Au (протона), природи та розміру його атомної маси, особливостей електронної конфігурації атома Au, його шість енергетичних рівнів із чотирма підрівнями (S, P, d, f), що мають 14 орбіталей; тут же роз'яснення принципу Паулі стосовно "спіну" електронів підрівня S та електронної природи можливої зміни валентності Au (від 0 до 3+), які для цього потрібні умови і як у цьому разі змінюється йонний радіус в ангстремах (A^o). Подано загальні відомості про ізотопи Au: за Л. Палінгом (1974) ~ 192-206 та новітні дані про 30 ізотопів, за В. Нарсєєвим (1996), та який тип ізотопів є найстабільнішим і які його фізичні властивості.

Щодо фізичних властиостей Au важливі порівняння з Pt, Hg, Tl, Ag, характеристика його густини в хімічно чистому вигляді (19,32 г/см^3) та в природному варіанті (від 19 - 18 до 15 - 16 г/см^3); корисна візуальна інформація про об'ємні

параметри вагових одиниць чистого Au, якими оперує практична геологія: 1 кг – це куля діаметром 4,6 см або куб з ребром 3,9 см; 1 тонна – куб із ребром 39 см.

Розкрито дані про температуру плавлення (1 063°С), кипіня (2 966°С), характеристика як надзвичайного тепло-електропровідника, модуль пружності, ковкості, тягучості – ліпше у вигляді інформації про параметри витягання дротин ($d = 2 \cdot 10^{-6}$мм), плівкового золота, сусального ($14 \cdot 10^{-8}$мм).

1.2. *Поведінка золота в штучних фізико-хімічних умовах* (дані експериментів). Порівняння рівня інертності металу в "комплексному" (металевому) вигляді та "атомарному" (розчині). Можливі в експериментах п'ять ступенів валентності, чому, в яких штучних умовах можливі їхні прояви в природі? Чому невідомі сполуки Au з киснем, воднем, азотом, вуглецем, і навпаки, прояви чіткої схильності до галоїдів (Cl^-, Br^-, J^-), ціанідів (CN^-), гідросульфідів (HS^-)? Найважливіші шість типів золоторозчинних середовищ: "царська горілка", селенова та телурова кислоти, ціанова (особливо у вигляді $KAu(CN)_2$ і гідросульфідна кислоти (у вигляді $NaAu(HS_2)$, а також металева ртуть з утворенням амальгам, гумусової кислоти, частково вуглекислоти. Проте всі ці сполуки Au нестійкі і досить легко руйнуються, особливо під впливом окиснювачів – деяких металів (Fe, Cu), вуглецю (C^{-4} – C^{+4}) в процесі трансформації від вуглеводнів до оксидів, телуридів-селенідів, анаеробних бактерій, що добре ілюструють мікрофотоматеріали Р. Амосова (1995).

Важливі три експериментально доведені тези.

1) **У** звичайному водному середовищі (без ліганд, мінералізаторів) Au не окиснюється за участю кисню, різноманітних кислотних або лужних компонентів, точніше так званих аква-йонів $[Au(OH)_2]^+$, що утворюються, мають надзвичайно низьку стійкість і відразу руйнуються.

2) Досить стійкими є так звані бінарні сполуки - своєрідні інтерметалеві взаєморозчини Au з "благородними" його сусідами в періодичній таблиці (з Ag, Cu, Pb, Os, Pt, Ir тощо). Інших простих сполук Au в гідротермальних умовах нема, а в лабораторних порівняно стійкими є його гексохлориди (при 254°С), монохлориди (254-282°С) та дихлориди (понад 282°С), що в подальшому буде

підтверджено термобарогеохімічними дослідженнями флюїдних включень у мінералах різноманітних природних концентрацій золота.

3) Серед кристалічних сполук досить стійкими є селеніди та телуриди золота, що відомі й у природних рудах (калаверит, ауростибніт, гесит та ін.)

Розділ 2. Мінерально-геохімічні особливості золота.

2.1. *Закономірності розподілу золота в природі*. Всупереч традиційним поглядам золото належить до найпоширеніших металів, немає жодного "уламка " гірських порід (крім органічних вапняків), позбавленого на спектро - аналітичному рівні ознак наявності цього металу. Вчені-геохіміки нерідко скаржаться: чи є золото "рідкісним" елементом (бо наявне скрізь), чи – "розсіяним" (бо добре відомі його найбільші в світі самородки). В цьому й полягає головна своєрідність золота: є скрізь, але в дуже малих кількостях, на кшталт типових "розсіяних", які ніколи не створюють великих самородних скупчень від $n \cdot 1$ кг до $n \cdot 10 - n \cdot 100$ кг

Природу цієї "суперечності" студенти повинні вміти пояснити самостійно наприкінці вивчення даного курсу.

2.1.1. Кларк золота – $4{,}5 \cdot 10^{-7}$%; підраховано, що в 1 км^3 гірських порід міститься до 14 т цього металу, а в 20-кілометровому шарі земної кори – близько 100 млрд. т. Звичайно, потрібний досить чистий аналіз розподілу золота серед головних петрохімічних типів порід: в осадових (сланці, пісковики – до 0,001 г/т), метаморфічних (0,0007 до 0,004 г/т), магматичних (кислі в середньому – 0,002 г/т, основні – 0,002 до 0,02 г/т), навіть у гумусових ґрунтах – (до 0,5 г/т).

2.1.2. Важливим є акцент на вибірковість поглинання та нагромадження золота деякими рослинами як основи біо- або фітохімічного методу розшуків. У середньому з однієї тонни золи (попелу) хвойних можна вилучити 4,27 мг хімічно чистого золота, осики – 2 мг, берези – 0,6 мг, охоче концентрують золото кукурудза й хвощі. Осики, що ростуть на рудних розвалах (або на відвалах виробництва), містять до 6 г/т золота, головно в листі верхніх гілок, що необхідно враховувати в фітоаналітичному картуванні.

2.1.3. Величезну кількість золота в розпорошеному вигляді переносять ріки (р. Амур щогодини виносить у море понад 1 кг золота, тобто 8,5 т на рік) і

накопичують води світового океану, переважно у вигляді хлорауратів (Na_2AuCl). Середній вміст золота мінливий (0,0004 - 0,003 мг/т, тобто 0,4-3,0 г/т) і в окремих морях, затоках досягає, за даними Соболевського, 4 - 10 мг/т, а в Карибському морі навіть 15 - 18 мг/т; підраховують власне океанічні запаси золота, що досягають 1-8 млрд т. Недавно, ще у XX ст, було зроблено понад 40 проектів вилучення золота з океанічних вод (Англія, Японія), але розроблені технології поки що не витримали економічної конкуренції з традиційними джерелами цього металу.

2.1.4. Цікава і порівняно нова проблема майбутнього видобутку золота зі стародавніх (T-J) покладів кам'яних (сер. вміст 0,0005 г/т) та калійних (0,001 - 0,01 г/т) солей; промислові технології розроблені в ЦНДГРІ (Москва, Р.А. Амосов), але пропозиції їх втілення стосовно відомих соляних покладів у Білорусії та Галичині є поза увагою їхнього керівництва.

2.1.5. Міждержавний розподіл природних ресурсів золота значно регулює характер вирішення проблем мінеральної економіки світу загалом. Наразі вигідною залишається експлуатація як первинних, так і вторинних концентрацій самородного металу: *ендогенних*, переважно власне гідротермальних джерел із середнім вмістом металу від $n \cdot 10$ г/т до 2 - 3, інколи 5 кг/т; та *екзогенних* у вигляді різноманітних розсипищ вільного і досить крупноуламкового золота, що зумовлене саме його високою інертністю, високою питомою вагою та ковкістю.

Усього за історію людства видобуто понад 120 тис. т золота, 25 % яких з різних причин втоплено у водах світового океану. Близько половини його світових запасів розділені між п'ятьма державами: ПАР (40,0 тис. т), США (6,0 т.), Австралія (4,7 т.), Канада (3,5 т.), Росія (3,5 тис. т); помітний запас мають іще п'ять держав: Індонезія (2,8 тис. т), Узбекистан (2,8 т.), Казахстан (1,0 т.), Киргизія (1,0 т.), Перу (0,65 тис. т). На всі інші країни, у тому числі й Україну, припадає близько 11,2 тис. т. Щодо темпів зростання світового видобутку золота досить показовою є така тенденція: 1966 р. – 1 306 т, 1996 – 2 358 т, 2000 р. – 2 573 т; доречно зазначити про закономірне зростання кількості промислово-технологічних галузей його використання, особливо в космонавтиці.

2.2. *Форми міграції золота в земній корі.* Теорія процесів рудогенезу загалом складається з трьох проблем: *мобілізації* корисного компонента (припущення про його ”джерело”), *міграції* (форма і шляхи транспортування) та *локалізації* (відкладання руд).

Щодо першого етапу - мобілізації, - то проблему розглядають здебільшого на рівні припущень, нерідко досить фантастичних, проте безперечними є такі першоджерела речовин, як підкорові (верхня мантія) та корові, зокрема магматичні, метаморфічні, магматично-асиміляційні та гідротермально-фільтраційні, інколи йдеться про космогенітно-метеорні, імпактні тощо.

Відомо, що безпосередньо в базальтоїдах (сер. вміст Au - 0,002 г/т) і в гранітоїдах (сер. вміст Au - 0,002 г/т) золото не утворює промислових концентрацій. Потрібно довести, що в процесах магматичної диференціації воно відокремлюється в складі досить рухливих, так званих післямагматичних, *надкритичних парогазових систем*, переважно *вуглекислотно-водного* складу (CO_2 - H_2O з підвищеною концентрацією N_2 - CH_4 - H_2S – галоїдів-металів).

Необхідно розкрити експериментально надійно доведену тезу про те, що гідротермальне «транспортування» металів, у тому числі й золота, відбувалося у вигляді певних хімічно стійких *комплексів*, точніше *комплексних іонів.* Попередньо треба пояснити принципову структуру таких йонів – комплексоутворювач (K^+ - завжди простий катіон металу – Au^+), ліганди (L - завжди простий аніон Cl^-, S_2O_3, HS^-, CN^-, тощо) та аденденди (A^0 – нейтральна, частіше мономолекулярна складова комплексного йона - H_2O, HN_3, CO_2 та ін.). Далі потрібно перерахувати, проілюструвати (плакат, рис. 1) та схарактеризувати з фізико-хімічних позицій ряди найстійкіших ендогенних типів золотоносних комплексів – *хлор-ауратів*, *тіосульфатів*, *гідросульфідів, карбоніл-ауратів*, *ціан-ауратів*; тільки згадати про експериментальні можливості ролі комплексів типу арсіни, стібіни, фосфіни, а також *анти-аурати*, що є стійкими в екзогенних умовах. Акцентувати увагу на результатах геохімічних і особливо ТБГХ досліджень (Ляхов та ін., 1995), що додатково свідчать про природну реальність відповідних форм перенесення золота в гідротермальних умовах.

У висновку треба, зазначити, що особливо важливими в разі найбільш високотемпературного (див. тезу 1.2.1) гідротермального транспортування золотоносних сполук є галогенні (Cl) комплекси, іноді менш високотемпературні гідросульфідні, а в приповерхневих умовах – тіосульфатні, місцями аміно-органічні (з N_2, NH_3, CN^-).

2.2. Рудоутворювальні мінерали

Руди золота в переважній більшості є свого роду природними музеями мінералогії, що "експонують" до 150 - 200 мінеральних сполук у складі числених парагенезисів (на кшталт Верхньодарасунського родовища в Даурії – 165 мінералів). Левова частка золота (до 80 %) міститься в них у так званому "самородному", хоча далеко не в хімічно чистому вигляді; близько 20 % - у хімічних сполуках (інтерметалевих та телурид-селенідах (див. тезу 1.2.1), частково (5 - 10%) – у вигляді сепаративно осадженого металу на ранніх сульфідах та іншого типу осаджувачах.

2.3.1. *Самородне золото* – дуже важливий промисловий матеріал завдяки його складу: у ньому може міститися понад 40 хімічних елементів (завжди Au, Cu, Pb, Fe, порегіонально - Bi, Pd, Sb, Te, Os, Pt, тобто майже всі "благородні"); тому склад природного золота визначають через поняття "пробність" у промілях (‰). Розрізняють *високопробне* золото (понад 900 ‰), що характерне для розсипищ (900 - 990 ‰), середньопробне (900-700 ‰) притаманне плутоногенно-гідротермальним рудам великих та середніх глибин (2 - 4 км), та низькопробне (нижче 700 ‰) у вулканогенно-гідротермальних рудах порівняно малих глибин (до 1,0 - 1,5 км) стосовно синрудної палеоповерхні. Важливо наголосити, що цей показник досить чітко залежить від специфіки геолого-структурних та фізико-хімічних параметрів рудоутворення і тому не є стабільним, інколи досить помітно. Однак у статистично ґрунтовній оцінці він є дуже інформативним, оскільки закономірно зростає (на цьому буде неодноразово наголошено нижче) з переходом від молодих до стародавніх родовищ, від малоглибинних (0,1 - 1,5 км) до глибинних (› 4 - 5 км), від малобарних процесів (10-20 МПа) до високобарних (250-300 МПа), від вулканогенних формацій до плутоно- та метаморфогенних і нарешті від первинних (незмінних) руд до перевідкладених (розсипних);

методологічно важливо ще раз наголосити, що йдеться про статистично стійкі показники пробності золота.

Генетично інформативні також форми самородного золота: “неправильні” його зерна, прожилки характерні переважно для середньо- та більш глибинних руд, тоді як малоглибинні досить дивовижні – плівки, дротики, спіралі, сплутано-волокнисті, нитко- та дендритоподібні, губчасті скупчення тощо. Мало-кристалічні форми (гекс-октаедричний клас – $3L^4 \rightarrow 4L^3 \rightarrow 6L^2 \rightarrow 9$ PC) поширені мало (октаедр, частіше в комбінації з додекаедром, інколи кубом).

За розміром виділень золота розрізняють – тонкодисперсні (‹ 0,001 мм), дрібні (до 0,1 мм), середні (до 1 мм), крупні (до 5 мм) та самородки (більше 5 мм або вагою понад 10 г). Для загальної ерудиції майбутнього “золотаря” варто надати інформацію стосовно хоча б 10 - 15 всесвітньо відомих самородків (“Заячі вуха”, “Верблюд”, “Великий трикутник”, “Бажаний незнайомець” та “Плита Холтермана”) та індивідуальні їхні особливості: маса, форма, рік та місце, обставини знахідок, родовища.

2.3.2. *Інтерметалеві* сполуки золота важливо перерахувати після згадки про його сусідів у періодичній таблиці та другу тезу експериментальної хімії: електрум, кюстеліт, аурокуприт, ауростибніт, пропецит, бісмутаурит, родит, іраурит, платинисте золото, ауросмірид, мальдоніт. Треба наголосити, що це не сплави, а структуровані металеві сполучення досить постійного складу (навести формули та відсоткові співвідношення компонентів).

2.3.3. *Телурид-селеніди золота* – калаверит, сільваніт, петцит, гесит, нагіагіт, монтбраїт та інші, згадати третю тезу експериментальної хімії (1.2.3), формули та етимологію мінералів (родовище Калавері у США, Нагіаг у Румунії). Важливо наголосити, що цей тип мінеральних сполук особливо поширений у золото-срібних рудах переважно малоглибинних родовищ вулканогенно-гідротермального класу. Вони та подібні мінеральні сполуки, зазвичай, асоціюють із самородним сріблом, аргентитом, полібазитом, пруститом, піраргіритом, міаргеритом та багатьма іншими золото-срібноносними сульфідами.

2.3.4. *Сепаративно осаджене золото* є наслідком його підвищеної схильності до інертного стану (див. підрозділ 1.1). Воно формується за певних

електро-хімічних реакцій на мінеральному субстраті, що містить легкоокиснювальні елементи (Fe, Cu, C, S та ін.); використовуючи інформацію 1.2., проілюструвати це у вигляді електронних реакцій (рис. 2), коли $Au^{+} \rightarrow Au^{0}$ $Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++}$, $C^{-4} \rightarrow C^{+4}$, $S^{-2} \rightarrow S^{+6}$ тощо. Саме тому золото з гідротерм відокремлюється на певних енергетично активних поверхнях відповідних мінералів попередніх генерацій (пірит, піротин, халькопірит, магнетит та ін.), головно на стінках їхніх уламків, у тріщинах, де особливо багато відкритих енергетичних вакансій, а також на вершинах та ребрах монокристалів, у вигляді окремих стяжінь. Нерідко мінерали - осаджувачі золота відіграють помітну роль у формуванні його запасів (до 10 %), що враховують як під час розвідувальних робіт, так і в ході розробки технологічних систем збагачення руд.

Відтак у процесі вивчення природи золоторудних концентрацій та їх прогнозно-розшукових критеріїв дуже важливо вміти розрізняти ознаки трьох механізмів промислового нагромадження золота: 1) *співкристалізація* з іншими мінералами "продуктивних" парагенезисів (поширення індукційних граней одночасного росту мінеральних індивідів), 2) *осадження* золота на мінералах більш ранніх генерацій (плівково-прожилково-вкраплені виділення), 3) *шляхом некристалізаційного (так званого біогенного)* осадження на слизових поверхнях клітин ціанобактерій, діатомітів, що утворюють китчасті спіралеподібні колонії (за Р. Амосовим), поширені в покладах перекритих розсипищ золота на Уралі, Камчатці, Хабаровському краї тощо.

2.4. Розподіл золота в рудах украй нерівномірний, що залежить від збігу чи виокремлення таких чинників:

- характеру поширення в жилах сульфідів - осаджувачів;
- мінливості морфометричних параметрів рудних тіл;
- характеру літолого-структурних умов локалізації зруденіння (вузли перетину, відгалуження тріщин, зміна типу вмісних порід тощо);
- інтенсивності флуктуацій фізико-хімічного режиму гідротермальних систем).

Усе це повинно бути проілюстровано, бажано на прикладі геолого-структурних ситуацій конкретних родовищ. Треба наголосити на комплексності

“геохімічних бар’єрів”, що нерідко супроводжуються золоторудними стовпами (так званими бонанцами) у широкому сенсі цього поняття: це може бути контакт рудовмісних гранітоїдів та габроїдів, серед метаморфітів, золотоконтролювальна роль залізистих кварцитів, магнетитоносних амфіболітів, зон графітизованих філітів або просто вуглецьвмісних осадових відкладів; усе це з поясненням на прикладі відповідних відновно-окиснювальних реакцій, де відновлення золота зумовлюване окисненням заліза, вуглецю, інших елементів.

Розділ 3. Промислово – кондиційні особливості золота.

Дуже узагальнено охарактеризувати суттєві розбіжності якісно-кількісних кондицій щодо золотоносних руд різного походження.

3.1. Порядок мінімального промислового вмісту металу в вибраних його концентраціях (різноманітні розсипища) переважно близько 0,1 г/м^3, інколи трохи вище; а в первинно-корінних золото-сульфідно-кварцових рудах - не менше 3 г/т для шахт або 1 - 2 г/т для кар’єрів. Вміст металу 20 - 30 г/т у середньому вважають “високим”, хоча нерідко він сягає $n \cdot 100$ г/т, а іноді й 2 - 3 кг/т.

3.2. Руди завжди збагачують, причому для забезпечення 80 % вилучення запасів металу особливу увагу приділяють визначенню “частки руд” поширення формату золотин певного класу (саме це й впливає на своєрідність технологічних схем їхнього збагачення). Розрізняють руди, у яких переважає:

- *вільне макроскопічне* самородне золото (розміром понад 5 мм) та крупне (1 - 5 мм);

- *вільне мікроскопічне* золото (0,001 - 1 мм) найчастіше у зростках із кварцом, баритом, кальцитом та ін.;

- *пов’язане субмікроскопічне* золото (0,01 - 0,0001) тонкодисперсно розсіяне в сульфідах, магнетиті, інколи в мартиті, ліконіті.

Далі - загальноосвітні відомості про промислове збагачення руд та їхню подальшу переробку – хлоруванням (у 1848 р.), амальгамацією (з 1870 р.), ціануванням (1889), флотацією (1918), біогідрометалургією (1990). Головні технологічні цикли збагачення руд з переважанням макроскопічних класів золота: 1) дроблення, 2) гравітаційне відокремлення крупних золотинок на вібраційних

столах, 3) амальгамація, 4) відпарювання (відгонка Hg), 5) одержання “чорнового” концентрату, 6) афінаж (кінцеве очищення концентрату).

Особливості переробки тонкодисперсних руд: 1) дроблення, 2) багаторазове тертя до порошкоподібного стану, 3) флотація з відокремленням порошку сульфідів у вигляді піни від пульпи, 4) ціанування “хвостів” концентрату, 5) обробка шламу сірчаною кислотою, промивання його, 6) переплавлення з домішками флюсів, 7) афінаж.

Екологічна чиста сучасна схема, розроблена в Росії (1990 - 1998) – біогідрометалургійна, що включає бактеріальне окиснення золотоносних сульфідів, вилуговування тонкодисперсного золота шляхом сорбційного ціанування та обробку шламів за допомогою йонно-обмінних смол (марки АМ-2Б та ін.).

3.3. Категорії родовищ за запасами переважно визначені економічними чинниками на рівні конкретної країни та світу загалом. Серед корінних (а відповідно розсипних) родовищ розрізняють: дуже дрібні − <10 т (<1 т), дрібні – 10 - 50 т (1 - 25 т), середні – 50 - 100 т (25 - 50 т), крупні – 100 - 300 т (>50 т) та унікально крупні − > 300 т (> 100 т).

Розділ 4. Генетичні особливості золоторудних родовищ

4.1. Промислові джерела золота: “природні” – родовища руд, води світового океану (з вмістом 0,003 г/т) та “штучні” (антропо-техногенні) – відвали кар’єрів, шахт, драг (ефіль); хвостосховища золотозбагачувальних фабрик (площі екологічного дисбалансу) та накопичення вторинної сировини (промислові гуртовні, військові арсенали тощо).

У цьому курсі йдеться, звичайно, тільки про родовища, які можуть бути *первинними* концентраціями золота (ендогенні) та *вторинними* (екзогенні). Серед них треба чітко розрізняти власне *золоторудні* та родовища *золотоносних* комплексних руд, з яких золото вилучають лише супутньо. Тому в рамках цього курсу всі типи золотоконцентрувальних систем можна розділити на *головні*, що спеціально будуть проаналізовані окремо, та умовно *другорядні*, частка видобутку золота з яких загалом незначна (до 8 %), зокрема йдеться про шість таких типів.

4.1.1. *Сульфідно-мідно-нікелеві* (з Co, Pt, Au) ліквацийно-магматичні в габро-норитах трапової формації – Садбері, Томпсон; Бушвельд, Інсізве; Норильськ, Талнах; Печенга, Монча та ін.

4.1.2. *Хромітоносні дуніти* (з Pt, Au) пізньомагматичні в диференційованих масивах ультраосновних порід геосинклінальних областей – Кемпирсайське, Донське, Саранівське та ін.

4.1.3. *Рідкіснометалеві* (W, Mo, Sn, Li, Be, Bi, Au) грейзенові з накладеною гідротермальною мінералізацією – Джида, Бом-Горхон; Акчатау, В. Кайракти, Коктенколь та ін.

4.1.4. *Скарново-рудні* (Cu, Pb, Zn, Au) контактово-метасоматичні з гідротермальною мінералізацією – Кейбл, Оурей, Ольховське, Синюхівське, Санта-Фе.

4.1.5. Власне гідротермальні *мідно-молібденово-порфірові* у вторинних кварцитах (Коунрад, Бошекуль, Алмалик); *мідно-колчеданові* в спіліт-кератофірах (Ріо-Тінто, Ергані, Бор, Гай, Дегтярське); *колчеданово-поліметалеві* в осадово-вулканогенних товщах (Зирянівське, Нікітське, Тишінське, Рубцовське та ін.); *власне свинцево-цинкові* (Ag, Au) в карбонатних товщах (Ново-Широкінське, Горнозерентуйське, Запокровське, Сарилах та ін.).

4.1.6. *Бурозалізнякові з залишковим золотом* (до 20 - 30 г/т) частки окиснення сульфідних або магнетитових руд різного походження (Калгурлі, Майкаін, родовища КМА).

Принципово узагальнена характеристика всіх перелічених типів передбачає стислу інформацію про особливості геотектонічної позиції їхнього поширення, зв’язків з магматизмом, структурно-літологічні умови локалізації руд та їхнього речовинного складу. Доречно акцентувати увагу на деяких джерелах *майбутнього видобування золота*, що наведені нижче.

4.1.7. Відомі голоїдні поклади калійних солей з вмістом Au понад 0,001 - 0,01 г/т.

4.1.8. Мезо-кайнозойські конгломерати з величезними запасами бідного золота, з якими нині працюють технологи США.

4.1.9. Придонні *мінералізовані мули* (та нагріті води) Червоного, Чорного інших морів, для яких принципово вже розроблені технології здешевлення

видобутку Au, Ag, Cu, Zn, Pb; з різного типу хвостосховищ, відвалів та інших техногенних джерел їх уже застосовують у Росії.

Розділ 5. Головні генетичні типи родовищ золота

Світові запаси металу загалом представлені родовищами таких типів:

а) *гідротермальними*, що є дуже різними, численими і відіграють провідну роль;

б) *розсипні,* які також числені, але дрібніші і вже помітно відпрацьовані;

в) *метаморфізовані розсипища*, що менш поширені, проте унікальні за запасами.

5.1. Гідротермальні родовища

Принципи їхньої систематизації та руднoформаційного аналізу. Потрібно з'ясувати, як класифікаційно вони були систематизовані ще на початку XIX ст. В. Ліндгреном у вигляді дещо ідеалізованої схеми глибинно-геотермального розподілу родовищ на *епі-*, *мезо-*, *гіпотермальні,* пізніше Л. Грейтоном та А. Баддінгтоном були виділені ще *лепто-* та *ксенотермальні*.

Далі в короткому історичному ракурсі наголосити, що так чи інакше, але саме ця схема була підтримана більшістю геологів і взята за основу розробок низки класифікацій (В. Обручов, О. Ферсман, П. Нігглі, П. Татаринов, М. Усов, Є. Захаров, І. Магак'ян, Е. Радкевич, І. Рожков та ін.). На генетичному рівні ця тенденція чітко простежена в наукових розробках та підручниках академіка В. Смірнова (1960-1986 рр.), а на руднoформаційному – у працях Н. Петровської (1973, 1976 рр.)

Загальна класифікаційна система В. Смірнова:

плутоногенно-гідротермальні родовища;

вулканогенно-гідротермальні;

метаморфогенно-гідротермальні;

скарнові.

Руднoформаційна система Н. Петровської:

1) золото-кварцова формація малосульфідного (1 - 5 %) метаморфогенно-гідротермального зруденіння *великих глибин* (> 3 - 4 км); 2) *золото-сульфідно-кварцова формація* помірно сульфідного (10 - 20%) плутоногенно-

пневматолітово-гідротермального зруденіння *середніх глибин* (3,0 - 1,5 км); 3) *золото-срібно-кварц-карбонатна убогосульфідна формація* (0,1 - 1,5 %) вулканогенно-гідротермального зруденіння *малих глибин* (0,1 - 1,2 км).

Важливо чітко наголосити, що в обох системах *принципово новим* (навіть прогресивним) є таке: а) відмова від панівної класифікаційної ролі температурного чинника, який за даними ТБГХ є досить конвергентним і не тільки стосовно золота (продуктивна стадія 300 - 150° С, багаті руди – 270 - 180° С); б) неформалізоване поняття "глибинності" зруденіння у В.Смірнова через магматичні зв'язки, а в Н. Петровської – це інтегральна характеристика, що відображає ступінь енергетичної "відкритості-закритості" гідротермальної системи винятково через динаміку її *PT*-режиму та рівня термостатованості (Δt на кожні 100 м); в) застосування поняття "сульфідності" як середньостатистичної характеристики родовища і навіть рудноформаційного ряду загалом; акцентувати, що убого-, мало-, помірно сульфідні руди важливо чітко протиставляти суттєво сульфідним (40 - 50 %), які не бувають золоторудними, а лише колчеданово золотоносними; г) для кожної золоторудної формації вперше виділено (Петровська, 1976) певні геохімічні (всього 12) та відповідні мінеральні типи руд, що важливо для вирішення не тільки генетичних, а й прогнозно-розшукових питань.

Нижче наведено порівняльну геолого-генетичну характеристику гідротермальних родовищ золота та срібла на тлі закономірного зниження баричного режиму (умовно глибини) їхнього формування.

5.1.2. Метаморфогенно-гідротермальні родовища належать переважно до малосульфідної золото-кварцової формації зі специфічною, так званою чорносланцевою, субформацією серед графітизованих філітів і вуглистих сланців.

5.1.2.1. Фізико-хімічна система рудоутворення найбільш високобарна (300 - 200 МПа зі зниженням), переважно надкритична гомогенно-гідротермальна (водно-вуглекислотна з CH_4, H_2 при концентрації солей до 60 - 70 %), температурний діапазон 450 - 400°С до 50°С (міжстадійні інверсії не перевищують 5-20° С); інтервал, "продуктивний" на золото, – 300 - 200° С (див. 1.2.2.), режим порівняно термостатований – вертикальний градієнт Δt = 5 - 6 до

10° С на 100 м, часовий градієнт $\Delta T/\Delta P$ = 2,5 - 1,0° на 1 МПа. Роль пневматолітово-газової фази обмежена епізодами гетерогенізації гідротерм унаслідок процесів вколювання (хлориди Na, K) під час масового руйнування хлорауратних комплексів.

5.1.2.2. Геотектонічні умови поширення (у нашому випадку подвійні – граніт-зеленокам'яні області архейських щитів або протерозойська складчастість навколо них), далі особливості вмісних товщ, співвідношення з метаморфітами та вулкано-плутонічними комплексами типу метаріо-дацит-плагіогранітових), важливіші літолого-структурні чинники контролю та морфометрія рудних тіл, метасоматичні поклади, часто жилоподібні зони навколорудного метасоматозу (біотитизація, анкеритизація, графітизація, альбітизація, імпрегнація їх сульфідами тощо), морфоструктурні типи руд, найважливіші критерії їхнього поширення. Подібний перелік питань є важливим у курсі і в подальшому структурно-порівняльному аналізі золоторудних родовищ.

5.1.2.3. Мінералого-геохімічні типи зруденіння (золото-пірит-піротиновий, золото-пірит-арсенопіритовий, інколи льолінгітовий), стадійність розвитку голов-них мінеральних парагенезисів, їхні головні текстурно-структурні риси, можливі елементи просторової зональності, середній вміст золота - 4 - 6 до 10 - 12 г/т, вертикальний розмах зруденіння - до 2 - 3 км за обов'язкового пояснення ролі термоградієнтності (термостатованості) умов, масштабність запасів загалом.

5.1.2.4. *Генотипні родовища*, геолого-структурна та мінералого-геохімічна характеристика яких є найбільш дохідливою ілюстрацією провідних закономірностей поширення цієї золоторудної формації. Можливі варіанти, однак найбільш яскраві та досконало вивчені такі рудні поля і родовища: Колар, Мізор (Індія), Сабітва, Стар, Шервуд (Південна Родезія), Порк'юпайн, Джіант-Йелоунайф (Канада), Калгурлі, Голден-Міль (Західна Австралія); типова чорносланцева субформація – Совруднік, Олімпіада, Сухий Лог, Вірне (Росія), Ашанті (Гана), Хоумстейк, Джуно (США), Мару-Велью (Бразилія).

Генетично-формаційними аналогами в Україні є Балка Золота, Сергіївське (Сурська зеленокам'яна структура), Балка Широка (Чортомлицька структура), Майське (чарнокіт-гранулітовий блок Південного Побужжя), а також Сурозьке,

Ольгінське, Балка Собача, Андріївське (Сорокінська зеленокам'яна структура в Приазов'ї).

5.1.3. Плутоногенно-гідротермальні родовища представлені золото-сульфідно-кварцовою формацією, включаючи скарнову та вуглець-теригенну субформації (всі помірно сульфідні, до 10 - 20 %).

5.1.3.1. Фізико-хімічна система рудоутворення тектоно-пневматолітово-гідротермальна (вуглекислотно-водна з концентрацією солей 9 – 11 %, на ранніх стадіях – 45 – 60 %, переважно середньобарна, на початку 200 – 100 Мпа, до 40 - 30 МПа), у температурному діапазоні 450 - 400 до 50° С (міжстадійні інверсії 70 - 110° С, "продуктивний" інтервал 280 - 200° С (див. 1.2.2); режим загалом *помірно термостатований* Δt=15-30° на 100 м), віковий градієнт $\Delta T/\Delta P$=2,0-8,8° С (у середньому 3°) на 1 МПа. Роль пневматолізу важлива на початку першої і другої допродуктивних стадій; у продуктивну поширені лише процеси гетерогенізації (кипіння та дегазації), що сприяє утворенню золоторудих стовпів.

5.1.3.2. Геотектонічні умови поширення, подібно до попередньої формації – подвійні (зона евгеосинкліналей та тектоно-магматичної активізації платформ разом з областями консолідованої складчастості), характерні генетичні зв'язки з гранітоїдними батолітами та парагенетичні з малими інтрузивами гіпабісальних зон. Широкий діапазон рудовмісних товщ, включаючи субформації "скарнів" (карбонатні) та "вуглець-теригенні" (в міогеосинкліналях). Особливості різномасштабного структурного контролю, морфометрія рудних тіл, головно жили виповнення, інколи заміщення), навколорудні метасоматити (серецитизація, березитизація, лиственітизація, калішпатизація, хлоритизація тощо).

5.1.3.3. Мінералого-геохімічні типи зруденіння досить численні: золото-піритовий (піротиновий), золото-магнетитовий, золото-пірит-арсенопіритовий, золото-бісмутиновий, золото-галеніт-сфалеритовий, золото-халькопірит-піритовий (сфалеритовий з бляклими рудами); текстурно-структурні особливості руд, головні мінеральні парагенезиси, стадійність (три - шість) їхнього формування; типи і причини зональності; середній вміст золота (15 - 20 до 30 г/т, пересічні руди (n·10 г/т), багаті - n·100 г/т; масштабність вертикального діапазону

зруденіння (0,7 - 0,8 до 1,5 км), що зумовлено проміжними розмірами термобарограднєнтних параметрів.

5.1.3.4. Генотипні родовища. Типовими є такі: Березівське, Кочкарське (евгеосинклінальна зона Уралу), Лебединське, Куранах (зона тектоно-магматичної активізації Алдану), Берикюль, Саралінське (Кузнецький Алатау), Ірокінда, Зун-Холба, Барун-Холба (Бурятія), Верхньодарасунське, Ключі, Ітака, Фатімовське, Голготай, Кара, Дельмачик, Любавінське (регіональна зона Монголо-Охотського розлому, Східне Забайкалля); вуглець-теригенна формація міогеосинклінальних областей – Степняк, Бестюбе, Джеламбет (Північний Казахстан), Архарлінське, Бакирчик (Південний Казахстан), Мурунтау (Західний Узбекистан), Кумптор (Киргизстан), Баларат, Бендіго (Південно - Східна Австралія), Гімпі, Чертерс-Тауерс (Пн-Сх. Австралія), Гросс-Веллі, Централсіті - Айдахоспрінгс (США); в Україні – Клинці, Східно - Юр'ївське (гранітоїдно-метатеригенний блок УЩ), Бобриківське, Вільноольховатське (Нагольний кряж, Донбас).

5.1.4. Вулканогенно-гідротермальні родовища представлені різномасштабними убогосульфідними (0,5 - 1,5 %) утвореннями золото-срібло-кварц-карбонатної формації ("юна-золото-срібна") з численними субформаціями типу "адуляр-серицитової", "кислотно-сульфідної" та ін.

5.1.4.1. Фізико-хімічна система рудоутвореня винятково низькобарна (*n* 1 - 20 Мпа), докритична власне гідротермальна (порівняно дегазована, слабко вуглекислотна з концентрацією солей 1 – 9 %); проте дуже характерна наявність парогазової фази, що зумовлено процесами ретроградного кипіння і тому не є мінералоутворювальною; тепловий діапазон загалом 360 - 350 до 50° С з міжстадійними інверсіями до 100-150° С (пояснити, коли і чому поширений інверсійно-регресивний тип режиму, а коли - інверсійно-прогресивний). Процеси мінералоутворення, зазвичай, багатостадійні (до п'яти - шести), продуктивні золото-срібноносні парагенезиси формуються в інтервалі 260 - 180° С (у межах конкретних родовищ це лише перші 10° С, тепловий режим таких систем загалом не термостатований з варіаціями вертикального градієнта Δt = 25 - 30 до 50° С на 100 м (у приповерхневих зонах до 80 - 90° С, за Мігазавою), а часовий градієнт $\Delta T/\Delta P$ = 8 - 12° С на 1 МПа (у середньому ~ 10° С). Саме тому вертикальний розмах золото-

срібного зруденіння конкретних родовищ є найменшим (300 - 400 м), але найбільш концентрованим ($n \cdot 100$ г до $n \cdot 1$ кг Au на 1т).

5.1.4.2. Геотектонічні умови поширення: рухливі зони вулканогенних поясів (крайові, острівні дуги, міжматерикові) та зони тектоно-магматичної активізації платформ, консолідованих складчастих областей); відповідно, широкий діапазон рудовмісних товщ (від туфів, ігнімбритів, лав переважно андезит-дацит-ріолітового складу до вулканогенно-теригенних, часто озерних фацій туфо-пісковиків, конгломератів грабеноподібних западин). Структурно-магматичний контроль зруденіння досить чіткий: кільцеві тектоно-вулканічні структури провального типу (кальдера Кріпл-Крік), депресійно-вулканічні структури клиноподібних грабен-синкліналей (Балейський тип); морфоструктурні типи зруденіння – штокверковий, жильно-штокверковий, метасоматично вкраплений; навколорудні зміни у вигляді полів поширення надрудних пропілітів з підзонами гідрослюдизації, каолінізації, аргілітизації, алунітизації, баритизації, адуляризації, окварцювання тощо.

5.1.4.3. Мінералого-геохімічні типи золото-срібного зруденіння особливо різноманітні: золото-аргентитовий, золото-полібазитовий, золото-піраргіритовий (з галенітом, сфалеритом), золото-арсенопірит-сульфоантимонітовий (з переважанням бляклих руд, срібла), золото-селенідовий (з ауростібнітом), золото-телуридовий (з переважанням калавериту, сильваніту, петциту, гесситу); досить умовно розрізняють золото-срібний тип руд (Au:Ag = від 1:1 до 1:150) та срібно-золотий (Au:Ag $\geq$ 1-1,2). Що стосується убогої сульфідності руд, то їхні текстурно-структурні особливості надзвичайно специфічні й мають важливе діагностичне значення: по-перше, чітко переважають досить рівномірні дрібно- та середньозернисті структури (тичкуваті, гребінчасті, а тим більше друзові агрегати дуже рідкісні); по-друге, особливо поширені масивні, дрібнозернисто-кварцові (“халцедоноподібні”) текстури: грубосмугасті, тонкоритмічні, фестончасто-смугасті, коломорфноподібні, каркасно-коробчасті, пластинчасті, що є кварцовими псевдоморфозами по пластинчастих кристалах кальциту та бариту.

5.1.4.4. Генотипні родовища західної та східної сторін вулканогенних поясів тихоокеанського узбережжя, зокрема: Годфільд, Карлін (шт. Невада, США), Теллурид-Сільветрон, Крипл-Крік (шт. Колорадо, США), Ельорі, Пачука, Парраль

(Кордільєри, Мексика), Тавуа (о.Фіджі), Акупан (Філіпіни), Каномаї (Японія), Хаканджа, Агатівське (Росія, Примор'я), Ойра, Північно-Евенське, Духат, Шкільне, Кубака, Карамкен (Охотсько-Чукотський вулканогенний пояс Росії), Біла гора (або Багатовершинне) в Нижньому Приамур'ї, Росія, Балейсько-Тасіївське (Східне-Забайкалля), Зодське (Вірменія), Мужіївське (Україна), Бая-Маре, Бая-Спріє, Роше-Монтана, Нагіаг (Румунія); відомі інші родовища, запаси яких більш скромні, а риси, які висвітлюють у цьому курсі, менш яскраві.

5.2. Розсипні родовища

В основі їхньої систематики є уявлення про механізм перенесення та накопичення самородного золота в умовах певних кліматичних зон та геоморфології сучасної і палеоповерхні планети. Промислове значення, хоча й далеко не однакове, мають такі типи розсипищ.

5.2.1. Елювіальні, частково делювіально-колювіальні, що утворилися переважно в умовах вологого жаркого клімату в ході латеритного звітрювання виверженних порід, кристалічних сланців та інших порід з розсіяною, часто досить бідною золото-кварцовою мінералізацією. Суть процесів полягає в гравітаційному накопиченні вивільненого золота вздовж тріщин у породах зони окиснення або в пухкій масі продуктів їхнього повного руйнування, здебільшого, в найнижчій частині кори звітрювання на рівні ґрунтових вод. Самостійного промислового значення подібні утворення не мають, але супутньо обов'язково їх експлуатують, зокрема, на відомому родовищі Калгурлі (Західна Австралія) на 25-метровій глибині звітрювання концентрація золота сягає 30 г/т.

5.2.2. Алювіальні розсипища, що в промисловому сенсі є найважливішими, можуть формуватися в помірно-континентальних умовах баріального клімату внаслідок фізичного та хімічного руйнування корінних родовищ золота та зон бідної мінералізації або перемивання давніх розсипищ. У ході прогнозно-розшукових робіт важливо враховувати можливість таких типів зв'язків з першоджерелами металу: а) насамперед – просторовий ("головка" розсипища завжди вказує в бік джерела); б) самородково-морфометричний (крупне золото поблизу джерела, дрібне – в шлейфах на відстані $n \cdot 10$ км); в) мінералого-геохімічний за даними "важкої" фракції шліхів; г) ТБГХ за включеннями у

прозорих мінералах “легкої” фракції шліхів; д) кількісний, враховуючи, що він далеко не завжди має позитивне значення. Багаті розсипища найчастіше є результатом руйнування не крупних родовищ, а полів, зон поширення “бідної”, навіть не промислової прожилково-вкрапленої мінералізації. Наприклад, у басейні р. Юкон (шт. Західна Колумбія, Канада) немає крупних родовищ, а в притоках дрібніших річок Клондайк, Ельдорадо брали із кожних 150 - 200 м по 150 кг золота; подібна ситуація з найкрупнішим у світі розсипищем Сейра-Піляде, що поширене серед пісковиково-гравійних нагромаджень р. Мадейра (Бразилія).

Потрібно звернути увагу на специфічність термінології розсипної геології: у вертикальному розрізі вирізняють – “ґрунти” (родючий шар), “торфи” (дрібнозернисті пісковиково-глинисті відклади), власне золотоносний “пласт” (або “піски”) та “плотик” (корінні породи, на яких залягає розсипище); важливо наголосити, що плотик нерідко може бути неправдивим (тобто “псевдоплотик”), що необхідно визначати шляхом додаткового заглиблення шурфів.

Прикладне та генетичне значення має аналіз нерівномірного розподілу золота у вертикальному розрізі розсипищ (приплотикові, висячі його концентрації) та по латералі – чітко струминні типи (стрічковий, багатострічковий, шлейфовий, шнурковий).

Морфологічно алювіальні розсипища, зазвичай, складно розгалужені, але завжди лінійно спрямовані, що властиве всім трьом підкласам: а) руслово-долинного (річки Колима, Алдан, Амур, Лена), б) терасово-увального (колишні долини Ленського регіону, Алдану, Якутії), в) дельтового (узбережжя Аляски, Колими, Приамур’я, Північної Якутії, Північно-Східної Бразилії тощо).

5.2.3. Літоральні розсипища (прибережно-морські та океанічні), що досить поширені, але промислово освоєні порівняно слабко і загалом їх можна розглядати як об’єкти майбутньої експлуатації. Відомо лише одне родовище Ном (п-в Сюард, Аляска, США), з якого видобуто понад 100 т золота. Утворилося воно в процесі багаторазового перемивання серії дельтових розсипищ унаслідок поступового, але спрямованого падіння прибережного рівня океанічних вод. Унаслідок цього сформовано 12 субпаралельних зон розсипищ “пляжного” типу; верхня крайня з них розташована на 25 м вище рівня моря на відстані близько 7 м

від берега моря. Рудоносна зона витягнута вздовж узбережжя на 25 км, а впоперек - до 10 км, довжина окремих золотоносних покладів 1-2 км, ширина 100-180 м, потужність 1,2-1,5 при середньому вмісті золота від 0,1 до 1,0 г/м^3

5.3. Метаморфізовані розсипища

Зруденіння цього генетичного типу представлене родовищами лише однієї формації – давніх золотоносних конгломератів (з ураном), яка відома, головно, у межах докембрійських щитів. До них належать найбільші у світі родовища золоторудного басейну Вітватерсранд (ПАР), рудних поясів Жакобіна (Бразилія), Тарква (Гана), рудних зон Блайнд-Рівер (Канада) довжиною 125 км і шириною 15 - 20 км, а також рудні пояси у межах Українського та Балтійського щитів.

Найдосконаліше вивченим представником цього типу є метаморфізовані конгломерати провінції Вітватерсранд (провінція Трансваааль на півдні Африка); їхня золотоносність виявлена у 1884 р. й до наших часів реалізована в розмірі понад 45 тис. т золота, супутньо 1500 т срібла, 1500 т платиноїдів, понад 100 тис. т уранових руд (U_3O_8).

5.3.1. Геотектонічна позиція. Провінція розташована неподалік від м. Йоганесбург, на межі граніт-зеленосланцевих структур архейського ядра (з поширенням порівняно бідної золото-кварцової мінералізації) та нижньопротерозойських товщ річково-дельтових відкладів (головних концентраторів розсипного золота), які перетворені в конгломерати, пісковики та перекриті порфіритами (туфолави, нижній протерозой) і палеозойсько-кайнозойськими відкладами. Структурно територія поширення золотоносних площ (350 км на південний схід та 200 км на південний захід) тяжіє до порівняно похилого (близько 20°) крила синкліналі, яке розбите сіткою скидів з амплітудою 1 - 200 м. Загальна потужність цих товщ - 14 км, рудними тілами є пачки золотоносних конгломератів, так звані рифи з прошарками кварцитів, а їхні збагачені частини називають банкетами.

Найпродуктивнішим є верхній відділ Вітватерсрандського комплексу конгломерато-кварцитів, що містить понад 16 рифів потужністю від 30 до 400 м. Потужність банкетів значно менша (1 см - 3 м), однак вони простягаються до 70

км по латералі і понад 8 км по падінню; шахтами зруденіння розкрито на 4 300 м, свердловинами – на 4 600 м.

5.3.2. *Мінералого-геохімічні особливості руд* визначені мономіктовим характером золотоносності конгломератів, у яких на 80 % галька з добре обкатаним жильним кварцом (3 - 6 см), часто навіть з прошарком самородного золота. Цемент – темний, зеленосланцевої фації – дрібнозернистий кварц, хлорит, біотит, серицит, епідот, карбонати; з сульфідів (5 - 10%) типові середньотемпературні (270 - 200° С) мінерали - пірит, піротин, халькопірит, галеніт, сфалерит, марказит, арсенопірит, тенантит, арсеніди нікелю, кобальту. Заслуговує на увагу уламкова фракція цементу, що аналогічна за складом до важкої фракції будь-яких розсипищ – хромшпінеліди, циркон, рутил, монацит, ксенотип, апатит, турмалін, алмаз.

Усе це важливо у зв’язку з наявністю (навіть після 120 років експлуатації) двох точок зору щодо природи зруденіння:

а) за поглядами Л. Грейтона, Ч. Девідсона, Е. Хейнріка та інших, золото та уранініти мають винятково гідротермальне походження, про що свідчить поширення сульфідних асоціацій разом зі сполуками U^{+4}, які не можуть бути стійкими в гіпергенних умовах рудоутворення;

б) за Г. Шнейдерхеном, П. Рамдором, В. Домбровим, В. Котляром, С. Шером та іншими, може йтися лише про протерозойські дельтові золотоносні розсипища, що були метаморфізовані в *PT*-умовах зеленосланцевої фації. Аргументація наступна:

1) віялоподібна структура золотоносного басейну загалом;

2) літологія типово альвіально-дельтових відкладів з кварцовими конгломератами, що чітко корелюється з кварцовими жилами архейського віку;

3) лінійно-струминний характер розподілу золота, що контрольоване винятково крупногалечними відмінами конгломератів;

4) чітка приплотикова концентрація золота в банкеті та його кореляція з названими вище мінералами великої фракції;

5) натомість золото не корелює з сульфідами, що найвірогідніше справді є гідротермально накладеним, хоча, на думку С. Шера (1972 - 1974), стійкість

сульфідів (S^{-2}), і уранінітів (U^{+4}) була зумовлена надзвичайно слабким окиснювальним середовищем атмосфери нижньопротерозойського часу, коли в ній усе ще переважали не кисневі, а вуглеводневі сполуки.

Отже, Вітватерсранд (геологічний "монстр") є надзвичайно цікавим та загадковим явищем природи, до того ж, з унікально крупними запасами руд не тільки золота (близько 60 % світового ресурсу, за С. Шером), а й інших металів. Середній вміст золота в них становить 10 г/т (від 8 до 20 г/т), пробність його надзвичайно висока (900 - 935 %), але дрібний клас виділень (0,001 – 0,1 мм). Срібла в рудах у 20 разів менше, ніж золота. Воно міститься у вигляді інтерметалевих сполук - пруститі, частково самородне; серед платиноїдів переважає осмій (40 %) та іридій (35 %), містяться (разом з Re, Pt, Po) в кількості від 3 до 30 мг/т; уран у вигляді уранініту, бранериту, тухоліту або ураноториту, середній вміст U_3O_8 сягає 0,03 %. Навіть після понад 120-річної експлуатації запаси золотих руд становлять понад 40 тис. т, уранових – близько 450 тис. т.

На завершення цього суто «золотого» спецкурсу ще раз необхідно наголосити на величезних природних запасах золота у складі різноманітних типів комплексних руд (умовно другорядних, див. 4.1.1. - 5.) та у вигляді принципово нових, поки що не освоєних джерел близького майбутнього, які також згадано вище (див. 4.1.7. – 9.).

Цей спецкурс передбачає написання курсової роботи студентами-магістрами, тому наводимо перелік тем курсових робіт з курсу та орієнтовний плад до деяких робіт.

Прогнозно-розшукові критерії золотого зруденіння

1. Критерії прогнозування формацій вулканогенно-гідротермальних родовищ золота та срібла.
2. Критерії прогнозування формацій плутоногенно-гідротермальних родовищ золота.
3. Критерії прогнозування формацій метаморфогенно-гідротермальних родовищ золота.
4. Критерії прогнозування золото-срібного зруденіння малоглибинних формацій.
5. Критерії прогнозування золотого зруденіння середньоглибинних формацій.
6. Порівняльна характеристика критеріїв прогнозної оцінки золотого зруденіння мало- та середньоглибинних формацій.
7. Градієнтний аналіз палеотеплового режиму (полів) як основа прогнозної оцінки масштабності золотого зруденіння різноглибинних формацій.

Геологія та фізико-хімічні умови зруденіння

8. Геолого-генетичні типи власне золотого та золотоносного зруденіння.
9. Порівняльна характеристика геолого-структурних та термобаричних умов локалізації золоторудних родовищ різноглибинних зон.
10. Особливості геотектонічної позиції, магматизму та морфоструктури золотого зруденіння мало- та помірноглибинних зон.
11. Стадійність та термобаричний режим формування золоторудних родовищ мало- та помірно сульфідних формацій.
12. Екзогенні типи золотого зруденіння (первинні джерела, кліматичні та геоморфологічні чинники).
13. Форми гідротермального перенесення золота.

Орієнтовний план до написання цієї роботи:

Вступ

1. *Еволюція поглядів щодо перенесення рудоутворювальних елементів гідротермами.*
2. *Сучасні уявлення про можливі форми перенесення золота в умовах гідротермальних систем.*
3. *Мінералого-геохімічні асоціації золота в промислових рудах різноглибинних зон їхньої локалізації.*

Висновки

Список використаної літератури

14. Головні риси геохімії золота та проблема його гідротермального транспортування.

Орієнтовний план до написання цієї роботи:

Вступ

1. *Загальні відомості з хімії золота.*
2. *Нові дані з геохімії золота та можливі форми його перенесення в гідротермальних умовах.*
3. *Специфіка головних геохімічних асоціацій золота та його мінеральні парагенези в рудах.*
4. *Сучасні принципи мінералого-геохімічної та формаційної типізації золотоносних руд.*
5. *Мінералого-геохімічні та термобарогеохімічні основи прогнозної оцінки золотоносних провінцій.*

Висновки

Список використаної літератури

Список літератури

1. *Билибин Ю.А.* Общие вопросы металлогении золота // Избр. Тр. Т. 2. М, 1959. 498 с.

2. *Бобров О.Б., Малюк Б.І., Сіворонов А.О.* та ін. Типізація золоторудних родовищ Українського щита // Відомості академії гірничих наук України. 1997. № 4. С. 81 - 85.

3. *Бобров О.Б., Сіворонов А.О., Гурський Д.С.,* та ін. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України. К.: УкрДГРІ, 2004. 456 с.

4. *Бородаевская М.И., Рожков И.С.* Месторождения золота // Рудные месторождения СССР. Т. 3. М.: Недра, 1976. С. 5 - 77.

5. *Власов Г.М.* Особенности условий образования золото-серебряных месторождений пропилитовой формации // Золоторудные формации Дальнего Востока. М, 1969. С. 100 - 108.

6. *Галецький Л.С.* Золотоносність України // Наукові основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота: Матеріали міжнар. наук. конф. Львів, 1999. С. 34 - 36.

7. *Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І.* та ін. Металічні корисні копалини України Т. 1. Київ; - Львів: Центр Європи, 2006. 739 с.

8. *Звягинцев О.Е*. Геохимия золота // М.; Металургия, 1959. 380 с.

9. Золото в надрах України / За ред. Е.М. Лазька, Львів: Світ, 1992. 160 с.

10. *Крейтер В.М., Аристов В.В., Волинський И.С.,* и др. Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1959.

11. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. / Л.: Недра, 1978. 607 с.

12. Курс месторождений твердых полезных ископаемых / Под ред. П.М. Татаринова, А.С. Карякина. Л.: Недра, 1975. 631 с.

13. *Кубель Л.Е.* Страна золота. М.: Наука, 1966. 147 с.

14. *Лазько Е.М., Ляхов Ю.В., Пизнюр А.В.* Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения. М., Недра, 1981. 254 с.

15. *Лидгрен В.* Месторождения золота и платины. М.;-Л.: Цветметиздат, 1932. 186 с.

16. *Ляхов Ю.В., Павлунь Н.Н., Пизнюр А.В., Попивняк И.В.* Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски, оценка оруденения). Львов, Світ, 1995. 279 с.

17. *Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Попівняк І.В., Ціхонь С.І.* Кількісне термобарогеохімічне моделювання полів золотого зруденіння в практиці локального прогнозування // Мінерал. зб. 2001. № 51. Вип 1. С. 22-34.

18. *Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Ціхонь С.І.* Термостатованість палеогідросистем як основа генетичної типізації золоторудних родовищ України // Мінерал. зб. 2002. № 50. Вип 2. С. 38-43.

19. *Ляхов Ю.В., Павлунь М.М., Пахнющий Ю.О., Луньов Г.О.* Критерії прогнозної оцінки золотоносних територій (теоретичні та методологічні засади) // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2003. Вип.17. С 33-42; 2004. Вип.18. С 3-16.

20. *Марфунин А.С.* История золота. М.; Наука, 1987. 245с.

21. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т. 1 Под ред. Н.П. Щербака, А.Б. Боброва, Киев-Львов, Центр Європи, 2005, 783 с.

22. *Моисеенко В.Г.* Геохимия и минералогия золоторудных районов Дальнего Востока. М.; Наука, 1977. 304 с.

23. *Нарсеев В.А.* Промышленная геология золота. М.; Науч. Мир, 1996. 243 с.

24. Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Л., 1971. 454 с.

25. Основы научного прогноза месторождений твердых полезных ископаемых. Под ред. Б.Н. Ефремова., Д.В. Рундквиста. М.: вып. 1-7, 1971. 226 с.

26. *Петровская Н.В.* Самородное золото. М.: Наука. 1973. 373 с.

27. *Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д.* Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. Т. 2. М.: Наука. 1976. С. 3-110.

28. Региональные и локальные закономерности размещения месторождений. Под ред. Д.В. Рундквиста, А.Д. Щеглова. Л., 1970-1971. Вып. 1-12. 88 с.

29. *Рожков А.И.* Близповерхностные месторождения золота. Среднеглубинные месторождения золота // Геология рудных месторождений. 1971. Вып. 13. № 3. С. 3 - 14; № 5. С. 23 - 27.

30. *Сидоров А.А., Найбородин В.И., Гончаров В.Й.* Особенности генезиса вулканогенных месторождений // Геолого-геохимические особенности месторождений полезных ископаемых на Северо-Востоке СССР. 1976. Вып. 69. С. 42 - 57.

31. *Сіворонов А.О., Бобров О.Б.* та ін. Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад, модель утворення) // Дніпропетровськ, НАНУ, ІГН, 2000, 166 с.

32. *Смирнов В.И., Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф.* Курс рудных месторождений. М.: Недра. 1981. 348 с; 1986, 360 с.

33. *Соболевский В.И.* Благородные металлы (золото). М.: Знание, 1970. 48 с.

34. *Шер Д.С.* Металлогения золота. М.; 1972. Т. 1, 295 с.; 1974, Т. 2, 256 с.

35. *Шило Н.А.* Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1985.

36. *Фосс В.* Золото. М.; Госгеолтехиздат, 1963. 280 с.

37. *Яценко Г.М., Бабынин А.К., Гурский Д.С*. и др. Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита. Киев: Геолинформ, 1998. 256 с.