

5. Aitken M.J. Physics and Archaeology. – Oxford, 1974. 6. Allison V.J., Yermakov Z., Miller R.M., Jastrow J.D., Matamala R. Using landscape and depth gradients to decouple the impact of correlated environmental variables on soil microbial community composition // Soil Biology and Biochemistry. – 2007. – V. 39. – P. 505-516. 7. Clarke D.L. Analytical Archaeology. – London, 1968. 8. Evans M.E., Heller F. Environmental magnetism. Principles and Applications of Enviromagnetics // International Geophysics series. – 2003. – V. 86. 9. Maher B., Thompson R. Quaternary

Climates, Environments and Magnetism. – Cambridge, 1999. 10. Seeing the unseen. Geophysics and Landscape Archaeology / Eds. S. Campana, S. Piro. – London, 2009. 11. Watson P.J., Le Blank S.A., Redman C.L. Archaeological Explanation: The Scientific Method in Archaeology. – New York, 1984. 12. Wheatley D., Gillings M. Spatial Technology and Archaeology: The archaeological applications of GIS. – L.; N.-Y., 2001.

Надійшла до редколегії 24.07.12

## ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.411:553.21/.24

М. Рузіна, д-р геол. наук,  
В. Соболев, д-р техн. наук,  
Н. Білан, канд. геол. наук

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИХ ПОЛІВ НА ПРОЦЕСИ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ МІНЕРАЛЬНОЇ РЕЧОВИНИ ЗОЛОТОВМІЩУЮЧИХ МЕТАСОМАТИТІВ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.М. Гулієм)

*Наведено результати досліджень з електротермічної обробки золотовміщуючих метасоматитів зон катаклазу і мілонізації. Встановлено появу видимої мінералізації срібла в межах окремих кварцових зерен і прояв процесу збірної кристалізації, що підтверджується проявом структурних ознак мікрореформацій порід. Отримані структурно-речовинні перетворення відбувалися лише за одночасної дії теплового і електричного полів.*

*The results of electro-thermal treatment of gold-bearing metasomatites from areas of cataclasm and mylonitization are given. Appearance of visible silver mineralization within the limits of separate quartz grains and process of assembly crystallization, which confirmed by structural signs of rock microstrains, is a result of electro-thermal treatment. The structural and substantial transformations took a place only at simultaneous influence of the thermal and electric fields.*

Починаючи з другої половини двадцятого століття в геохімії, мінералогії, геології рудних і нерудних родовищ набули розвитку експериментальні дослідження, направлені на вивчення закономірностей природних фізико-хімічних процесів за участю електричних і магнітних полів слабких напруженостей [1-3,8]. Доведена провідна роль електрохімічних процесів під час формування зон окислення, відновлення самородних елементів, протікання окислювально-відновних реакцій в ендеогенних процесах і т.п. [3]. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що за різних поєднань фізичних параметрів, які впливають на структурно-речовинні перетворення у гірських породах та мінералах, вплив електричних полів на метаморфічні і метасоматичні процеси виявляються вельми значними. Переконаливо доведено, що багато ефектів в області перетворення мінералогічних систем без участі електричних полів або виявляються слабо, або взагалі не спостерігаються і цей факт має принципове значення при дослідженнях фізичного механізму, здатного пояснити причини сильного впливу електричних полів [5]. За даними [7,8] одними з можливих джерел природних електричних полів є розломи земної кори. О. Воробйов [1] показав, що механічна енергія, яка накопичується в ході розвитку глибинного розлому, може переходити в електричну. Вважалося, що енергія природних електричних полів порівняно з тепловою і механічною настільки незначна, що нею можна нехтувати в дослідженнях процесів мінералоутворення.

Основна ідея експериментальних досліджень, наведених в даній роботі, полягала у вивченні одночасного впливу теплового і електричного (електротермічних) полів на процеси мінералоутворення і перерозподілу рудних компонентів в золотовміщуючих метасоматитах зон катаклазу і мілонізації, тобто у "тектонічно підготовленому середовищі".

Для експериментальних досліджень авторами були використані зразки тектонітів (катаклазитів, філонітів, мілонітів) і золотовміщуючих метасоматитів Конкської і Білозерської зеленокам'яних структур Середнього При-

дніпров'я, просторово пов'язаних з вузлами перетину глибинних розломів. Основні петрографічні різновиди зразків, що досліджувались, представлені карбонатними і вуглецевими метасоматитами, фрагментами кварцових прожилків і серицит-графітовими філонітами. Всі зразки, відібрані для досліджень, містили аномальні концентрації мінералізації благородних металів.

Серицит-графітові філоніти представлені тонкорозсланцюваними дислокаційно-метаморфічними породами (різновид тектонобластитів), а за складом мають схожість з філітоподібними сланцями, але відрізняються від останніх генетичною природою.

Вуглецеві метасоматити зустрінуті й описані М. Рузіною [4] в ході попередніх досліджень і є філітовідними сланцями, тектонічно переробленими до стану філонітів, які містять новоутворену графітоподібну речовину. Особливо характерною для даного типу метасоматитів є наявність субпаралельних мікротріщин кліважу, розвинених під кутом до ранньої шаруватості і сланцюватості порід. Цей кліважний малюнок настільки чіткий, що при макроскопічному вивченні філонітів може бути прийнятий за первинну шаруватість і лише мікроскопічне вивчення підтверджує розвиток новоутворених кліважних тріщин, залікованих графітоподібною речовиною під кутом до шаруватості. Наявність графіту підтверджена даними мінераграфічних досліджень, рентгенографічних визначень, які проведені в Національній металургійній академії України (м. Дніпропетровськ).

Кварцові прожилки використовувались для електротермічної обробки, оскільки кварц є найбільш характерним "крізним" мінералом гідротермально-метасоматичних формацій, стійким в широкому діапазоні температур.

Загальними критеріями відбору зразків для досліджень була відсутність видимої під мікроскопом мінералізації благородних металів, а також підтверджене за даними польових спостережень і мікроскопічних досліджень колорудне місце розташування цих зразків. При цьому наявність мінералізації в інтервалах відбору зразків була підтверджена іншими методами досліджень (спектрозотометрія ЦЛ КП "Південургеологія", квантометричний

експрес-аналіз, виконаний Центром аналітико-технологічних досліджень Національного гірничого університету, м. Дніпропетровськ, та ін.). Крім того, використовувалися наступні структурно-мінералогічні критерії, які підтверджують метасоматичну природу зразків:

- наявність новоутворених мінеральних парагенезисів;
- прояв мікроструктурних ознак, що свідчать про дислокаційнометаморфічну природу зразків у вигляді мікротріщин кліважу, наявність стілолітових утворень, прояв структур типу "двійників тиску", сутурних швів, структур "снігової грудки" і т.п.;
- наявність реліктових, залишкових від заміщення мікроструктур, що дозволяють ідентифікувати вихідну породу.

Методика проведення експериментальних досліджень детально описана раніше в [6]. Слід зазначити, що дослідження проводилися на зразках, вирізаних з фрагментів гірських порід у вигляді паралелепіпедів з довгою стороною до 20 мм, короткою – 10 мм. Такий розмір вибирався з врахуванням можливостей установки для електротермічної обробки і основної вимоги, що пред'являється до зразків: під час вимірювання електропровідності мінералів і гірських порід – зразок повинен у декілька разів перевищувати розміри зерен, оскільки, інакше, він не може вважатися показним із-за переважаючої ролі окремих мінералів або їх випадкового поєднання, а також неоднорідності структури. Робочі поверхні зразків шліфувалися, а розбіжність в паралельності граней не перевищувала  $\pm 0,1$  мм. Параметри обробки – напруга електричного струму не перевищувала 300 В, сила струму –  $0,1 \div 0,3$  А, температура не перевищувала 500 °С.

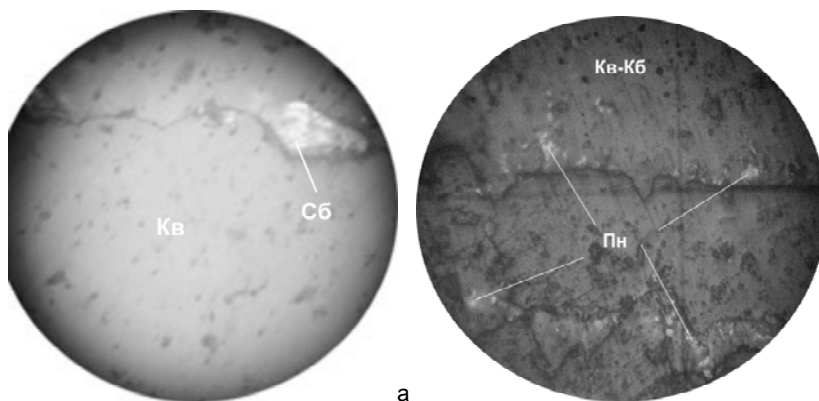
Нижче наведені результати досліджень і мікрофотографії показових зразків, що відображають в цілому найбільш загальні закономірності, отримані в ході експериментальних досліджень.

Зразок 1. Зразок із зони контакту кварцового прожилка з метасоматично зміненим кварцовим сидеритолітом (кварц-сидероплезітова порода з домішками рудних мінералів). На відміну від попередніх досліджень [6, 9] авторами даної роботи були проаналізовані виключно зразки гідротермально-метасоматичного і гідротермально-секреційного походження, в т.ч. кварц-кальцит-

сидеритові метасоматити. Метасоматичні перетворення речовини сидеритоліта представлені новоутвореним кальцитом, що заміщує початковий породоутворюючий сидероплезит. Наявність двох генерацій карбонатів підтверджена результатами термічного аналізу. Мікроструктурні ознаки, які підтверджують прояв дислокаційно-метаморфічних перетворень досліджуваної породи наступні: наявність стілолітової окремоті в зоні контакту кварц-сидеритолітових агрегатів (свідочтво прояву однобічного тиску), сутурний шов, який позначає контакт мінеральних агрегатів двох порід, флексурний вигин агрегатів сидеритоліта на окремих ділянках аншліфа, трасований графітом і інші ознаки проявів крихких і пластичних деформацій порід. Даний зразок був вибраний для досліджень ще і у зв'язку з тим, що в його межах поєднуються мінеральні агрегати, які сформувалися як гідротермально-секреційним шляхом (кварцовий прожилок), так і метасоматичним – новоутворений кальцит по ранньому сидероплезиту. В межах зразка відмічено нерівномірний розподіл рудної мінералізації: найбільш збагачені рудними мінералами ділянки спостерігаються в межах кварцового сидеритоліта, на ділянці кварцового прожилка видима мінералізація практично не зустрінуто. Рудні мінерали представлені піротином, магнетитом і графітом. Сумарний вміст мінералізації благородних металів складає 356 мг/т. Проявів видимої мінералізації благородних металів не виявлено. Параметри електротермічної обробки: нагрів до 500 °С і одночасне пропускання струму силою до 0,25 А протягом 3 год.

У результаті обробки встановлені наступні структурно-речовинні перетворення:

- 1) поява мікротріщинуватості в межах агрегатів кварцового прожилка з проявом контурів одиничних зерен (рис. 1,а);
- 2) поява видимої мінералізації срібла в межах окремих кварцових зерен (рис. 1,а);
- 3) перерозподіл агрегатів піротину (раніше розосереджених в речовині сидеритоліта), а після електротермічної обробки сконцентрованих в приконтактовій зоні кварц-сидеритолітових агрегатів (рис. 1,б).



**Рис. 1. Структурно-речовинні перетворення у кварцовому прожилку після електротермічної обробки:**

а – тонкодисперсні виділення срібла (Сб) в межах кварцових зерен (Кв) (зб. 200<sup>х</sup>, світло відбите, ніколі ||); б – перерозподіл агрегатів піротину (Пн) у приконтактовій зоні кварц-сидеритолітових (Кв-Кб) агрегатів (зб. 200<sup>х</sup>, світло відбите, ніколі ||)

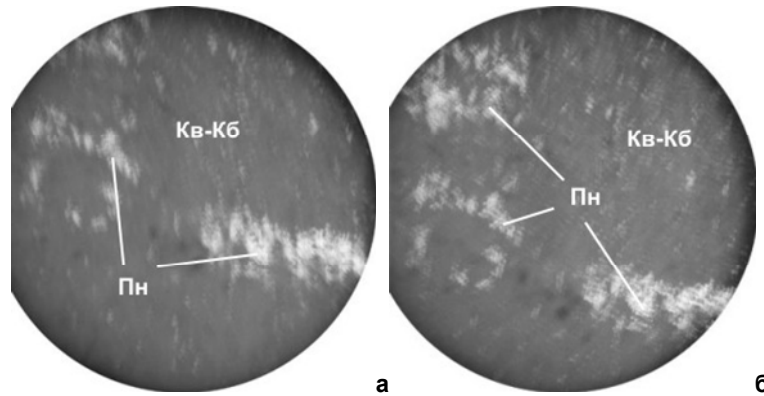
Зразок 2. За складом аналогічний попередньому, але з більшим вмістом піротинової мінералізації (рис. 2,а). Вся рудна мінералізація як і в попередньому зразку сконцентрована в сидеритоліті, при цьому вона орієнтована під кутом до ранньої шаруватості породи, що свідчить про її епігенетичний характер утворення. Зразок був об-

роблений при наступних параметрах – температура до 450 °С, сила струму до 0,2 А, час обробки – 2,5 год.

У результаті обробки встановлений виразний прояв процесу збірної кристалізації, а точніше первинної рекристалізації агрегатів піротину (рис. 2,б). Застосування даного терміну прийнятніше, оскільки на відміну від збір-

ної кристалізації, що характеризує явище укрупнення зерен під час термальної перекристалізації в твердому стані, без попередніх деформацій, під терміном рекристалізація (або повторна кристалізація) розуміється укрупнення і зростання зерен в інтенсивно деформованому матеріалі, що в нашому випадку підтверджується про-

явом структурних ознак мікродеформацій порід. Під час зіставлення мікрофотографій обробленого зразка (рис. 2,б) з початковим (рис. 2,а) відмічена поява додаткового новоутвореного мінерального агрегату, представленого піротином в лівій частині аншлифа.

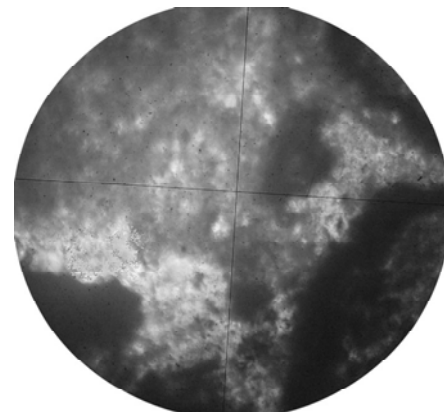


**Рис. 2 – Агрегати піротину в кварцовому сидеритоліті (Кв-Кб):**

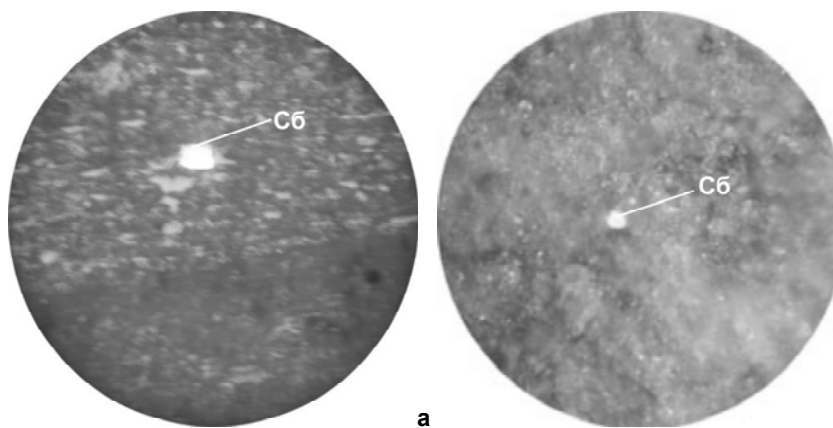
а – до електротермічної обробки (зб. 200<sup>x</sup>, світло відбите, ніколі ||); б – збірна рекристалізація агрегатів піротину (Пн) в кварцовому сидеритоліті після електротермічної обробки (зб. 200<sup>x</sup>, світло відбите, ніколі ||)

Зразок 3. Представлений мінеральним агрегатом кварц-сидерит-гетит-скородитового складу (рис. 3). Зразок відібраний із зони окислення Бобріковського золоторудного родовища. В результаті петрографо-мінералогічних досліджень встановлено, що скородит сформувався за рахунок руйнування арсенопіриту в зоні окислення. Арсенопірит, разом із піритом в межах родовища був мінералом-концентратором золоторудної мінералізації. Даний зразок був досліджений нами з метою вивчення ролі електричного поля в процесі мінералоутворення в зонах прояву екзогенного метасоматозу.

У результаті електротермічної обробки (температура ~100°C, сила струму 0,1 А, час обробки 1 год. 10 хв.) в зразку встановлена поява новоутворених тонкодисперсних мінеральних фаз, представлених магнетитом (ймовірно за рахунок розкладання сидериту), гідрогетитом, лепідокрокітом і поодинокими зернами срібла (рис. 4,а, рис. 4,б). Спостерігалася поява субпаралельного орієнтування в розташуванні новоутворених мінеральних фаз



**Рис. 3. Агрегати скородиту з гідроокисами заліза (темні кола по периферії зразка) по сидериту (зб. 200<sup>x</sup>, ніколі ||)**



**Рис. 4. Структурні і речовинні новоутворення в скородит-гетитовому агрегаті після електротермічної обробки:**

а – прояви тінювої мікросмугастості, представлені агрегатами магнетиту (світло-сірі паралельно орієнтовані зерна) з одиничними зернами срібла (Сб) (зб. 200<sup>x</sup>, ніколі ||); б – зерно срібла (зб. 200<sup>x</sup>, ніколі ||)

Під час електротермічної обробки зразків філонітів і вуглецевих метасоматитів також встановлена поява видимих під мікроскопом у відбитому світлі поодиноких дисперсних зерен, в основному, срібної мінералізації, а

в одиничних випадках – зерен золота. У вуглецевих метасоматитах відмічено перерозподіл графіту і його розвиток по зонах розсланцювання, мікротріщинуватості і по контурах флексурного вигину мікроскладчастих

структурних елементів. Слід відмітити, що отримані структурно-речовинні перетворення відбувалися лише за одночасної дії теплового і електричного полів. Простий нагрів або тільки дія електричного поля не приводили до подібних результатів.

**Висновки.** Таким чином, за результатами експериментальних досліджень з електротермічної обробки зразків гірських порід гідротермально-метасоматичних формацій встановлено:

- поява мікротріщинуватості в межах агрегатів кварцового прожилка з проявом контурів одиничних зерен;
- поява видимої мінералізації срібла в межах окремих кварцових зерен;
- перерозподіл агрегатів піротину (раніше розосереджених в речовині сидеритоліта), а після електротермічної обробки сконцентрованих в приконтактовій зоні кварц-сидеритолітових агрегатів;
- прояв процесу збірної кристалізації, а точніше певинної рекристалізації агрегатів піротину, тобто укрупнення і зростання зерен в інтенсивно деформованому матеріалі, що підтверджується проявом структурних ознак мікродеформацій порід.

УДК 549.2:553.2

## НЕОДНОРІДНІСТЬ ВНУТРІШНЬОЇ БУДОВИ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ САМОРОДНОЇ МІДІ ВОЛИНИ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)

*Самородна мідь Волині характеризується неоднорідною внутрішньою будовою. Неоднорідність будови виявлено за результатами досліджень форм структурного травлення і хімічного складу міді. Встановлено ознаки скелетного росту, осциляційної ростової зональності, розщеплення та блокової будови кристалів. Ростові форми корелюються із варіаціями співвідношення Ag/Fe в міді. Ростова та хімічна неоднорідність пояснюється в рамках моделі змішування розчинів із різним редокс-потенціалом.*

*The native copper of Volyn is characterized by heterogeneous inner structure. Heterogeneity of the structure has been found on the results of structural etching and analysis of chemical composition of copper. Features of skeletal growth, oscillation growth zonality, splitting and block structure of crystals are established. Growth shapes show correlation with value of Ag/Fe ratio in copper. Growth and chemical inhomogeneity can be explained according to the model of fluid mixing with different redox potential.*

**Вступ та постановка проблеми.** Морфологія і внутрішня будова мінералу несуть у собі важливу інформацію про особливості його зародження, росту, перетворення та руйнування. Морфологія кристалу, його поверхня є відображенням останнього етапу його формування [11] і щоб з'ясувати еволюцію кристала на попередніх етапах необхідно детально вивчити анатомію кристала.

Якщо морфологія кристалічних індивідів [3], [6] і мікроморфологія їх поверхні [5] є достатньо добре вивчені, то внутрішня будова міді розглянута в єдиній праці [4]. В цій роботі значна увага приділялась багатогранникам самородної міді і меншою мірою вивчалися виділення міді неправильної форми в породі. Методом структурного травлення цими дослідниками виявлено ознаки двійникування кристалів міді. Варто відмітити, що анатомія самородної міді світових родовищ практично не досліджена. Свого часу були спроби дослідити внутрішню будову мічиганської самородної міді методом хімічного травлення. Результати досліджень наведені в роботі [12]. Однак дослідники згаданої праці акцентували увагу на структурах ритмічного осадження вторинних продуктів на поверхні шліфа, не звертаючи уваги на явні ознаки зональної будови чи двійникування, що спостерігаються на наведених у статті ілюстраціях. Труднощі в інтерпретації даних, отриманих за результатами структурного травлення мінералів, викликані, в першу чергу, у використанні різних об'єктів для структу-

Даний напрям досліджень вимагає подальшого експериментального розвитку і теоретичного обґрунтування. Отримані результати можуть бути використані при вивченні умов утворення зруденіння гідротермально-метасоматичного генезису.

1. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. – Томск, 1980.
2. К вопросу о роли электрического тока в преобразовании глинистых минералов / Н.В. Белов, И.Д. Эхус, А.Е. Браун и др. // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 245, №4. – С. 921-924.
3. Нюссик Я.М., Комов И.Л. Электрохимия в геологии. – Л., 1981.
4. Рузина М.В. Углеродистые метасоматиты Конкской и Белозерской зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита // Геология і питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита: Зб. матер. наук.-техн. наради. – Кривий Ріг, 2007. – С. 163-165.
5. Соболев В.В., Бондаренко Е. Изменение зернового состава кристаллов алмаза при обработке продуктов синтеза в электромагнитном поле // Сверхтв. материалы. – 1993. – №4. – С. 54-55.
6. Орлинская О.В., Соболев В.В., Чернай А.В. Термозлектрическая обработка минералов и горных пород. – Днепропетровск, 1999.
7. Федьинский В.В. Разведочная геофизика. – М., 1964.
8. Хайретдинов И.А. Введение в электрогеохимию. – М., 1980.
9. Экспериментальные исследования по изучению влияния термозлектрических полей на горные породы и минералы / О.В. Орлинская, Д.С. Пикареня, Н.В. Билан и др. // Наук. вісн. НГУ. – 2005. – №9. – С. 45-48.

Надійшла до редколегії 10.06.12

Л. Скакун, канд. геол.-мінералог. наук,  
І. Мисяк, асп., Я. Косовський, пров. геолог,  
С. Бондаренко, канд. геол.-мінералог. наук,  
О. Грінченко, канд. геол.-мінералог. наук

рного травлення (багатогранник-монокристал чи кристалічний агрегат). Тут варто пам'ятати, що на відміну від багатогранника, у полірованій пластині кристалічного агрегату ми маємо справу з кристалографічно різноорієнтованими перерізами мінералу. Важливим моментом є підготовка зразків до застосування методу [2], недотримання певних вимог може призвести до отримання помилкових результатів.

У представлений роботі ми наводимо результати досліджень структурного травлення по вивченню дрібних виділень самородної міді в первинному розташуванні в породі: в основній масі базальту, в прожилках та мигдаликах базальтових порід, у лавобрекчіях та туфах. Структурне травлення дозволяє виявити ростову зональність, секторіальність, перекристалізацію, скелетну, блокову будову індивідів. Знаючи особливості анатомії індивіду можна об'єктивно судити про причини варіації хімічного складу.

**Методика досліджень.** Дослідження внутрішньої будови самородної міді здійснювали методом структурного травлення. Структурне травлення виконували у свіжополірованих пластинах із зразків базальтів, туфів і лавобрекчій зі самородною міддю, відібраних із свердловин та Рафайлівської каменоломні. Попередньо виконана ретельна підготовка зразків з дотриманням вимог [2]. Поверхня зразків була якісно відполірована. Протравлювали свіжо відполіровані зразки. Для травлення використовували два реактиви [8]: 30 % перекись