

## НОВА ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ГІДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧНОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ В ЗОНАХ РОЗЛОМІВ

Рассматривается геолого-генетическая модель образования гидротермально-метасоматической минерализации в зонах разломов. Предлагается выделять нулевой этап, которой подготавливает массив горных пород к тектоническим деформациям и предшествует им. Выделяются преимущественно тектонические и преимущественно рудные стадии рудного этапа. Показано, что на дорудных этапах активную роль играют тепловые и электромагнитные поля, рудные и пострудные этапы характеризуются уменьшением влияния электромагнитного поля.

Розглядається геолого-генетична модель утворення гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах розломів. Пропонується виділяти нульовий етап, який підготовлює масив гірських порід до тектонічних деформацій та передує їм. Виділяються переважно тектонічні та переважно рудні стадії рудного етапу. Показано, що на дорудних етапах активну роль відіграють теплові і електромагнітні поля, рудні та пострудні етапи характеризуються зменшенням впливу електромагнітного поля.

The geology-genetic model of formation of hydrothermal-metasomatitic mineralization is examined in the areas of faults. It is suggested to distinguish a zero stage, which prepares the array of rocks to tectonic deformations and preceded ones. The mainly tectonic and mainly ore stages of the ore stage are distinguished. It is shown that on the pre-ore stages an active role is played by the thermal and electromagnetic fields, the ore and post-ore stages are characterized by diminishing of influence of the electromagnetic field.

В статті [1], що опублікована раніше, автором розглядаються основні положення запропонованої геолого-тектонічної (генетичної) моделі утворення гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах розломів. Зокрема, були наведені фактори, які покладені в її основу, виділені декілька стадій формування зруденіння та показано, що на дорудних стадіях активну роль відіграють теплові і електромагнітні поля, рудні та пострудні стадії характеризуються зменшенням впливу електромагнітного поля. Але обговорення цієї моделі серед геологічної спільноти призвело до переосмислення наявних фактів та внесення відповідних корегувань до моделі.

**Мета та задачі досліджень** полягають у вдосконаленні геолого-генетичної моделі формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах розломів на підставі нових міркувань та переінтерпретації фактичного матеріалу.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Не торкаючись факторів та передумов для моделювання, які викладені в [1], відразу перейдемо до власне геолого-генетичної моделі. На відміну від попередньої, вона складається з етапів, в яких можуть виділятися стадії. Згідно з загальноприйнятими уявленнями це підготовчий (дорудний), основний (рудний) і завершальний (післярудний) етапи. Але доцільно ввести ще один етап – передпідготовчий, або нульовий, якій передує першому дорудному. Цей етап потребує пояснення.

Майже ні в кого немає сумнівів, що розлом власним існуванням зобов'язаний крихким деформаціям гірських порід, яка, в свою чергу, викликана напруженим станом літосфери. Причини появу такого стану гіпотетичні, вони можуть бути як внутрішніми, так і зовнішніми. Не вдаючись до їх обговорення відмітимо, що в будь-якому випадку ці напруження літосфери зростають протягом якогось відрізка часу, після чого, при досягненні межі міцності, гірські породи руйнуються, відбувається формування розриву. Час, необхідний для досягнення межі міцності, оцінити дуже важко, якщо взагалі можливо, оскільки лабораторні експерименти з його визначення не можна прямо переносити на дуже складне геологічне середовище. Але цілком очевидно, що цей час є зіставним з геологічним часом, тобто десятки-сотні або мільйони років. Натомість, розрядка напружень з формуванням розривів відбувається незрівнянно швидко.

Проте виникають випадки, коли напруження в земній корі існували, але утворення розриву не відбулося, також не проявилися помітні крихкі та пластичні деформації. Розглянемо такий приклад. Нехай на деякій ділянці земної кори виникають напруження, стискуючі або розтягуючі. Вони зростають протягом декількох мільйонів років, але їх величина недостатня для того, щоб викликати руйнування порід. В якій ось час на сусідній ділянці, яка складена менш міцними породами, відбувається розломоутворення, напруження починають зменшуватися і в кінці кінців майже зникають. Руйнування або помітної деформації порід на нашій ділянці не сталося. Виникає питання: чи такі ж самі породи залишилися після цієї події, які були до неї? Очевидно, що ні. За час, що минув (декілька мільйонів років), в породах мали відбутися зміни. По-перше, з початку появи напружень почало виникати електромагнітне випромінювання, яке частково переходило в теплове. Сумісна дія цих полів призводить до мобілізації води та речовини з вміщуючих порід [1]. По-друге, під впливом тиску відбувається міграція електронів та іонів шляхом звичайної та перестрибкової дифузії [2] або електричного струму.

Деформовані ґратки мінералів за той час, поки існують напруження, пристосовуються до нових умов та намагаються прийти до рівноважного стану. Якщо розрядки тектонічних напружень не відбувається і вони потрохи зменшуються, то система, якою є гірська порода, має повернутися до вихідного стану. Але, оскільки пройшли перетворення в мінералах, то мобілізована вода й речовина виявляються «зайвими» і разом з електричними зарядами знаходяться в породному масиві як аномальні об'єкти. Таке «розгойдування» масиву може бути неодноразовим, в результаті сформується гірські породи, які «заряджені» мобілізованою водою та речовиною. Колі в решті решт відбудеться розломоутворення, ці розчини мігруватимуть до порушених зон та обумовлять гідротермально-метасоматичну мінералізацію.

Отже, геолого-генетична модель формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах розломів виглядає таким чином.

Нульовий (0) етап (передпідготовчий) – підготовка масиву гірських порід до формування глибинного розлому. Його суть викладена вище. Наприкінці етапу масив гірських порід являє собою активізовану систему, яка «заряджена» розчинами та речовиною, що знаходяться у вільному або подібному до нього

стану, має некомпенсовані електричні заряди на зразок конденсатора та в ньому періодично виникають електромагнітні поля.

Перший (I) етап – підготовчий (дорудний). Цей етап характеризується процесами виникнення тектонічної структури, її розвитком та формуванням дорудної мінералізації. Він має декілька стадій.

*Перша стадія* (переважно тектонічна – *I.1m*) – виникнення розломної структури. Ця стадія в своєму роді є унікальною, оскільки монолітний масив гірських порід після утворення в ньому розриву переходить до нової якості та стає придатним для подальших змінень складу порід. Тектонічний режим даної стадії відповідає глобальному або регіональному тектонічному режиму. При цьому в масиві виникають деформації стиснення, розтягування та сколу (зсуву) з домінуючою роллю якоїсь з них. В рамках нашої моделі немає значення, за якими геотектонічними концепціями формується розломна зона. Важливим є сам факт виникнення напружень в земній корі та їх розрядка у вигляді розломів. Автор не є прибічником ані гіпотези контракції, ані ідеї, що Земля розширюється, ані гіпотези нової глобальної тектоніки літосферних плит, тому керується принципом одночасності закладання системи взаємоортогональних розломів, один з яких буде знаходитися в режимі стиснення, другій – розтягування, як це показано вище. Розглядати пропоновану геолого-генетичну модель можна з позиції будь-якого режиму, тим більше, що в різних частинах розломної зони вони існують разом. Але для зручності, в якості вихідного приймемо, що закладання розлому відбувається в режимі розтягування.

Розподіл напруг в породному масиві в цьому випадку виглядає так: у напрямі, перпендикулярному тектонічним навантаженням діє режим розтягування, в паралельному – стиснення і зсуву, в діагональному – розтягування або стиснення (рис. 1). Після нульового етапу в масиві утворилися розчини, збагачені речовиною вміщуючих порід. На фазі наростаючого тиску в зонах закладання ортогональних розломів генеруються потужні електромагнітні поля, що призводять до мобілізації води з мінералів і гірських порід; перехід кінетичної енергії стиснення в теплову сприятиме розвитку терморозуцільнення і природної декрепітації; зростаючий тиск викликає інтенсивний прояв процесів дилатансії, тобто в породному масиві формуються ділянки підвищеної проникності.

При розрядці тектонічних напруг виникає різкий градієнт тиску. Зона основного розлому характеризується мінімумом тиску, зона ортогонального та діагонального – максимумом. Це обумовлює переміщення розчинів по проникних зонах. Електромагнітні поля, що утворюються, активно впливають на розчинення мінералів і компонентів гірських порід. Гідротермальний розчин фільтрується в зону основного розлому, а також розподіляється в оперяючі тріщини, що розвиваються в режимі розтягування. Хімічний склад цього розчину повинен бути максимально простим і являти собою воду і, можливо, вуглекислоту, що утворилася при дисоціації карбонатів в тепловому і електромагнітному полях. Таким чином, основний розлом «стягує» в себе гарячі гідротермальні розчини з ділянок підвищеного тиску. В свою чергу на їх місце поступають холодніші розчини з віддалених зон (рис. 1).

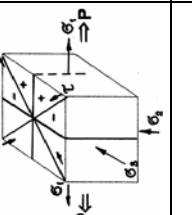
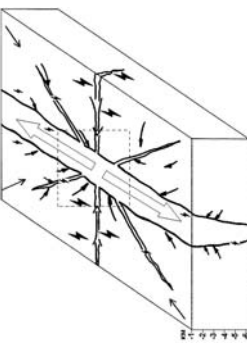
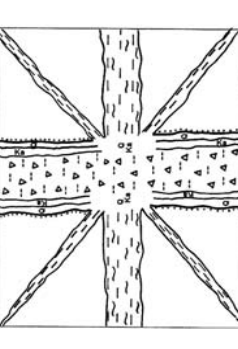
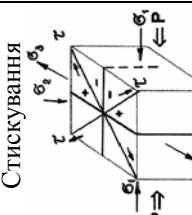
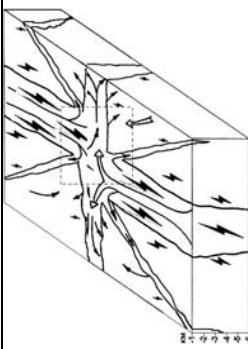
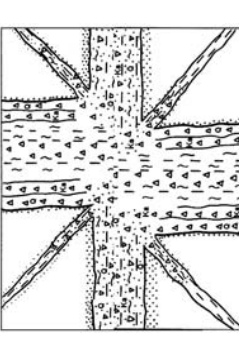
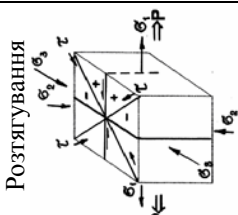
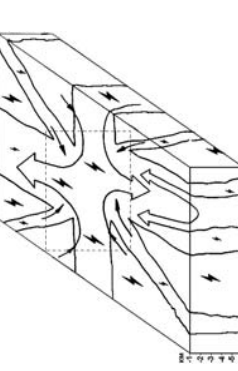
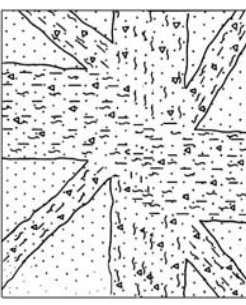
Етап	Назва етапу	Стадія	Тектонічний режим	Геологічна ситуація (на блок-діаграмі або плані-схемі)	Геологічні наслідки	Приклади
0	Передпідготовчий		Стискування-розтягування		Мобілізація розчинів та речовини з вміщуючих порід, виникнення зон тектонічних напружень, генерація електромагнітних полів	Генерація електромагнітного випромінювання перед землетрусами [3], перетворення мінералів
		<i>I.1m</i> – тектонічна	Розтягування 		Формування розломної структури, мобілізація та міграція до неї розчинів і речовини	Дорудний етап на Клінівському, Майському, Бобріківському золоторудних родовищах [4], Микитівському ртутному полі [5] та ін.
I	Підготовчий (дорудний)		Відносно спокійний		Гідротермально-метасоматичне мінералоутворення. Формування тектонічної зони глибинного розлому з метасоматичними тілами та зонами	
		<i>I.2m</i> – мінералоутворююча				
II	Основний (рудний)		Стискування		Тектонічна переробка порід метасоматичної зони, віджимання розчинів в розриви, що відкриваються. Перетворення мінералів під впливом електромагнітних полів	
		<i>II.1m</i> – тектонічна			Утворення мінералів рудних зон	Рудний етап на Клінівському, Майському, Бобріківському золоторудних родовищах [4], Микитівському ртутному полі [5] та ін.
		<i>II.1m</i> – мінералоутворююча	Відносно спокійний			

Рис. 1. – Схема геолого-генетичної моделі формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зоні розлому

Етап	Назва етапу	Стадія	Тектонічний режим	Геологічна ситуація (на блок-діаграмі або плані-схемі)	Геологічні наслідки	Приклади
II		II.2m – тектонічна	Розтягування 		Мобілізація та міграція розчинів і речовини до розломної структури, «підхід» глибинних флюїдів	
	Основний (рудний)	II.2m – мінералоутворююча	Відносно спокійний		Формування рудної мінералізації з чужою для вміщуючих порід мінеральною асоціацією	Рудний етап на Клініцькому, Майському, Бобріківському золоторудних родовищах [4], Микитівському ртутному полі [5] та ін.
		II.3m та ін. тектонічні; II.3m та ін. мінералоутворюючі	Знакоперемінні тектонічні режими, що чергуються з періодами відносного «затишшя»		Утворення різних рудних стадій та мінеральних асоціацій. В підсумку другого етапу – формування потужної зони гідротермально-метасоматично змінених порід	
III	Завершальний (післярудний)		Практично відсутні тектонічні рухи	План-схема	Утворення післярудних мінеральних асоціацій (головним чином кварц-карбонатних), які «заліплюють» тріщини та проникні зони	Післярудний етап на Клініцькому, Майському, Бобріківському золоторудних родовищах [4], Микитівському ртутному полі [5]

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

Продовження рис. 1.

Умовні позначення: 1 – вміщуючі породи; 2 – зони розривів; 3 – зона дії електромагнітних полів і їх відносний рівень; 4 – напрям міграції гідротермальних розчинів, їх відносний об'єм; 5 – контур плану-схеми; 6 – осі розривів на блок-діаграмі розподілу напруг; 7 – основні нормальні ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) і тангенціальні ( $\tau$ ) напруги, що діють в породному масиві; 8 – напрямом сил розтягування (стиснення), що діють на масив гірських порід; 9 – області переважачого стиснення (плюс) і розтягування (мінус), що виникають в масиві гірських порід; 10 – брекчировання порід; 11 – мілінітизація порід та її напрям; 12 – розсланцювання порід та його напрям; 13 – ділянки розвитку гідротермально-метасоматично змінених порід і пов'язаної з нею мінералізацією; 14 – ділянки порід, насичених гідротермальними розчинами.

*Друга стадія* першого етапу (переважно мінералоутворююча – *I.2m*, рис. 1) відбувається після формування зони розломів, тобто коли напруження зменшилися та встановилися відносно спокійні тектонічні умови. Тиск в системі прагне урівноважитися, температура – вирівнятися. Відбувається мінералоутворення, формуються зони окварцювання і карбонатизації з вкрапленістю сульфідів або оксидів заліза. У вміщуючих породах також розвивається метасоматичне окварцювання і карбонатизація.

На тлі даної стадії можуть відбуватися незначні тектонічні активізації, які є наслідком релаксації головної фази тектонічних напружень. Це призводить до утворення нових розривів локального характеру та тріщин. Сформовані метасоматичні зони та тіла зазнають подрібнення, розсланцювання, мілонітизацію. Якщо в системі залишилися вільні розчини, вони «заліковують» тріщини і система глибинного розлому «закривається» для доступу віддалених розчинів. Таким чином, наприкінці підготовчого (дорудного) етапу формується тектонічна зона глибинного розлому з вузлами перетину розривів різних напрямків. Вона характеризується наявністю метасоматичних зон і тіл, що утворилися внаслідок мобілізації розчинів та речовини з вміщуючих порід.

Другий (II) етап – основний (рудний) також складається з декількох стадій, причому їх кількість може бути великою. Але в будь-якому разі їх можна умовно згрупувати в дві групи – переважно тектонічні та переважно мінералоутворюючі.

Тектонічні стадії відбуваються на тлі пульсаційної активізації зони глибинного розлому, а мінералоутворюючі – при відносно спокійних тектонічних режимах. Розглянемо ці стадії на прикладі їх послідовної зміни в часі та просторі.

*Перша переважно тектонічна стадія (II.1m)* знаменується зміною тектонічного режиму розтягування на стиснення. Як і раніше, спочатку «спрацьовує» основний розлом, потім ортогональний (розтягування) і оперяючі діагональні. Проте, оскільки зона розлому вже сформована на попередньому етапі, основна енергія стиснення витрачається на тектонічну переробку порід цієї зони. Так, в кварці за рахунок п'єзоефекту і природної декрепітації включень, виникають електромагнітні поля, що активно впливають на перетворення мінералів, з'являються ділянки локального підвищення температури і навіть плавлення порід за рахунок високого електричного опору гірських порід. В умовах наростаючого тиску відбувається «віджимання» гідротермальних розчинів з основного в ортогональний розрив, якій привідкривається. Оскільки розміри першого значно більше, чим другого, то об'єм мігруючих розчинів повинен буде фільтруватися в оперяючі розриви і у вміщуючі породи. Тут, в зоні контакту, відбувається зустрічне змішування розчинів і хімічні реакції, що призводять до випадання мінералів з розчину і формуванню метасоматичної зони.

*Перша переважно мінералоутворююча стадія (II.1m)* проходить в спокійному тектонічному режимі і призводить до перекристалізації існуючих і утворенню нових мінералів.

*Друга переважно тектонічна стадія (II.2m)* відбувається на тлі зміни тектонічного режиму стиснення розтягуванням (рис. 1). Механізм міграції гідроте-

рмальних розчинів у принципі аналогічний описаному на першому етапі та I тектонічної стадії другого етапу, проте існують принципові відмінності в особливостях мінералоутворення: джерелом металів на цієї стадії можуть бути як вміщуючі породи, вилужені на попередніх стадіях, так і глибинні (в т.ч. мантийні) флюїди, які до цього моменту встигають «підійти» до зони глибинного розлому.

*Друга переважно мінералоутворююча стадія (II.2м)* призводить до появи мінералізації, яка є «чужою» для вміщуючих порід завдяки надходженню глибинних гідротермальних розчинів та флюїдів. Тут також природні електромагнітні поля відіграють певну роль в локалізації зруденіння. На цієї стадії формуватимуться прожилкові і прожилково-вкраплені рудні тіла, що мають підвищену електропровідність.

*Третя переважно тектонічна (II.3т) та третя переважно мінералоутворююча стадії (II.3м)* і подальші відбуваються за аналогічними схемами і добре вивчені на багатьох рудних родовищах. Вони мають принципове значення на локальному рівні, безпосередньо залежать та характеризують кількість тектонічних активізацій і визначають стадійність мінерало- і рудоутворення в певних ділянках зон глибинних розломів.

Третій (III) завершальний (післярудний) етап проявляється при практично повній відсутності тектонічної активності і знаменує закінчення гідротермального процесу. Тут утворюється пострудна кварц-карбонатна мінералізація [1].

**Висновки.** Запропонована уточнена геолого-генетична модель формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах глибинних розломів дозволяє зрозуміти закономірності розповсюдження накладеної мінералізації в зоні глибинного розлому. Згідно моделі, найбільш сприятливі умови для рудоутворення виникають у вузлах перетину ортогональної системи розломів, а також основного і діагонального (що оперяє) розломів. При цьому зона основного розлому буде рудопідвідною, а ортогональний і діагональний розриви – рудо-локалізуючою.

#### Список літератури

1. Пикареня Д.С. Геолого-тектонічна модель формування гідротермально-метасоматичної мінералізації в зонах глибинних розломів // Зб. наук. праць НГУ. – №32. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – С. 5 – 17.
2. Егоров Д. Г. Преобразование и перенос вещества в сдвиговых зонах земной коры: приложение концепции к обоснованию генезиса полосчатой железорудной формации Кольского полуострова // Вестник МГТУ. – 2002. – Т. 5, № 1. – С. 141–152.
3. Гохберг М. Б. Электромагнитные эффекты при разрушении земной коры / М. Б. Гохберг, И.Л. Гуфельд, Н.И. Гершензон // Изв. АН СССР. Физ. Земли. – 1985. – № 1. – С. 72–87.
4. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України / [Бобров О. Б., Сіворов А. О., Гурський Д. С. та ін.] – К.: УкрДГРІ, 2004. – 368 с.
5. Рудные месторождения СССР / [Ред. В.И. Смирнов]. – Т.2. – М.: Недра, 1978. – 399 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 22.06.2011*