УДК 551.243:553.3.078(477)

Л. С. Галецький, О. В. Орлинська, Д. С. Пікареня, С. Н. Дем'янець, У. З. Науменко

ПРИЧИНИ РОЗМІЩЕННЯ РОДОВИЩ ТА РУДОПРОЯВІВ В ШОВНИХ ЗОНАХ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Рассматриваются закономерности размещения месторождений и рудопроявлений гидротермально-метасоматической минерализации в шовных зонах Украинского щита. В создании благоприятных условий рудоконцентраций в этих зонах играют значительную роль линейные структуры — сквозные мегазоны долгодействующего развития, в пределах которых сосредоточены наиболее интенсивные активизационные процессы, а с ними и концентрации полезных ископаемых. Зоны пересечения данных структур с меридиональными глубинными шовными зонами являются максимально благоприятными тектоническими структурами, где расположены рудные узлы и участки повышенной минерализации. Большую роль на начальных этапах формирования минерализации играют также естественные электромагнитные поля, которые можно рассматривать как дополнительный фактор проявления гидротермально-метасоматической минерализации.

Conformities to the law of placing of deposits and ore-occurrence of hydrothermal-metasomatitic mineralization are examined in the stitches areas of the Ukrainian shield. In creation of favorable conditions concentration of ore in these zones play a considerable role linear structures — through megazones long-lived developments, within the range concentrated the most intensive activation processe and concentration of minerals. Zones of crossing of the structures with meridian deep suture zones are as much as possible favorable tectonic structures where ore knots and sites of the raised mineralization are located. Large role on the initial stages of forming of mineralization play the natural electromagnetic fields which can be examined as additional factor of display of hydrothermal-metasomatitic mineralization.

Вивчення особливостей розміщення корисних копалин із залученням сучасних методів дослідження і нетрадиційних поглядів на відомі геологічні факти найчастіше приводить до виявлення нових закономірностей їх положення в особливих структурних позиціях. Наприклад, у роботі [2] виділяються нові типи рудоносних структур України — міжблокові шовні зони субмеридіонального простягання та накладені наскрізні субширотні мегазони активізації, з вузлами перетину яких зв'язане продуктивне зруденіння і родовища металевих і неметалевих корисних копалин, а також нафти і газу.

Одна з таких широтних зон — Центральноукраїнська [2], перетинає Український щит (УЩ) уздовж паралелі 48°. Вона має ширину близько 180 км і містить 79,8% загальної кількості всіх великих рудопроявів і родовищ золота, урану, рідкісних металів [1]. У межах УЩ виділені Голованівсько-Трахтемирівська, Інгулецько-Криворізько-Крупецька та Оріхово-Павлоградська шовні зони. Перша обмежена Одесько-Тальнівським і Первомайсько-Миколаївським глибинними розломами, головними розломами другої є Криворізько-Кременчуцький та Інгулецький глибинні розломи, остання зона розташована між Оріхово-Павлоградським і Азово-Павлоградським глибинними розломами. Виразною особливістю шовних зон є гетерогенна поліхронна металогенія [2].

Аналіз розміщення родовищ і рудопроявів корисних копалин гідротермально-метасоматичного генезису в межах центральної і східної частин УЩ (Інгулецький, Середньопридніпровський і Приазовський блоки) показує, що вони відносяться саме до ділянок перетину шовних зон і Центральноукраїнської мегазони активізації (рис. 1). При цьому область концентрації рудних об'єктів має веретеноподібну в меридіональному напрямку форму з деяким розширенням у межах зони активізації. У широтному напрямку також відмічається нерівномірність концентрації рудопроявів і родовищ: підвищена вона у вузлах перетину шовних зон і зони активізації, а знижується в міру віддалення від них (рис. 1). Такий характер розподілу трохи незвичайний і вимагає свого пояснення. Саме цьому і присвячена дана стаття.

У вченні про корисні копалини майже аксіоматичним є положення про приуро-

© Л. С. Галецький, О. В. Орлинська, Д. С. Пікареня, С. Н. Дем'янець, У. З. Науменко, 2010

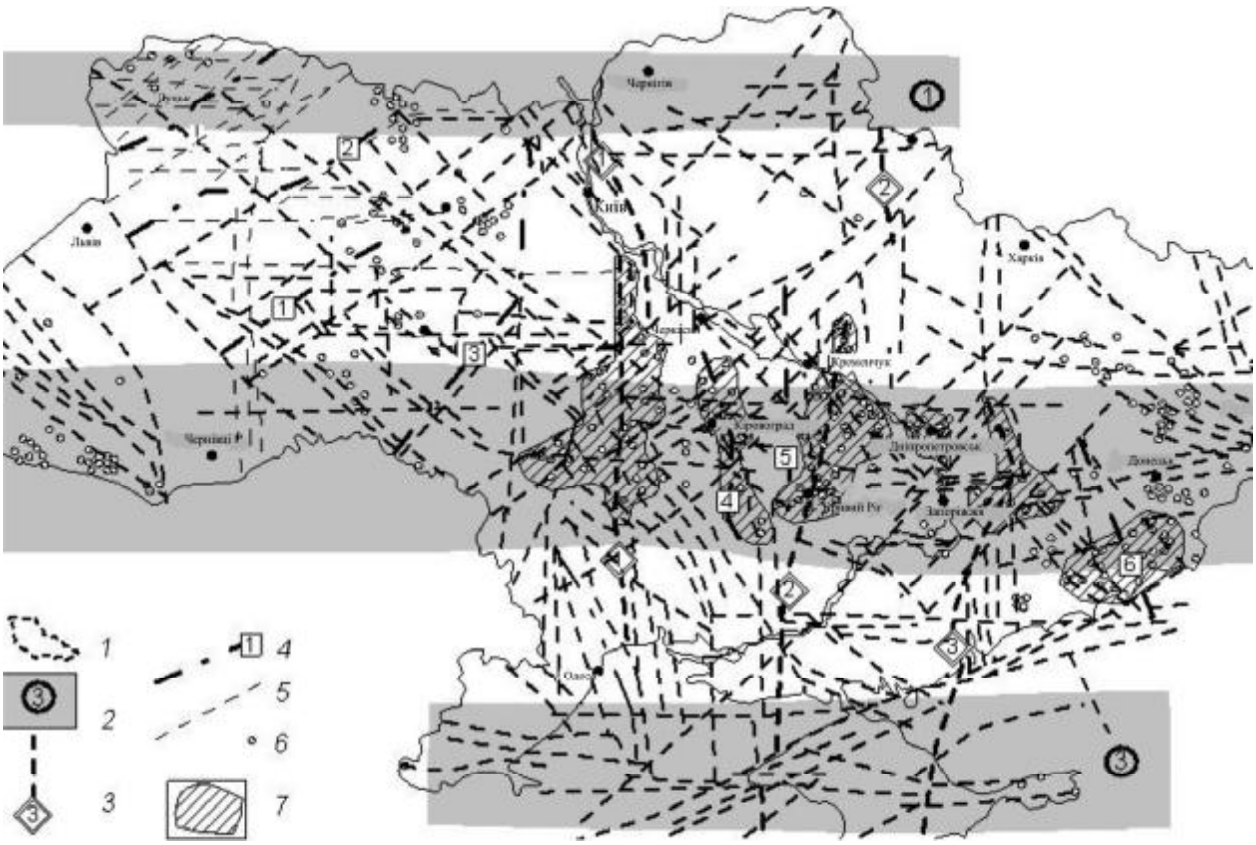

Рис. 1. Схема основних рудоносних структур України [1]

1 — контур УЩ; 2 — мегазони активізації (цифри в кружках): *1* — Північноукраїнська, *2* — Центральноукраїнська, *3* — Південноукраїнська; *3* — шовні міжблокові зони (цифри в ромбах): *1* — Голованівсько-Трахтемирівська, *2* — Криворізько-Кременчуцько-Крупецька, *3* — Оріхово-Павлоградська; *4* — регіональні глибинні розломи (цифри у квадратах): *1* — Тетерівський, *2* — Сущано-Пержанський, *3* — Брусилівсько-Немирівський, *4* — Кіровоградський, *5* — Інгулецький, *6* — Центрально-Приазовський; *5* — розломи високих порядків; *6* — родовища та основні прояви гідротермально-метасоматичної мінералізації; *7* — контури районів концентрації родовищ і рудопроявів

ченість проявів гідротермально-метасоматичної мінералізації до тектонічно підготовлених зон розвитку тріщинуватості, мілонітизації, підвищеної проникності в породах різного складу. Для виділення таких зон застосовується комбінація геологічних і геофізичних методів, особливо в умовах низької оголеності порід. Більшість геофізичних методів, маючи задовільну інформативність, фіксують, що вже відбулися процеси, і лише деякі з них дозволяють відслідковувати зміни фізичних полів у режимі реального часу. Одним з таких є метод вивчення природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ), що все частіше застосовується для вирішення інженерно-геологічних і геологічних завдань [14]. Не зупиняючись на його теоретичних передумовах, відмітимо деякі особливості електромагнітного поля, необхідні для обговорення мети даної статті.

Джерела електромагнітного випромінювання, що формує ПІЕМПЗ, досить різноманітні. До них відносяться такі: п'єзоелектричний ефект у гірських породах, що містить мінерали-п'єзоелектрики (кварц, турмалін, халькопірит, сфалерит та ін.), деформація гірських порід у результаті механічної напруги і впливу ударних хвиль; електрохімічні та електрокінетичні явища, пов'язані з рухом розчинів по гірських породах і різних хімічних реакціях; трибоефект, що виникає при терті блоків гірських порід, та деякі інші більш локальні і слабо вивчені джерела. Електричні поля, зумовлені цими джерелами, можуть мати різницю потенціалів від 10—30 мкВ/м [4, 19] до n·10 кВ/м [5, 11] при силі струму 0,2—0,3 А [11].

Рівень електромагнітних полів, що виникають внаслідок дії одного окремо взятого механізму незначний — від сотень мілівольтів до перших десятків вольтів, однак

електромагнітне поле інтегрально; отже, підсумована амплітуда електромагнітного випромінювання може бути в кілька разів вище. Крім того, у геологічних процесах значну роль відіграє фактор часу. Саме тому кількаразовий вплив слабких полів протягом тривалого проміжку часу повинен бути еквівалентний дії сильних електромагнітних полів за короткий відрізок часу, що частково підтверджується експериментальними дослідженнями [11].

Основні джерела електромагнітних полів зосереджені в найбільш деформованих частинах земної кори — зонах глибинних розломів. У періоди активізації глибинний розлом здатний генерувати енергію $(2—6)\cdot10^7$Дж/год на 100 км довжини [8], частина якої переходить у теплову, а частина — в електромагнітну.

Лабораторні дослідження рівнів ПІЕМПЗ, проведені Г. М. Стовас та ін. [10], показали, що при механічному навантаженні зразка пісковику кількість електромагнітних імпульсів зростає, а в момент його руйнування різко зменшується, що свідчить про появу в масиві гірських порід тріщини і зон порушення суцільності. Другою причиною поглинання електромагнітного випромінювання може бути наявність обводнених зон або тріщин, виповнених розчинами, що знов-таки говорить про наявність або закладення зон підвищеної проникності*.

Польові дослідження ПІЕМПЗ, проведені в межах центральних частин УЩ, підтверджують даний висновок. Зокрема, на площі Білозірської зеленокам'яної структури (Середньопридніпровський блок УЩ, район Конксько-Білозерського глибинного розлому) встановлено, що розривні порушення (зони підвищеної тріщинуватості) у полі ПІЕМПЗ мають широтне, діагональне (50—60°) і меридіональне орієнтування; причому тектонічним порушенням меридіонального простягання властиві найнижчі значення щільності потоку магнітної складової. Вивчення тріщин у підземних гірничих виробках Запорізького залізорудного комбінату на горизонті 840 м показало, що більшість розкритих "порожніх" або обводнених тріщин має азимут простягання 350—0°, а тріщини, виповнені кварц-карбонат-сульфідним матеріалом, орієнтовані в субширотному напрямку з азимутом простягання 80°. Проведені дослідження дозволяють говорити про те, що в субширотному напрямку масив зазнає розтягування, а в субмеридіональному — стиснення.

На іншій ділянці УЩ — Губівському рудопрояві золота (Інгулецкий блок УЩ, зона Кіровоградського глибинного розлому, Клинцівське золоторудне поле) у результаті інтерпретації схеми ПІЕМПЗ установлено, що аномалії підвищених значень поля мають субмеридіональне орієнтування, а знижених — субширотне. При цьому золоторудні тіла і супровідні зони гідротермально-метасоматичних змін теж простежуються з півночі на південь. Тут рисунок поля ПІЕМПЗ можна інтерпретувати як наявність у районі стискувальних зусиль в широтному напрямку і розтягувальних в меридіональному.

Таким чином, вивчення ПІЕМПЗ можна застосовувати для виявлення не тільки структурно-тектонічних елементів, але й для дослідження напрямку сучасних деформацій.

Для підтвердження виявлених закономірностей ПІЕМПЗ використано схему суми нормальних напруг (рис. 2), обумовлених порушенням рівноважного стану Землі. Модель рівноважного стану обертової Землі, запропонована К. Ф. Тяпкіним і названа геоізостазією, добре висвітлюється в геологічній і геофізичній літературі [17, 18]. У роботі М. М. Довбнича [6] розглянуто фізичне підгрунтя та алгоритм розрахунку полів напруг тектоносфери, зумовлених порушенням геоізостазії, на основі аналізу аномалій геоїда. У публікації [7] на більш детальному рівні висвітлено методику і результати оцінки геоізостатичних напруг Азово-Чорноморського регіону. Показано, що поля напруг, обумовлені порушенням рівноважного стану, є важливим додатковим критерієм при створенні моделі еволюції регіону.

Не зупиняючись на деталях алгоритму розрахунку, розглянемо поле геоізостатичних напруг території УЩ, розраховані за матеріалами супутникової гравіметрії (проект GRACE). Дані напруги є індикатором тектонічних напруг, спричинених дією тек-

* Ця особливість успішно використовується для виявлення водоносних горизонтів тріщинуватих порід кристалічного фундаменту, перекритого осадовим чохлом різної потужності.

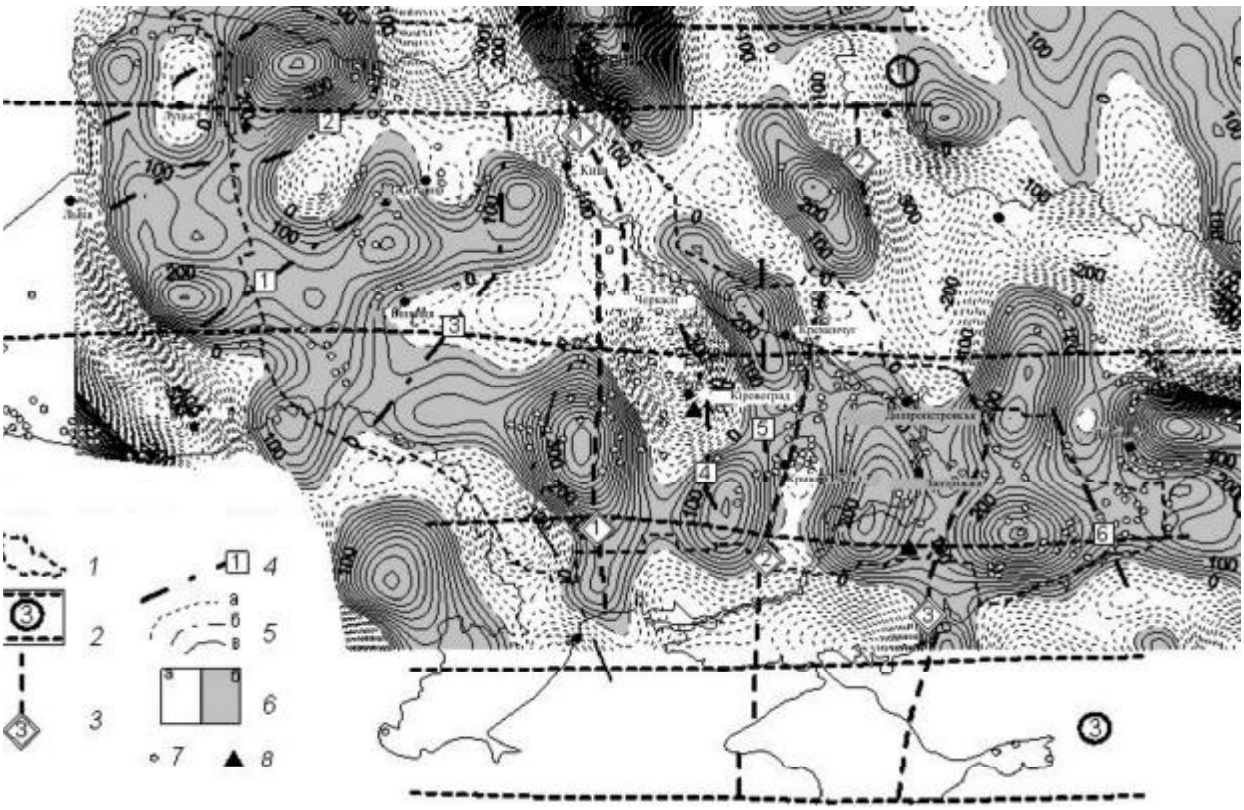

Рис. 2. Схема положення родовищ і рудопроявів в областях різних тектонічних обстановок УЩ

Умов. позначення *1—4* див. на рис. 1; *5* — ізолінії напруг (кПа): *а* — розтягування, *б* — нульова, *в* — стиснення; *6* — області переважного розтягування *(а)* і переважного стиснення *(б)*; *7* — родовища та основні прояви гідротермально-метасоматичної мінералізації; *8* — ділянки робіт методом ПІЕМПЗ

тонічних сил, які привели до виникнення щільнісних неоднорідностей у земній корі і мантії, що проявляються у вигляді порушень рівноважного стану. Їх аналіз дозволяє дати відповідь на питання про основні закономірності геодинаміки території дослідження та їх зв'язки з різними геологічними процесами, зокрема особливостями розміщення корисних копалин.

На схемі (рис. 2) винесені положення основних шовних зон УЩ, Центральноукраїнської мегазони активізації, рудопроявів і родовищ гідротермально-метасоматичного генезису. Аналіз схеми дозволяє виділити такі закономірності.

1. Білозірська зеленокам'яна структура зазнає меридіонального стиснення, оскільки в цьому напрямку витягнуті довгі осі аномалій підвищених напруг. У широтному напрямку із заходу на схід спостерігається деяке зменшення тисків ("сідловина" між двома аномаліями підвищених значень), що можна розцінювати як незначне розтягування. Розривні порушення відповідних простягань при цьому розвиваються в протилежному режимі, тобто широтні розриви в режимі стиснення, меридіональні — розтягування, що збігається з вивченням поля ПІЕМПЗ і тріщинуватості в гірничих виробках.

2. Губівський рудопрояв (район м. Кіровоград) розташований переважно в області розтягування, але при цьому зазнає режиму стиснення в південно-східному напрямку і розтягування — у північно-східному, на що вказує характер зміни градієнта діючих тисків. У цьому районі для розривних порушень характерний протилежний режим розвитку, що визначає витягнутість аномалій підвищених значень ПІЕМПЗ у субмеридіональному напрямку (стиснення кварцутримуючих рудних зон) і знижених — у субширотному.

3. Більшість гідротермально-метасоматичних рудопроявів і родовищ центральної і східної частин УЩ розташовується в областях переважного розтягування або на "схилах" аномалій підвищених напруг. Це добре видно на прикладі кривої зміни тисків, побу-

дованої (рис. 2) по лінії Вінниця—Кіровоград—Дніпропетровськ, на яку винесено положення прилеглих родовищ і рудопроявів (рис. 3). Області переважного стиснення УЩ характеризуються значно меншою кількістю рудопроявів.

Приуроченість рудопроявів до зон субмеридіональних розломів обумовлена, очевидно, їх розвитком у режимі розтягування, в той час як інша територія перебуває в режимі горизонтального стиснення. Це непогано узгоджується з дослідженнями О. М. Ромашова і С. С. Циганкова [16], які показують, що в умовах блокової будови земної кори загальне розтягування локалізується в міжблокових проміжках (глибинних розломах або шовних зонах), тоді як самі блоки знаходяться в умовах горизонтального стиснення. У той же час О. Б. Гінтов [3], вивчаючи широтні системи розломів УЩ, указує на існування фаз регіонального субмеридіонального розтягування земної кори, що супроводжувалося активізацією багатьох ендогенних процесів.

Пояснити виявлені закономірності можна з позицій геолого-генетичної (тектонічної) моделі, запропонованої в роботі [12]. Відповідно до її положень, утворення і розвиток гідротермально-метасоматичної мінералізації відбувається в кілька стадій:

1. Закладення глибинного розлому з утворенням ортогональної мережі і більш пізнім розвитком діагональних розривів. Процес супроводжується розвитком інтенсивних електромагнітних полів, які сприяють мобілізації розчинів і речовини з вміщуючих порід [13, 15] і міграції їх із зон розломів, що перебувають у режимі стиснення, у розломи розтягування. В основному це будуть кремнезем-карбонатутримуючі розчини, можливо із залізом, міддю і сіркою [12].

2. Відносно спокійний тектонічний режим, мінералоутворення в зонах розломів, формування кварц-карбонатної матриці можливо з піритом, халькопіритом та іншими простими сульфідами. У діагональних (опіряючих) розривах утворення моно- або полімінеральних прошарків за схемою, описаною в роботі [9].

3. Тектонічна активізація, зміна режимів стиснення—розтягування. У зонах розломів відбувається переміщення блоків і дроблення порід, у ділянках окварцювання і карбонатизації розвиваються електромагнітні поля, відбувається мобілізація насамперед кремнезему і карбонатів, перенесення їх в ортогональні розриви, що відкриваються загалом на незначну відстань від зони стиснення.

4. Етап мінералоутворення у відносно спокійних тектонічних умовах.

5. Тектонічна активізація, зміна режимів стиснення—розтягування. Тут також при впливі електромагнітних полів відбувається мобілізація розчинів і речовини, але починають проявлятися і глибинні їх джерела, речовина яких встигає підійти до сформованої системи розломів; міграція рудоносних розчинів у зони розтягування.

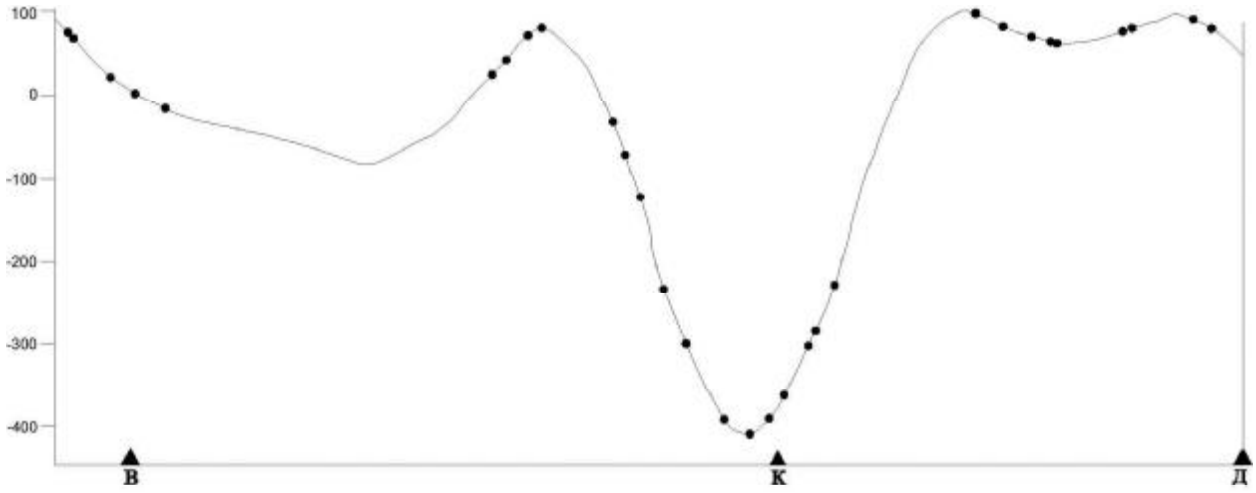

Рис. 3. Приуроченість родовищ і проявів ендогенної мінералізації до областей напруги по лінії Вінниця—Кіровоград—Дніпропетровськ. На шкалі ординат показані тиски в кПа, на осі абсцис — положення міст Вінниця (В), Кіровоград (К), Дніпропетровськ (Д)

6. Мінералоутворення у відносно спокійних тектонічних умовах. Стадія відповідає одній зі стадій рудоутворення. Тут можуть сформуватися прожилки, лінзи, багата вкрапленість рудних та інших електропровідних мінералів, що викличе істотне зменшення ролі електромагнітних полів і в наступних стадіях.

У подальшому в міру розвитку системи розломів стадії 5 і 6 можуть повторюватися залежно від кількості епох тектонічних активізацій, що приведе до утворення полігенно-поліхронних гідротермально-метасоматичних формацій у цих структурах.

Нарешті, завершальна стадія проявляється при практично повній відсутності тектонічної активності і знаменує закінчення гідротермального процесу. До її початку глибинний розлом являє собою потужну (до десятків кілометрів шириною) зону гідротермально-метасоматичних змін порід з розвинутою рудною мінералізацією, окварцюванням, графітизацією і новоутвореннями, які формують електропровідні шари. Тріщини, які залишилися, "заліковуються" невикористаними компонентами розчинів — кремене- і вуглекислотою, утворюється пострудна кварц-карбонатна (кальцитова) мінералізація.

Опираючись на геолого-генетичну модель, стає зрозумілим розподіл родовищ і рудопроявів у шовних зонах УЩ і в областях переважного розтягування. Дійсно, якщо глибинні розломи, об'єднані в шовні зони субмеридіонального простягання, і широтні розриви, що їх перетинають (мегазони активізацій), були сформовані на першій стадії, то концентрація основної мінералізації в субмеридіональному напрямку логічна і пояснима — сформувавшись один раз у розломах цих напрямків (режим розтягування), вона в подальшому "підновлювалася" при наступних тектоно-металогенічних активізаціях. Розриви широтних напрямків, як менш проникні порівняно з меридіональними, містять гідротермально-метасоматичну мінералізацію, кількість якої зменшується у міру віддалення від вузла перетину розломів — максимально сприятливої тектонічної структури. Роль діагональних розломів полягає в перерозподілі мінералізації, локалізації її в опіряючих розривах і тріщинах, зсуві сформованих рудних тіл.

Висновки

Приуроченість родовищ і рудопроявів гідротермально-метасоматичного генезису до розломів (шовних зон) меридіонального простягання та до областей розтягування і вузлів перетину із широтними розривами (Центральноукраїнська мегазона активізації) визначається тектонічним режимом закладення і розвитку систем розломів цих напрямків. Велику роль на початкових етапах відіграють природні електромагнітні поля, які можна розглядати як додатковий фактор прояву гідротермально-метасоматичної мінералізації.

Таким чином, підтверджено найбільшу рудопродуктивність вузлів перетину міжблокових шовних зон та наскрізних мегазон активізації у цих структурах внаслідок знакоперемінних процесів розтягування і стиснення та відповідної неодноразової міграції рудної речовини із зон стиснення в проникні зони розтягування, що приводить до формування складних веретеноподібних рудних скупчень. Значну роль при цьому відіграють електромагнітні поля, які стимулюють розвиток гідротермально-метасоматичних процесів. Ці закономірності слід використовувати у практиці прогнозно-металогенічних досліджень та пошукових робіт.

1. *Галецький Л. С., Шевченко Т. П.* Трансрегиональные рудоконцентрирующие мегазоны активизации // Геологія в XXI столітті: шляхи розвитку та перспективи. — К.: Знання, 2001. — С. 70—82.
2. *Галецький Л. С., Шевченко Т. П., Чернієнко Н. М.* Нові уявлення про геологічну структуру та металогенію території України // Геол. журн. — 2008. — № 3. — С. 74—83.
3. *Гинтов О. Б.* Полевая тектонофизика. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
4. *Гохберг М. Б., Гуфельд И. Л., Липеровский В. А.* Электромагнитные поля в системе прогноза землетрясений: поиски, проблемы // Вестн. АН СССР. — 1987. — № 3. — С. 43—53.
5. *Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. П.* Адгезия твердых тел. — М.: Наука, 1973. — 49 с.
6. *Довбнич М. М.* Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. — 2008. — № 4. — С. 123—132.
7. *Довбнич М. М., Демьянец С. Н.* Поля напряжений тектоносферы, обусловленные нару-

шением геоизостазии и геодинамика Азово-Черноморского региона // Там же. — 2009. — № 2. — С. 107—116.
8. *Николаев В. В.* Эндокинетическая энергия и ее трансформации в зонах активизированных разломов // Эндогенные процессы в зонах глубинных разломов: Всесоюзн. совещ.: Тез. докл. — Иркутск, 1989. — С. 80—82.
9. *Орлинская О. В., Билан Н. В., Пикареня Д. С.* О возможной причине формирования золотого оруденения в зонах оперяющих разломов // Наук. вісн. НГУ. — 2005. — № 9. — С. 43—44.
10. *Орлинская О. В., Пикареня Д. С., Стовас Г. М. и др.* О влиянии электромагнитных полей на образование гидротермально-метасоматических рудных формаций // Зб. наук. пр. УкрДГРІ. — 2007. — № 2. — С. 98—104.
11. *Орлинская О. В., Соболев В. В., Чернай А. В.* Термоэлектрическая обработка минералов и горных пород. — Днепропетровск, 1999. — 93 с.
12. *Пикареня Д. С.* Геолого-тектонічна модель формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах глибинних розломів // Зб. наук. пр. НГУ. — 2009. — № 32. — С. 5—17.
13. *Пикареня Д. С.* Значение электромагнитных полей для процессов гидротермального метасоматоза в зонах глубинных разломов (экспериментальные исследования) // Наук. пр. Дон. нац. техн. ун-ту. Сер. гірн.-геол. — 2008. — Вип. 8 (136). — Донецьк: ДонНТУ, 2008. — С. 170—179.
14. *Пикареня Д. С., Орлинская О. В.* Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач. — Днепропетровск: СВИДЛЕР, 2009. — 120 с.
15. *Пикареня Д. С., Орлинская О. В., Гладун П. И.* Экспериментальные исследования по изучению воздействия тепловых и электромагнитных полей на породы коры выветривания серпентинитов // Наук. вісн. НГУ. — 2008. — № 3. — С. 44—48.
16. *Ромашов А. Н., Цыганков С. С.* О природе тектонических напряжений в земной коре // Горн. журн. — 1996. — № 7—8. — С. 40—44.
17. *Тяпкин К. Ф.* Новая модель геоизостазии и тектогенез // Геол. журн. — 1985. — № 6. — С. 1—10.
18. *Тяпкин К. Ф.* Новая ротационная гипотеза структурообразования и геоизостазия // Геофиз. журн. — 1980. — № 5. — С. 40—46.
19. *Хатиашвили Н. Г.* Электромагнитное излучение ионных кристаллов, стимулированное акустической волной // Письма в ЭТФ. — 1981. — Т. 7, вып. 18. — С. 1128—1132.

Ін-т геол. наук НАН України,
Київ
E-mail: acra@i.ua

Стаття надійшла
09.03.10