

## ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗОЛОТОРУДНИХ СИСТЕМ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

**О.В. Драгомирецький<sup>1</sup>, В.М. Кадурін<sup>2</sup>**

*(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук Л.С. Галецьким)*

<sup>1</sup> Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна,

E-mail: science@onu.edu.ua

*Кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент.*

<sup>2</sup> Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна,

E-mail: science@onu.edu.ua

*Кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент.*

Для розшифровки формування золоторудних систем пропонується метод геолого-генетичної інтерпретації геологічної інформації по золоторудних об'єктах Українського щита, який передбачає побудову спочатку простих геолого-генетичних моделей, а потім їх суперпозицію (послідовне накладення) відносно можливих комбінацій різних геологічних умов. При цьому прості моделі характеризуються ієрархічно побудованими граничними умовами: енергетичними характеристиками, походженням, генезисом і парагенезисом.

*Ключові слова:* суперпозиція, геолого-генетичні моделі, золоторудні системи, докембрій, Український щит.

## PRINCIPLE OF SUPERPOSITION AT CONSTRUCTION OF GEOLOGIC-GENETIC MODELS OF GOLD-ORE SYSTEMS OF UKRAINIAN SHIELD

**O.V. Dragomyretsky<sup>1</sup>, V.M. Kadurin<sup>2</sup>**

*(Recommended by doctor of geological and mineralogical sciences L.S. Galetsky)*

<sup>1</sup> Odessa I.I. Mechnikov National University, Odessa, Ukraine,

E-mail: science@onu.edu.ua

*Candidate of geological and mineralogical science, Associate professor.*

<sup>2</sup> Odessa I.I. Mechnikov National University, Odessa, Ukraine,

E-mail: science@onu.edu.ua

*Candidate of geological and mineralogical science, Associate professor.*

Method of geologic-genetic interpretation of geological information on the gold-ore objects of Ukrainian Shield is proposed for decryption the peculiarities of formation of gold-ore systems. It includes at first the construction of simple geologic-genetic models and then their superposition (sequential overlay) regarding possible combinations of different geological conditions. Simple models are characterized by hierarchically lined up boundary conditions: the energy characteristics, origin, genesis and paragenesis. Mathematical calculations made based on combinatorics, showed that the number of possible combinations of 11 simple geological-genetic models and their superposition provides for the Ukrainian Shield conditions exist 550 model variants (combinations) of gold-ore systems. These combinations of gold-ore systems can be used as a basis for forecasting real gold deposits.

*Key words:* superposition, geologic-genetic models, gold-ore systems, Precambrian, Ukrainian Shield

# ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ СИСТЕМ УКРАИНСКОГО ЩИТА

**А.В. Драгомирецкий<sup>1</sup>, В.Н. Кадурин<sup>2</sup>**

*(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук Л.С. Галецким)*

<sup>1</sup> *Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Одесса, Украина,*

*E-mail: science@onu.edu.ua*

*Кандидат геолого-минералогических наук, доцент.*

<sup>2</sup> *Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Одесса, Украина,*

*E-mail: science@onu.edu.ua*

*Кандидат геолого-минералогических наук, доцент.*

Для расшифровки формирования золоторудных систем предлагается метод геолого-генетической интерпретации геологической информации по золоторудным объектам Украинского щита, который предусматривает построение сначала простых геолого-генетических моделей, а затем их суперпозицию (последовательное наложение) относительно возможных комбинаций различных геологических условий. При этом простые модели характеризуются иерархически выстроенными граничными условиями: энергетическими характеристиками, происхождением, генезисом и парагенезисами.

*Ключевые слова:* суперпозиция, геолого-генетические модели, золоторудные системы, докембрий, Украинский щит.

## **Вступ і теоретико-методична частина**

Фундамент найдавніших платформ Землі складений докембрійськими комплексами порід, які пройшли значну еволюцію в часі. На сьогоднішній день найбільш стійки уявлення про геологічні процеси в межах Українського щита (УЩ) зводяться до того, що в ранньому докембрії формувалась недосконала земна кора, складена в основному вулканогенно-осадочними комплексами базитів, які були прорвані інтрузивними і ефузивними утвореннями суттєво основного складу. На цьому етапі формувался і золоторудний потенціал докембрійських комплексів УЩ. Наступні процеси регіонального метаморфізму, ультраметаморфізму-магматизму і пов'язані з ними процеси метасоматозу тільки перерозподіляли існуючий рудний потенціал. Ці процеси охоплювали всі комплекси, які були сформовані на етапі накопичення первинної базитової протокори, етапі регіонального метаморфізму базитових протоосадових верств, етапі палінгенезу, часткового ультраметаморфічного плавлення з формуванням спочатку натрієвих, а потім нормальних суттєво калієвих плутонічних комплексів.

Послідовне накладення їх друг на друга привело до формування складних золоторудних об'єктів. Тому дотепер ці об'єкти важко піддаються розшифруванню і встановленню їхньої генетичної позиції, що утруднює їх типізацію і загальну оцінку золоторудного потенціалу УЩ.

Питання генетичних моделей завжди вирішувалось шляхом пошуку робочих (типоморфних) ознак золотого зруденіння. Традиційно дослідники вивчають певні генетичні ознаки (мінералогічні, геохімічні, термобаро-геохімічні, ізотопні та ін.) в межах золоторудних родовищ, зокрема і для умов УЩ [Бобров та ін., 2004; Коваль і др., 1997; Павлунь, 2003; Яценко і др., 1998] і на їх підставі будують генетичні моделі формування золотого зруденіння. Наприклад, М.М.Павлунь наводить чотири генетичні моделі, В.Б.Коваль – три. Але в цих моделях не враховуються поліциклічність і полістадійність процесів мінералоутворення в умовах еволюції геологічних комплексів УЩ, а також можливого послідовного накладення золоторудних процесів. При цьому ми вважаємо, що найважливіші пошукові типоморфні ознаки мають бути отримані за допомогою

досліджень акцесорних мінералів, термобарогеохімії та РТ трендів породоутворюючих мінералів [Перчук и др., 1993].

Мета роботи – показати, що для розшифровки складних полістадійних золоторудних об'єктів УЩ і побудови їхньої генетичної класифікації необхідно застосовувати метод геолого-генетичної інтерпретації геологічної інформації по цих об'єктах, враховуючи послідовне накладення різних геологічних умов (принцип суперпозиції).

В роботі використані загальний аналіз термодинамічних особливостей існуючих золоторудних систем в докембрії УЩ і розрахунки можливої кількості їх складних геолого-генетичних моделей з урахуванням основних засад математичної комбінаторики.

### **Обговорення результатів**

При будівництві геолого-генетичної класифікації і простих моделей золоторудних систем УЩ в якості найкрупніших таксонів повинні виділятися комплекси – екзогенні і ендегенні, які характеризують головну енергетичну складову – зовнішню і внутрішню, кожна з яких визначається своїми провідними енергетичними параметрами.

Другим таксоном слугують серії – гіпергенна, седиментогенна, магматогенна і метаморфогенна. Серія передбачає походження об'єкта як результату головного геологічного процесу, який розвивався в цій частині літосфери і привів до формування золотого зруденіння. Очевидно, що до таких походжень можна віднести: 1) магматогенне і 2) метаморфогенне, як наслідок процесів, які відбуваються за рахунок внутрішньої енергії Землі (ендегенні); 3) гіпергенне і 4) седиментогенне, як наслідок процесів за рахунок зовнішньої енергії, яка поступає на Землю (екзогенні). Ці припливи енергії дозволяють функціонувати нерівноважним системам, які з позицій термодинаміки відносяться до відкритих. Характер таких систем за ступенем їх розвитку і спрямованості звичайно оцінюють величинами ентропії і виробництва ентропії. Причому, якщо ентропія системи характеризує ступінь її впорядкованості, то виробництво ентропії показує напрямок розвитку системи до порядку чи безладу.

У вище наведених парах походжень один член характеризується зростанням виробництва ентропії, тобто ускладненням системи за рахунок припливу енергії, а другий зменшенням цього показника, тобто впорядкуванням системи. Таким чином, в кожній парі присутній прогресивний і регресивний члени дуальної пари. З термодинамічних позицій прогресивний член дуальної пари характеризується зростанням температури і тиску, а регресивний – зниженням цих параметрів. Так, в ендегенній парі прогресивними вочевидь є метаморфічні об'єкти, а регресивними – ультраметаморфічні або магматичні.

В екзогенній парі зв'язок між термодинамічними параметрами не настільки очевидний. Однак, якщо повернутися до поняття відтворення ентропії та розміру роботи, яка реалізується в результаті витрат енергії, то вочевидь, що прогресивним процесом буде процес руйнування порід, тобто вивітрювання (в нашому випадку цей процес зручніше називати гіпергенезом), а регресивним – процес седиментогенезу і подальших процесів літифікації порід.

Таким чином, за походженням у межах УЩ виділяються наступні серії золоторудних систем: екзогенні – гіпергенні (вивітрювання) і седиментогенні; ендегенні – метаморфогенні («прогресивні») і ультраметаморфогенно-магматогенні («регресивні»).

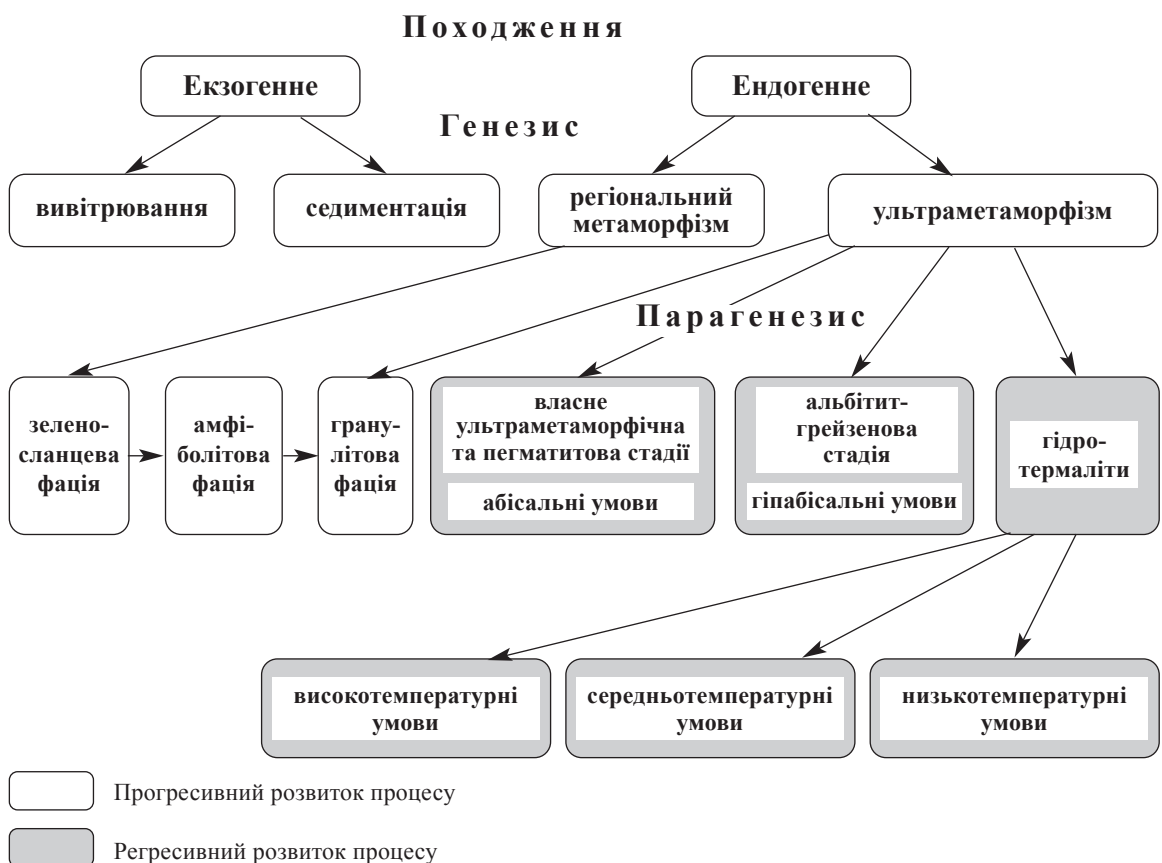
За генезисом у серіях золоторудних систем виділяються такі групи: у гіпергенній – ранньої кори вивітрювання і розсіпів; у седиментогенній – вулканогенно-осадочна, біогенна та осадочно-вулканогенна; у метаморфогенній (прогресивній) – метаморфізована та метаморфічна; в ультраметаморфогенно-магматогенній (регресивній) – магматична, власне ультраметаморфічна та гідротермальних метасоматитів.

За парагенезисом (який формується у відповідну стадію певного генетичного процесу) у групах золоторудних систем виділяються такі класи: у групі ранніх кір вивітрювання – остаточний і інфільтраційний; у групі розсіпів – прибережно-морський слабо сортований (гравеліти, конгломерати); у групі вулканогенно-осадочній – власне вулканогенно-осадочний, вулканогенно-осадочний з вуглицем, хемогенно-вулканогенно-

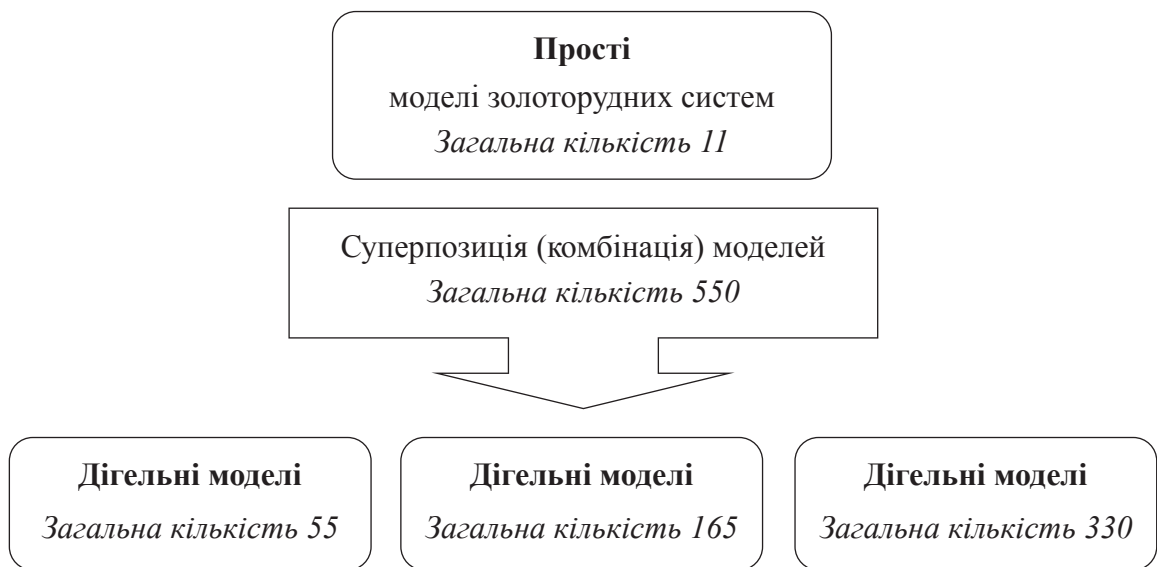
осадочний; у групі осадоочно-вулканогенній – протоспіліто-кератофіровий; у групі біогенній – біогенний-бактеріальний (сульфат-редукція типу чорноморської); у групі метаморфізованій – вулканогенно-осадоочний і осадоочно-вулканогенний; у групі метаморфічній – прогресивних метасоматитів гідротермального типу з піритом, продуктів фації зелених сланців з сульфідами, продуктів амфіболітової фації з вуглецем і ураном, прогресивних метасоматитів грейзенового типу з флогопітом, кумінгтонітом, турмаліном, клінопіроксеном, шпінеллю; у групі ультраметаморфогенно-магматогенній – власне ультраметаморфічній і пегматитовій (для абісальних плутонів – глибини більш ніж 10 км) і альбітит-грейзеновий (для гіпабісальних плутонів – глибини 3-5 км); у групі гідротермальних метасоматитів – високотемпературний з As, Cu, W та ін., середньотемпературний з Bi, Sb тощо і низькотемпературний з Pb, Zn, Hg (рис. 1).

Таким чином, формування золоторудних систем УЩ контролюється: походженням (головними геологічними процесами – гіпергенним, седиментогенним, метаморфогенним і ультраметаморфогенно-магматогенним); генезисом, як конкретними можливостями проходження хімічних реакцій в межах певного генетичного процесу; парагенезисом у вигляді широких і вузьких пороодоутворюючих і рудних асоціацій (парагенезисів), як конкретним мінеральним втіленням окремих стадій генетичного процесу з певними типоморфними ознаками.

Для розшифровки формування золоторудних систем пропонується метод геолого-генетичної інтерпретації геологічної інформації по цих об'єктах, який передбачає побудову спочатку простих геолого-генетичних моделей, а потім їх суперпозицію щодо можливих комбінацій різних геологічних умов (рис. 2).



**Рис. 1.** Геолого-генетична класифікація та прості моделі золоторудних систем  
**Fig. 1.** Geological and genetic classification and simple models of gold-ore systems



**Рис. 2.** Діаграма суперпозиції  
**Fig. 2.** Diagram of superposition

Прості геолого-генетичні моделі є способами розв'язання типових зворотних задач геології з введенням ієрархічно послідовних граничних умов. Ці граничні умови визначаються:

- енергетичними характеристиками, що характеризують основну енергетичну складову, – зовнішню (екзогенну) і внутрішню (ендогенну), кожна з яких визначається своїми провідними енергетичними параметрами;

- походженням, як результатом головного геологічного процесу, що розвивається в цій частині літосфери і який сформував золоте зруденіння;

- генезисом, як конкретним чином проходження природних хімічних реакцій, що привели до утворення золоторудного об'єкта і визначали поведінку золота у режимах описаного генезису;

- парагенезисом, як конкретними мінеральними асоціаціями (комплексами) окремих стадій процесу з певними типоморфними ознаками.

Це дозволяє побудувати 11 варіантів простих теоретично можливих геолого-генетичних моделей, як вичерпного переліку можливих геологічних варіантів. При цьому апіорі прийнята умова, що варіант реалізується в чистому вигляді. Також відомо і неодноразово доведено багатьма дослід-

никами, що більшість золоторудних об'єктів має полігенний характер. Полігенність визначається вже тим фактом, що всі об'єкти УЩ зазнали метаморфізм різних ступенів, як процес, накладений на раніше сформовані породи. Так, моделі, що відносяться до гіпергенної серії, не можуть бути виявлені в незміненому вигляді в межах щита. Так само як і не можуть бути виявлені в одному об'єкті продукти фації метаморфізму, що прогресивно сформувалися. Таким чином, в реальних природних умовах прості моделі гіпергенних, седиментогенних, метаморфогенних і ультраметаморфогенно-магматогенних золоторудних систем можуть послідовно накладатися одна на одну (принцип суперпозиції) з утворенням складних дігенних, тригенних і тетрагенних моделей.

Для розрахунку можливих комбінацій теоретичних золоторудних моделей були використані основи комбінаторики і формула розрахунку можливого числа комбінацій без урахування порядку проходження елементів і складання комбінацій без повторів

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!},$$

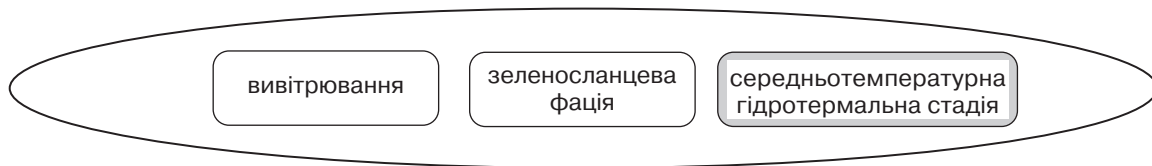
де  $C_n^k$  – число можливих комбінацій;  $n$  – число простих моделей,  $n = 11$ ;  $k$  – число елементів,  $k = 2, 3, 4$ .

Розрахунки показали, що можлива кількість комбінацій з 11 простих геолого-генетичних моделей і їх накладень припускає для докембрійських умов УЩ існування 550 модельних варіантів (комбінацій) золоторудних систем. Саме ця кількість можливих варіантів і призводить до того, що до цих пір

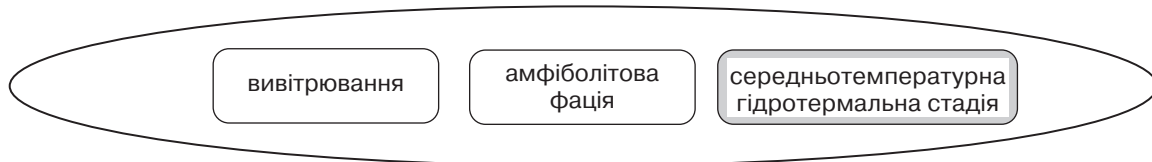
золоторудні об'єкти не піддаються єдиній класифікації. Тим паче, що побудова різних генетичних класифікацій золоторудних родовищ виконується на еталонних принципах, як правило, в одній інформаційній площині. Моделі існуючих золоторудних об'єктів УЩ наведені на рис. 3.

### Тригенні моделі

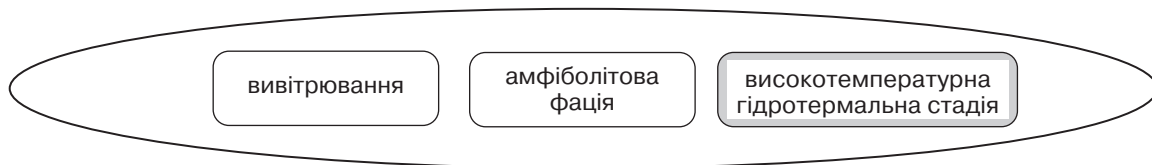
1. Сурський рудний район, Сергіївка



2. Чортомлицький рудний район, Балка Широка;  
Побузький рудний район, Східно-Капустянський прояв



3. Голованівський рудний пояс, Капітанка

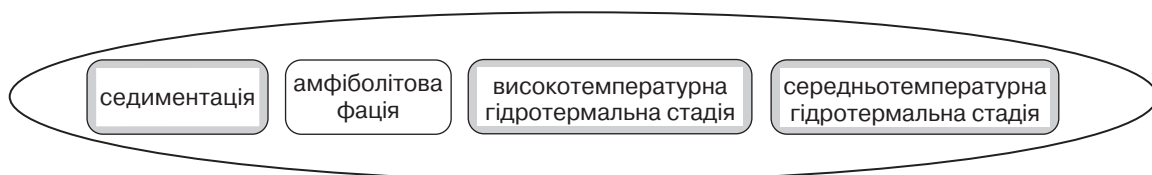


### Тетрагенні моделі

1. Кіровоградський рудний район, Юр'івка



2. Західноприазовська МЗ, Сурозьке; Кіровоградський рудний район, Клинці;  
Побузький рудний район, Савранський прояв



**Рис. 3.** Складні моделі існуючих золоторудних об'єктів УЩ

**Fig. 3.** Complex models of existing gold-ore objects of Ukrainian Shield



Інтерпретація інформації повинна відбуватися тільки в рамках обраної моделі. Це дозволить розрахувати вузькі парагенезиси, що характеризують різні етапи формування об'єктів. Особливо складною уявляється інтерпретація інформації, коли модельні вузькі парагенезиси не тільки накладаються один на одного як послідовні прояви, але і взаємодіють між собою хімічно. Складність інтерпретації обумовлена і тим, що частина мінеральних видів (як правило, золото і деякі сульфіді) буде проявлена в кожному парагенезисі і тоді буде потрібно онтогенічне розділення цього мінерального виду на генетичні групи. При цьому виділятимуться і мінеральні види, що відображають генетичну модель, які нестинуть максимальне типоморфне навантаження, і, насамкінець, можуть розглядатися як пошукові ознаки.

Складні геолого-генетичні моделі золоторудних систем УЩ можуть бути використані як підстава для прогнозування реальних золоторудних родовищ. Ієрархічна взаємодія золоторудних систем на рівнях вузького парагенезису (геологічного тіла) – генезису (певного генетичного процесу, наприклад, гідротермального, частина речовини якого є руда) – походження (головного геологічного процесу) дає можливість розглядати вузький парагенезис (клас) як більш надійну пошукову ознаку, а генезис (групу) – як більш надійний пошуковий критерій.

## Висновки

Виконані дослідження дозволяють вважати, що утворення золоторудних систем УЩ контролюється: походженням (головними

геологічними процесами) – гіпергенним, седиментогенним, метаморфогенним і ультраметаморфогенно-магматогенним, яким відповідають серії золоторудних систем; генезисом, як конкретним генетичним процесом, якому відповідають групи золоторудних систем, і парагенезисом у вигляді широких і вузьких мінеральних асоціацій (парагенезисів), як конкретним мінеральним втіленням окремих стадій генетичного процесу з певними типоморфними ознаками, яким відповідають класи золоторудних систем.

Для розшифровки формування золоторудних об'єктів пропонується метод геолого-генетичної інтерпретації геологічної інформації по цих об'єктах, який передбачає побудову спочатку простих геолого-генетичних моделей, а потім їх суперпозицію щодо можливих комбінацій різних геологічних умов.

У реальних природних умовах прості моделі гіпергенних, седиментогенних, метаморфогенних і ультраметаморфогенно-магматогенних золоторудних систем можуть послідовно накладатися один на одного з утворенням складних дігенних, тригенних і тетрагенних моделей. Розрахунки, виконані на підставі комбінаторики, показали, що можлива кількість сполучень 11 простих геолого-генетичних моделей і їх накладень передбачає для докембрійських умов УЩ існування 550 модельних варіантів (комбінацій) золоторудних систем. Ці модельні комбінації золоторудних систем УЩ можуть бути використані як підстава для прогнозування реальних золоторудних родовищ.

## Список літератури / References

1. *Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України* / Бобров О. Б., Сиворонов А. О., Гурський Д. С. [та ін.]. – Київ: УкрДГПІ, 2004. – 368 с.

*Geological and genetic typification of gold deposits of Ukraine* / Bobrov O. B., Sivoronov A. O., Gursky D. S. [et al.]. Kyiv: UkrGGPI, 2004. 368 p (in Ukrainian).

2. *Коваль В. Б. Золоторудные месторождения Украинского щита (Украина)* [Текст] / Коваль В. Б., Коптюх Ю. М., Ярощук М. А., Фомин Ю. А., Лапуста В. Ф. // *Геология рудных месторождений*. – 1997. – Т. 39, № 3. – С. 229-246.

*Koval V. B. Gold deposits of the Ukrainian Shield (Ukraine)* / Koval V. B., Koptuykh Yu. M., Yaroshchuk M. A., Fomin Yu. A., Lapusta V. F. *Geology of Ore Deposits*. 1997. Vd. 39, № 3. P. 229-246 (in Russian).

3. *Павлунь М.М. Фізико-хімічні умови і зональність розвитку молібден-вольфрамових та золоторудних формацій (за результатами термобарогеохімічних досліджень)* [Текст]: автореф. дис ... д-ра геол. наук: 04.00.11 / М. М. Павлунь. – Львів, 2003. – 53 с.

*Pavlun M. M.* Physico-chemical conditions and zoning of molybdenum, tungsten and gold formations (based thermobarogeochemical researches). Author. Thesis. Doc. Geol. Science: 04.00.11 / Ivan Franko National University of Lviv, 2003. 53 p (in Ukrainian).

4. *Перчук Л. Л.* Геодинамическая модель кратонизации зеленокаменных поясов (зеленокаменные пояса и гранулиты) [Текст] / *Л. Л. Перчук, И. В. Носырев, В. Н. Кадури* // Критерии поисков и перспективы промышленной золотоносности Украины: труды межведомств. совещания, 23-25 марта 1993 г., г. Одесса / ИГМР НАН Украины. – Киев, 1993. – С. 15-38.

*Geodynamic model cratonization greenstone belts (greenstone belts and granulites) / L. L. Per-*

*chuk, I. V. Nosyrev, V. N. Kadurin.* Search criteria and perspectives of industrial gold of Ukraine: Proc. Interdepartmental meeting, 23-25 March 1993, Odessa / IGMOF of NAS of Ukraine. Kiev, 1993. P. 15-38 (in Russian).

5. *Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита / Яценко Г. М., Бабынин А. К., Гурский Д. С. [и др.]* – Киев: Геоинформ, 1998. – 256 с.

*Gold deposits in Precambrian gneiss complexes of the Ukrainian Shield / Yatzenko G. M., Babynin A. K., Gursky D. S., [et al.]*. Kiev: Geoinform, 1998, 256 p. (in Russian).

Стаття надійшла

24.04.2015