

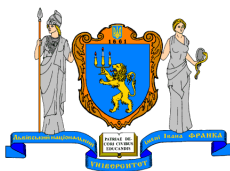
Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка

**І. Попівняк, С. Ціхонь**

# ПРИКЛАДНА ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЯ

## Частина 2 ОСНОВИ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНОГО ПРОБОВІДБИРАННЯ

Курс лекцій  
для студентів геологічного факультету



**Львів ЛНУ 2005**

**ББК**  
**П-**

Рецензенти:

канд. геол.-мін. наук,  
доц. *І.Т.Бакуменко* (Львівського національного  
університету імені Івана Франка)  
канд. геол.-мін. наук,  
зав. відділу *І.М.Наулко* (Інститут геології, геохімії  
горючих копалин НАН України)

**Попівняк І. В., Ціхонь С. І.**

П- Прикладна термобарогеохімія: Частина 2: Основи термопаро-  
геохімічного пробовідбирання: Текст лекцій. – Львів: Видавничий центр  
ЛНУ імені Івана Франка, 2005. – с.

© Попівняк І. В., Ціхонь С. І., 2005

## Мета і завдання

Мета вивчення теми “Основи термобарогеохімічного пробовідбирання”, що є складовою спецкурсу “Прикладна термобарогеохімія” – дати змогу студентам оволодіти основами специфічного термобарогеохімічного опробування з урахуванням особливостей повного алгоритму термобарогеохімічних досліджень ендегенних родовищ корисних копалин; набути знання загальних принципів, теоретичних основ та практичних навичок термобарогеохімічного опробування як основи фактологічного термобарогеохімічного моделювання, розробки розшуково-оцінних критеріїв та ефективних наукових прогностичних оцінок перспективності геологічних об’єктів у ділянках, недоступних для безпосереднього спостереження.

На підставі знань, набутих під час вивчення теоретичних основ термобарогеохімії та аналітичних методів дослідження включень у мінералах, студенти опановують методологію їхнього використання на різних стадіях геологорозвідувального процесу. Зокрема, вивчення основ термобарогеохімічного пробовідбирання студенти опановують після вивчення теми “Мінералогічні та термобарогеохімічні передумови прогнозування, розшуків та оцінки перспектив ендегенних родовищ корисних копалин”.

*Студент повинен знати:*

- сутність розвитку ендегенних процесів мінералоутворення з часом та у просторі;
- вимоги щодо термобарогеохімічного опробування з урахуванням особливостей кожного аналітичного методу термобарогеохімічних досліджень;
- головні принципи термобарогеохімічного опробування та моделювання;
- способи визначення та оптимізації кроку термобарогеохімічного пробовідбирання;
- оцінювання надійності термобарогеохімічного пробовідбирання.

## Вступ

Низка питань теорії і практики термобарогеохімічного пробовідбирання опрацьована на підставі досвіду та результатів вивчення численних золоторудних, свинцево-цинкових, молібденових, вольфрамових та інших родовищ Забайкалля, Північного Прибайкалля, Східного Саяну, Північної Бурятії, Якутії, Казахстану, Середньої Азії, України та інших регіонів.

Під час звичного пробовідбирання на рудопроявах чи родовищах корисних копалин з метою виявлення кількості та якості корисної копалини головне завдання зводиться до оцінки точності підрахунку середніх характеристик обсягів запасів [3]. Стосовно ж термобарогеохімічного опробування важливіше значення мають не сумарні чи середні значення досліджуваного показника чи параметра, а ті неоднорідності у його просторово-часовому поширенні, які можна виявити із застосуванням методів аналітичної та прикладної термобарогеохімії.

## Зміст навчального матеріалу

Для отримання найповнішої термобарогеохімічної інформації щодо досліджуваних геологічних об'єктів необхідно було б використати результати вивчення *усіх* генетичних груп включень, законсервованих колись у мінералах такого об'єкта. Для цього довелось би відібрати і вивчити пробу, у якій законсервовані всі ці включення, тобто такою пробою міг би бути сам об'єкт (див. *абсурдна термобарогеохімічна проба* (с. 6)), однак, очевидно, що таку пробу відібрати неможливо, особливо щодо великих об'єктів, хіба що подумки. Тому термобарогеохімічне пробовідбирання, як і звичне, є дискретним.

Отже, достатньо повну термобарогеохімічну інформацію про великі геологічні об'єкти отримують завдяки використанню дискретного опробування та статистично значимих вибірових даних за результатами вивчення флюїдних включень у мінералах відібраних проб [9, 10, 13].

Термобарогеохімічне опробування є підставою для термобарогеохімічного моделювання. Добре обґрунтована методика відбирання й опрацювання результатів дослідження є однією з найважливіших умов, що забезпечують високий ступінь достовірності термобарогеохімічного моделювання. Тому, окрім

відомих методик, ми використали і власні розробки щодо оптимізації та контролю надійності систем термобарогеохімічного опробування [10].

Під час побудови різноманітних фактологічних термобарогеохімічних моделей застосовують порівняно розріджену мережу опробування, водночас оцінюючи, наскільки припустиме таке розрідження. Очевидно, що частота і крок опробування залежать, насамперед, від характеру мінливості досліджуваної ознаки: чим інтенсивніша її мінливість у межах досліджуваного об'єкта, тим "густіша" (щільніша) повинна бути система опробування, і навпаки, неінтенсивна мінливість ознаки достовірно може бути описана меншою кількістю проб, відібраних за порівняно розрідженою системою опробування. Отже, проблема пробовідбирання ніби перебуває на нестійкій межі співвідношення між вирішенням двох окремих завдань: достовірності (чим частіше, тим достовірніше) й оптимальної щільності мережі та кількості проб; кількість проб водночас пов'язана з оптимізацією системи (мережі) опробування та її економічною доцільністю.

### Термінологія

Перш ніж перейти до висвітлення основ термобарогеохімічного пробовідбирання, визначимо найважливіші поняття і терміни, що стосуються лекційного матеріалу.

***Термобарогеохімічна проба** – це певна кількість (порція) мінеральної речовини, відібраної із геологічного об'єкта і призначеної для дослідження методами термобарогеохімії.*

Розміри та інші характеристики такої проби залежать від мети опробування, вибраного методу дослідження, фізико-хімічних властивостей законсервованих у включеннях флюїдів, а також від їхньої кількості у досліджуваній мінеральній речовині.

На відміну від звичайної проби, яку відбирають для виявлення кількості, якості та мінливості корисного компонента в руді, показники, отримані за результатами дослідження термобарогеохімічних проб, не такі мінливі, оскільки просторово-часові варіації фізико-хімічних властивостей мінералотворних середовищ, зазвичай, незначні порівняно з мінливістю кількості та якості корисного компонента.

**Абсурдна термобарогеохімічна проба (проба – весь досліджуваний об'єкт)** – це тільки подумкова проба, яку практично неможливо відібрати. Однак тільки за такою пробою-об'єктом можна було б отримати найповнішу інформацію щодо фізико-хімічних особливостей формування досліджуваного геологічного об'єкта після різнобічного вивчення усіх генетичних груп включень, законсервованих колись у всіх мінералах цього об'єкта (мінерального індивіда, рудного тіла, родовища тощо).

Якщо неперервне дослідження окремого невеликого мінерального індивіда можливо якось уявити, то цілісне (суцільне неперервне) дослідження великих геологічних об'єктів навіть уявити важко. Тому така подумкова проба-об'єкт абсурдна (нереальна), однак, теоретично мислима.

Під час дослідження ендегенних процесів рудоутворення створюють генетичні (часові) та структурні (просторові) термобарогеохімічні моделі. Та оскільки моделювання виконують комплексно, а кожний різновид термобарогеохімічного аналізу є специфічним, то і розміри, маса й інші характеристики проб також вибирають відповідно до застосованого методу аналізу та схеми моделювання [13].

Для моделювання великих об'єктів необхідно відбирати проби системно, тому залежно від масштабу, морфології та інших характеристик рудних геологічних об'єктів вибирають відповідну систему термобарогеохімічного опробування.

**Системи термобарогеохімічного опробування** – це сукупності проб, відібраних у певному порядку з відповідною щільністю (частотою) для проведення повного комплексу термобарогеохімічних досліджень.

Тип, масштаб та інші особливості систем опробування значно залежать від конкретної мети дослідження, природних морфометричних та генетичних особливостей досліджуваного об'єкта, а також від гірничо-технічних умов.

Розрізняють часові (генетичні), просторові (структурні), дослідно-методичні та спеціалізовані системи термобарогеохімічного опробування [10, 13]:

**Системи генетичного (часового) опробування** – це сукупності проб, відібраних для проведення комплексу термобарогеохімічних досліджень, що дають змогу виявити послідовність кристалізації

окремих мінералів, їхніх асоціацій та комплексів і відтворити фізико-хімічний режим формування досліджуваних об'єктів загалом.

**Системи просторового (структурного) пробовідбирання** – це сукупності проб, відібраних для термобарогеохімічного дослідження, які на підставі комплексного (речовинного чи параметричного) структурного моделювання дають змогу виявляти закономірності просторової мінливості фізико-хімічних умов рудо- чи мінералоутворення загалом та природу зональності досліджуваного об'єкта зокрема.

**Системи дослідно-методичного пробовідбирання** – це використовувані в умовах інформаційної невизначеності сукупності проб, досить щільно і регулярно відібрані в межах досліджуваного об'єкта, умови формування якого невідомі й не мають аналогів.

**Системи спеціалізованого пробовідбирання** – це сукупності проб, відібраних за схемою, яка повністю залежить від мети та завдань, що дають змогу розкривати яку-небудь частину різномасштабних проблем, вирішуваних за допомогою систем пробовідбирання, перерахованих вище.

## **1. Особливості опробування за видами аналізів**

Під час термобарогеохімічного моделювання найширше використовують такі головні методи аналізу, як гомогенізація, декрепітація, кріометрія, водна та газова витяжки. Водночас будь-яка система лінійного, площинного чи об'ємного опробування, зазвичай, є сукупністю точкових проб. Тому нижче ми розглянемо відповідні типи штуфних термобарогеохімічних проб за видами аналізів:

- термобарометричні – для визначення температури і тиску за включеннями в мінералах;
- декрептометричні – для визначення температури розривання чи дегазації включень різних генерацій;
- фазоаналітичні – для визначення складу летких та розчинних компонентів у включеннях;
- фазометричні – для визначення фазових співвідношень за включеннями тощо.

**Проба термобарометрична** – це певна кількість (порція) мінеральної речовини, відібраної із геологічного об'єкта для визначення температури і тиску за включеннями у мінералах.

**Проба декрептометрична** – це певна кількість (порція) мінеральної речовини, відібраної із геологічного об'єкта для визначення температури розривання чи дегазації включень різних генерацій.

**Проба фазоаналітична** – це певна кількість (порція) мінеральної речовини, відібраної із геологічного об'єкта для визначення складу летких та розчинних компонентів у включеннях.

**Проба фазометрична** – це певна кількість (порція) мінеральної речовини, відібраної із геологічного об'єкта для визначення фазових співвідношень у включеннях різновікових генерацій.

**Проба мономінеральна** – це необхідна для термобарогеохімічного дослідження кількість тільки одного мінералу.

**Проба полімінеральна** – це необхідна для термобарогеохімічного дослідження кількість мінеральної речовини (породи чи руди), складеної багатьма мінералами.

**Проба генетична** – це спеціалізована проба будь-якого розміру, відібрана для проведення комплексу термобарогеохімічних досліджень, що дають змогу виявити послідовність кристалізації окремих мінералів, їхніх асоціацій та комплексів.

Перераховані та інші типи проб застосовують комплексно відповідно до мети дослідження. Розглянемо найважливіші з них.

### **Термобарометричне опробування**

Термобарометричне опробування виконують з метою вимірювання температури гомогенізації включень у місцях відбирання проб та визначення чи розрахунку тиску в мінералотворних палеосистемах. Для виготовлення термометричного препарату, зазвичай, відбирають штуфну пробу розміром приблизно  $6 \times 6 \times 6$  см. Ще у польових умовах від неї відбивають два уламки чи відрізають дві пластинки розміром  $3 \times 3 \times 1$  см (такі ж, як для виготовлення шліфів). Один із уламків використовують для виготовлення полірованої з двох боків пластинки, інший – як дублікат. Головна велика проба слугує для документальної характеристики досліджуваної породи, руди, мінералу чи мінерального агрегату. Загальна маса цих трьох проб може не перевищувати 150 г, однак



важливо домагатися, щоб у препаратах був повний набір мінералів, які містилися у штуфній пробі. Треба пам'ятати, що метод гомогенізації застосовують під час дослідження прозорих мінералів (кварц, карбонати, топаз, турмалін, сфалерит, барит, флюорит, кіновар тощо).

### **Фазометричне опробування**

Фазометричне опробування виконують з метою виявлення агрегатного стану мінералотворного середовища за допомогою візуально-мікроскопічного дослідження та кріометричного аналізу флюїдних включень. Відбирання проб у полі для проведення цих аналізів практично не відрізняється від термобарометричного [13].

### **Декрептометричне опробування**

Декрептометричне опробування також використовують під час дослідження процесів мінералоутворення з часом та у просторі в комплексі з методом гомогенізації, проте частіше у випадках, коли застосування методу гомогенізації неможливе, тобто під час вивчення непрозорих мінералів та дослідження ореолів пропарювання у білярудному просторі.

Незважаючи на те, що декрепітаційний аналіз виконують двома способами (звуковим та вакуумним), розмір і маса використовуваних для аналізу проб в обох випадках практично однакові. У полі відбирають проби, що майже нічим не відрізняються за масою та розміром від проб для описаного вище термометричного опробування, проте з них не виготовляють препарати, а дроблять і фракціують. Експериментально вибирають найінформативніші фракції і їхню частку, що загалом не перевищує  $1 \text{ см}^3$ , використовують для виконання аналізу. Найчастіше беруть фракцію 0,5–1,0 мм, хоч інколи інформативнішою може виявитися фракція 0,5–0,25 мм. Зрідка використовують фракції 0,1–0,25 чи  $< 0,1$  мм, а також  $> 1$  мм. Якщо виконують декрепітацію мінерального агрегату, то пробу неодноразово перемішують (квартуванням чи іншим способом). У кожному окремому випадку фракцію підбирають дослідно-методичним шляхом.

### **Фазоаналітичне опробування**

Цей вид проб відбирають для визначення кількості летких і розчинних компонентів у включеннях. За включеннями у мінералах

вивчають особливості хімічного складу різновікових порцій флюїдів, а також мінливість їхнього складу в межах досліджуваних об'єктів.

Для визначення складу речовини включень використовують два головні способи: індивідуальне розкриття включень із наступним аналізом леткої чи розчинної складової; валову витяжку – водну чи газову. Під час розкривання окремих включень, зазвичай, застосовують плоско-паралельно поліровані пластинки, тому відбір проб для такого виду аналізів нічим не відрізняється від відбору проб для термобарогеохімічного аналізу. Оскільки ж для індивідуального розкриття використовують переважно великі включення, що трапляються порівняно зрідка, то кількість матеріалу, яку відбирають у полі, можна збільшити за бажанням дослідника. Водночас маса та якість проб, які відбирають для водної та газової валових витяжок, відрізняються деякими особливостями; зокрема, необхідно пам'ятати, що точність цього різновиду аналізу зумовлена чистотою матеріалу, який відбирають.

Маса проби на водну витяжку залежить від вмісту в руді чи жилі того мінералу, із якого передбачають відібрати відповідну фракцію для аналізу. Якщо рудна чи жильна маса має складну будову, то кількість цієї маси у пробі повинна бути такою, щоб із неї можна було відібрати 200–300 г чистої монофракції мінералу. Наприклад, якщо у складі досліджуваної маси руди кількість аналізованого матеріалу не перевищує 10%, то необхідно 2–3 кг проби, якщо ж рудна чи жильна маса мономінеральна, то буде достатньо 400–500 г проби.

Під час відбирання проби на газовий аналіз потрібно діяти аналогічно, як і під час відбору проб на водну витяжку, однак тоді необхідно враховувати особливості застосовуваного способу розкривання включень: термічно-вакуумного, термічного в проточному носії чи холодного подрібнення у вакуумі. Треба також зважати на спосіб реєстрації декрептоефектів – декрептофонічний чи декрептовакуумний. Маса проби у цих випадках може бути від декількох грамів до перших кілограмів, іноді 5–8 кг.

На перший погляд може здаватися, що чим більша маса проби на валову витяжку, тим надійніший йонний чи газовий аналіз, однак це правильно тільки частково. Наприклад, якщо відібрати дві проби із мономінеральної жильної маси, де не виявлено телескопування

нових порцій флюїдів, то точнішою буде та з них, у якої більша маса. Якщо ж проба для водної чи газової витяжок відібрана на ділянці складної будови рудної чи жильної маси, де певною мірою виявлено процеси накладання, то співвідношення йонів чи газів на цій ділянці буде різноманітнішим, тобто не буде цілком відповідати їхньому вмісту в тій порції флюїдів, із якої був сформований досліджуваний мінерал чи мінеральна монофракція.

## **2. Системи термобарогеохімічного опробування**

Найчастіше термобарогеохімічне опробування виконують для відтворення послідовності формування родовищ не тільки з часом, а й у просторі. Відповідно до цього та залежно від розвиненості системи гірничих виробок, а також від гірничо-технічних умов вибирають систему опробування.

Добре обґрунтована методика відбирання проб та опрацювання результатів дослідження – одна з найважливіших умов, що забезпечує високий рівень достовірності під час термобарогеохімічного моделювання.

Зазначимо, що під час аналізу ендегенних процесів найважливішими є часові (генетичні) та просторові (структурні) термобарогеохімічні моделі.

### **Часове (генетичне) опробування**

Генетичні моделі, як і структурні, охоплюють певну частину (ділянку) ендегенного мінералотворного процесу і відповідають масштабам досліджуваних об'єктів (рудопрояву, рудному тілу, родовищу, рудному полю, району чи металогенічній провінції). Оскільки найчастіше застосовують комплексне моделювання, і кожний вид термобарогеохімічного аналізу специфічний, то опробування обов'язково необхідно виконувати відповідно до вибраного методу дослідження (гомогенізації, декрепітації, кріометрії, водної та газової витяжок тощо). Розміри, масу та інші характеристики термобарогеохімічної проби вибирають відповідно до застосовуваного методу.

Для виявлення послідовності формування руд з часом систематично відбирають проби всіх мінералів та мінеральних груп. Водночас особливу увагу звертають на ті проби (зразки), які дали б

змогу обґрунтувати генетичну послідовність утворення як окремих мінеральних індивідів, так і мінеральних асоціацій та комплексів.

Під час генетичного термобарогеохімічного опробування насамперед необхідно враховувати таке:

- конкретні завдання щодо виявлення часових флуктуацій та загального характеру мінливості фізико-хімічних ознак (температури, тиску, складу флюїдів тощо);

- матеріали, отримані за зразками стійких мінеральних асоціацій (частіше із просторово відособлених жил та прожилків), тобто “чистих”, не телескопованих мінеральних асоціацій;

- результати детальної документації руд у складно-побудованих ділянках жильного виповнення та навколожильного простору (відбирання зразків та вивчення аншліфів);

- результати вивчення зразків – документів, з ознаками вікових співвідношень, що дають змогу виділити різновікові мінеральні комплекси, парагенетичні мінеральні асоціації, генерації окремих мінералів чи їхніх зароджень.

Найважливішими ознаками послідовності їхнього формування вважають структурно-текстурні перетини (рис. 1), ідіоморфізм ранніх мінералів щодо пізніх, інтерстиціальне (міжзернове) заповнення пізніми мінералами ранніх, брекчіювання та заміщення пізніми ранніх мінералів, дрібнення ранніх і заповнення пізніми мінералами мікротріщинок у кристалах ранніх мінералів (рис. 2) тощо.

Генетично найінформативніші зразки текстур з ознаками вікових співвідношень необхідно ретельно документувати (зарисовувати чи, ліпше, фотографувати).

Прозорі мінерали з перетинів прожилків, ксенолітів брекчій та їхніх основних мас, подрібнених та зарощених, частково розчинених чи новоутворених, ксеноморфних чи ідіоморфних мінералів відбирають для виготовлення препаратів безпосередньо в полі після ретельної документації генетично інформативних ситуацій. Відбирають також зразки складнопобудованих руд з ділянок накладення (телескопування). Такі зразки полірують, фотографують і детально вивчають у лабораторних умовах, після чого прозорі мінерали з цих генетичних зразків відбирають для дослідження методом фазометрії включень, їхньої гомогенізації, кріометрії тощо,

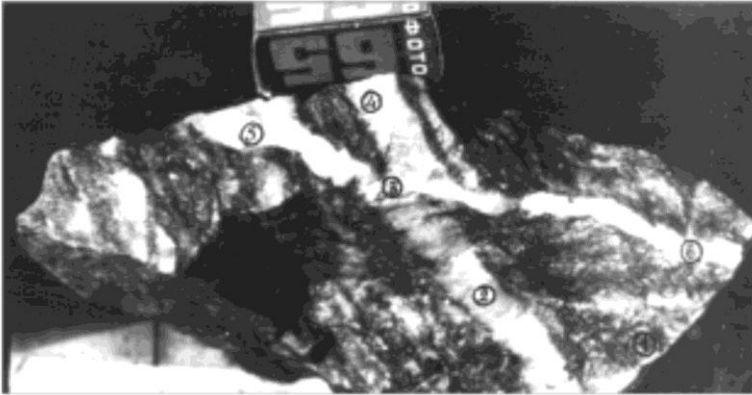


Рис. 1. Опробування „хрестом” послідовно утворених прожилків кварцу-III (проби 2, 4) та кварцу-IV (проби 3, 5, 6) у чорному кварці (проба 1). Фото Ю.В. Пивоварова та І.В. Попівняка.

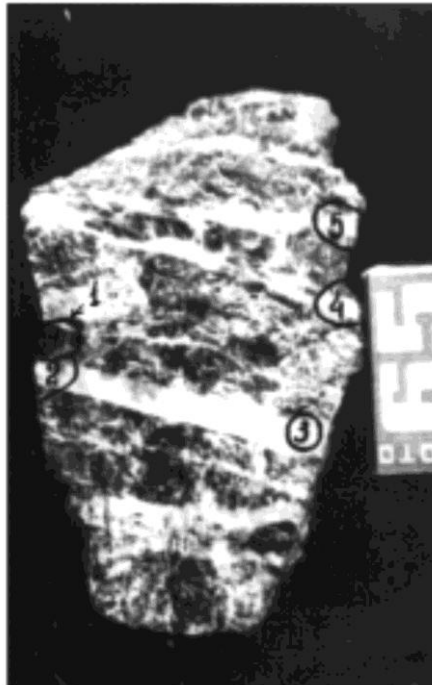


Рис. 2. Опробування прожилків кварцу-III, що перетинають чорний кварц-1. Фото Ю.В. Пивоварова та І.В. Попівняка.

а непрозорі – методом декрепітації. Зазвичай, прожилкові перетини опробують „хрестом” (див. рис. 1), тобто відбивають один чи декілька уламків на різних кінцях прожилків на деякій відстані від місця перетину; водночас відбирають декілька уламків безпосередньо з місця перетину. Така система детального вивчення генетичних взірців дає змогу досягти головної мети дослідження: визначити послідовність виділення рудотворних мінеральних груп та формування рудного тіла чи родовища загалом.

У таких перетинах частіше простежують дві групи включень у ранньому прожилку і одну – у пізньому. У ранньому прожилку, зазвичай, законсервовані первинні включення ранішої порції флюїдів та вторинні (накладені) – пізнішої порції флюїдів. У пізньому прожилку частіше бувають тільки сингенетичні з ним включення другої, пізньої порції флюїдів. Відбирання проб „хрестом” дає змогу виявити обидві сукупності включень. Трапляються складніші співвідношення прожилків у перетинах (наприклад, рис. 3).

Інколи трапляються ситуації, коли немає виразних перетинів прожилків або немає впевненості в тому, що хрестоподібні форми виявлень кварцу є результатом перетинання. У таких випадках детально вивчають включення у прожилках, адже якщо „перетин” є результатом розсунення блоків вмисної породи, то у прожилках, що ніби перетинаються, виявляють тільки однотипні сингенетичні включення (рис. 4).

Іноді під час спостереження справжніх перетинів різновікових прожилків візуально неможливо визначити, який з них перетинає, а який перетнутий іншим. Тоді за допомогою вивчення включень у мінералах можна однозначно виявити послідовність їхнього формування, якщо виконувати опробування „хрестом” та ретельно вивчати включення у прожилках, що перетинаються. Аналогічно „хрестом” опробують прожилки у ситуаціях, коли справжні перетини утворювалися у процесі функціонування єдиної (спільної) порції флюїдів, тобто двома різновіковими зародженнями кварцу однієї генерації. Тоді в обох прожилках, що перетинаються, фіксують включення з близьким хімічним і фазовим складом, проте й температури їхньої гомогенізації дещо відрізняються: гомогенізація

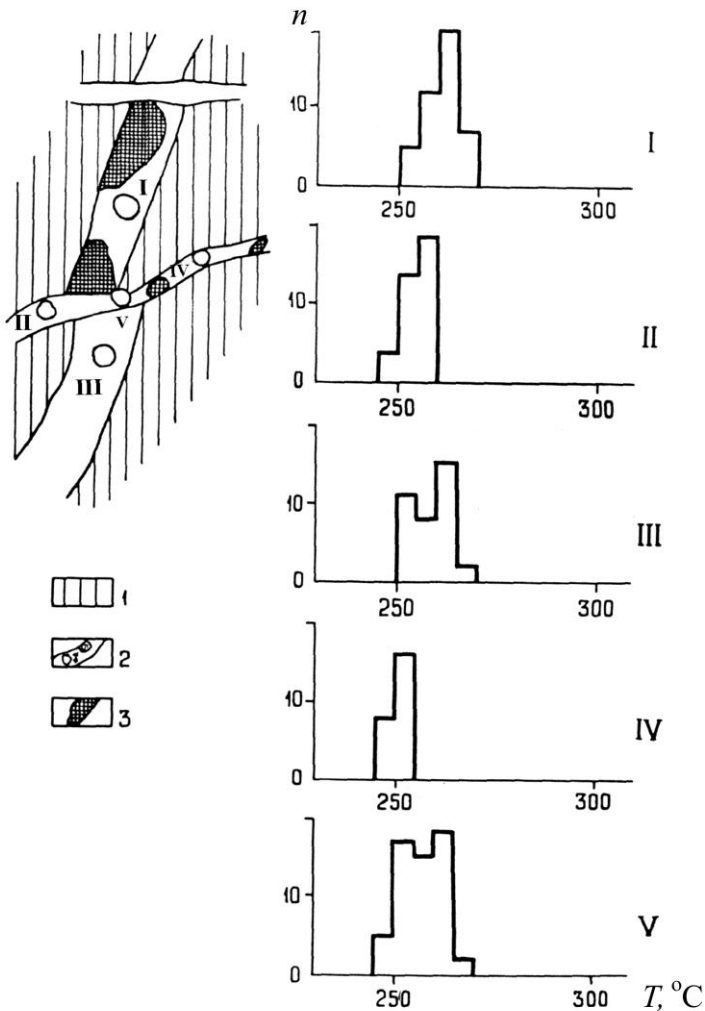


Рис. 3. Опробування „хрестом” і термометрична характеристика (гістограми значень температури гомогенізації включень – I–V) перетину різновікових прожилків кварцу-IV з галенітом (жила Тулуїнська Ірокіндинського золоторудного родовища); ранні зародження кварцу-IV і галеніту (субвертикальний прожилок) перетяті пізнішими зародженнями цих мінералів: 1 – березит; 2 – кварцова жи́ла з галенітом та місця взяття проб; 3 – галеніт.

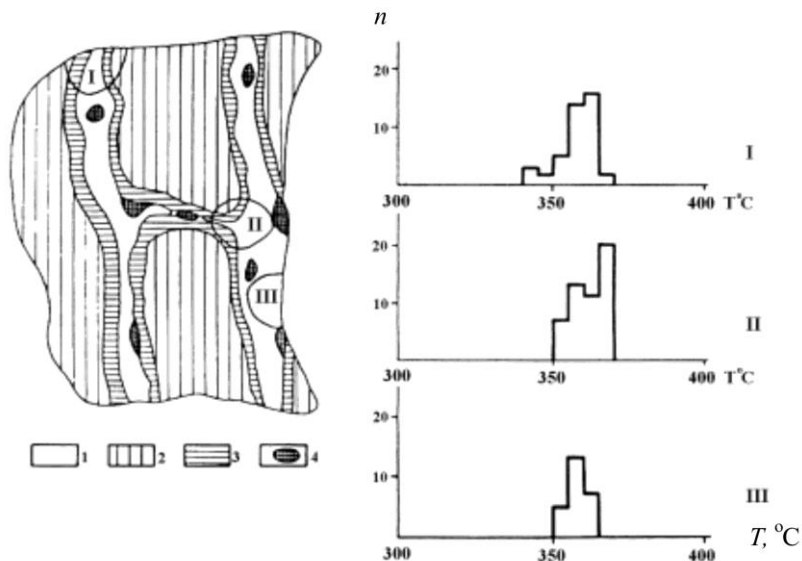


Рис. 4. Опробування прожилків, сформованих у результаті розсування мікроблоків вмісних порід та їхня термометрична характеристика (жила Тулуїнська, шт. № 17 Ірокіндинського родовища, зменшено утричі): 1 – кварц-III; 2 – сланець; 3 – карбонат; 4 – агреговані виділення піриту-I; I–III – місця взяття проб та гістограми значень температури гомогенізації включень; n – кількість аналізів.

включень у мінералах перетятого прожилка майже завжди помітно вища порівняно з тим, що перетинає (рис. 5).

### Опробування руд з вкрапленими текстурами

Цей вид опробування має специфічні особливості. Його виконують з метою виявлення генетичної єдності чи різниці умов формування основної маси і вкраплень у рудах.

Враховують те, що вкраплення бувають сингенетичними, епігенетичними та реліктовими. Завдяки вивченню послідовності формування мінералів вкраплених руд за допомогою методів термобарогеохімії можна довести як генетичну єдність вкраплень з основною масою, так і їхню відмінність. Включення в основній масі



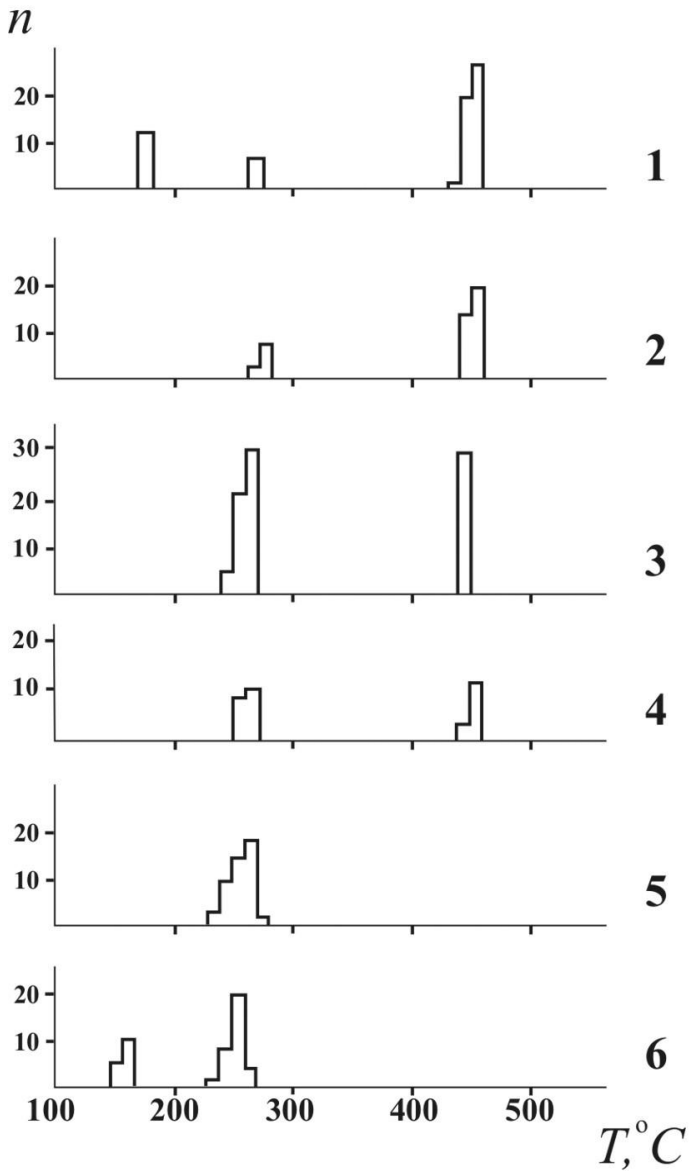


Рис. 5. Гістограми значень температури гомогенізації включень у різновікових генераціях кварцу (див. рис. 1;  $n$  – кількість аналізів).

руди та у сингенетичних їй вкрапленнях майже не відрізняються за складом. Для них характерна статистична єдність параметричних показників, одержаних під час вивчення різними методами. Навпаки, за різного віку основної маси та вкраплень, коли вони є епігенетичними (накладеними), параметричні характеристики, отримані за включеннями, не виявляють статистичної єдності та суттєво відрізняються, передусім, за хімічним складом флюїду у включеннях.

### **Системи просторового (структурного) опробування**

Ці системи представляють сукупності проб, відібраних з метою виявити закономірності просторової мінливості фізико-хімічного режиму рудоутворення і природу зональності досліджуваних об'єктів. Важливо враховувати матеріали Є.М. Лазька і Ю.В. Ляхова [7], які намітили загальний підхід щодо послідовності вивчення, зокрема й опробування, різномасштабних золоторудних об'єктів, відповідно до якого дослідження доцільно виконувати від окремого до загального, від точки (пункту) спостереження до рудного тіла, родовища, а потім до рудного поля і району. Згідно з цим принципом змінюється поняття точки опробування та уточнюється найраціональніший спосіб зображення результатів дослідження: площа рудного тіла для жили; вертикальний розріз, план чи об'ємна модель для родовища і рудного поля; план для рудного району та регіону тощо.

Залежно від мети дослідження, гірничо-технічних умов, припустимого чи виявленого масштабу та особливостей будови досліджуваних об'єктів здійснюють їхнє опробування: точкове, лінійне, площинне чи об'ємне (рис. 6).

**Точкове опробування.** Оскільки термобарогеохімічне опробування є дискретним і окремі проби, зазвичай, відбирають за певною системою, а місця їхнього взяття – це окремі точки, то загалом можна вважати, що все термобарогеохімічне опробування принципово точкове. Однак до точкових зачисляють тільки окремо взяті проби з невеликих відслонень, мінералізованих точок чи дрібних рудопроявів, що не пов'язані з лінійними, площинними, об'ємними чи іншими системами опробування. Цей різновид опробування особливо часто використовують на стадії „розбраковування” рудних тіл та рудопроявів.

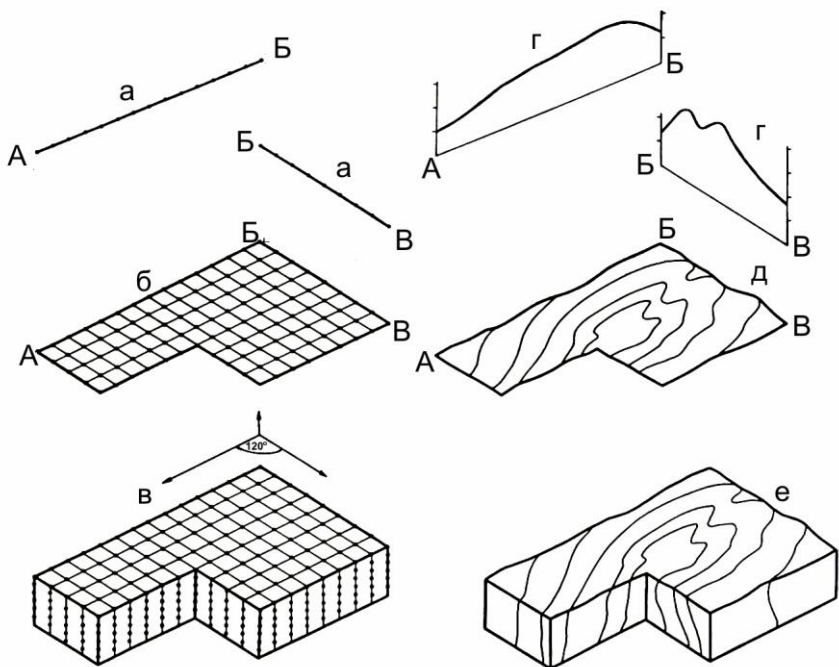


Рис. 6. Принципові схеми систем опробування та параметричних моделей у аксонометричній проекції: *a* – лінійних; *б* – площинних; *в* – об’ємних.

Тут доречно згадати про інформативність точкової термобарогеохімічної проби. Для наочності порівняємо інформативність геохімічної та термобарогеохімічної проб. Наприклад, якщо звичайна геохімічна проба містить інформацію тільки про елементний склад породи, руди тощо у точці опробування, і не розкриває генетичних особливостей досліджуваного об’єкта (послідовності накопичення елементів тощо), то одна точкова термобарогеохімічна проба дає змогу отримати інформацію щодо температурних умов і тиску в системі мінералоутворення, про склад, густину та концентрацію мінералотворного середовища й інші об’єктивні характеристики. Деякі точкові проби можуть містити інформацію про послідовну зміну цих параметрів у мінералотвірній палеосистемі, оскільки в одній пробі часто є декілька різночасових генерацій включень, що дають змогу з відомою мірою наближення

схарактеризувати послідовність надходження у цю точку палеосистеми різновікових порцій мінералотворних флюїдів.

*Лінійне опробування.* Найчастіше термобарогеохімічне опробування виконують уздовж різних ліній профілювання, по свердловинах, уздовж стінок гірничих виробок, виходів рудних тіл на денну поверхню тощо. Такі лінії залежно від мети опробування орієнтують по-різному. В одних випадках вони бувають спрямовані навхрест простяганню рудовмісних структур чи рудних тіл (декрепітаційні профілі та інші лінії під час вивчення білярудного простору), в інших – за їхнім простяганням (під час вивчення мінливості термобарогеохімічних показників у межах рудного тіла (рис. 7 та 8), рудовмісних структур чи складних зон прожилкування (рис. 9 та 10)).

З позицій системного аналізу лінійне опробування можна розглядати як різновид просторового опробування, елементами якого є окремі штуфні проби.

Зазначимо, що ця система містить таке важливе структурне поняття, як крок опробування (частота відбирання проб), від якого прямо залежить надійність систем опробування та експресність дослідження. Тому однією з найважливіших є процедура оптимізації кроку опробування, розглянута нижче.

*Площинне опробування.* Для виявлення просторової мінливості фізико-хімічних характеристик флюїдів у гідродинамічних палеосистемах широко використовують площинні моделі. До таких моделей належать різноманітні карти, схеми, проєкції, розрізи тощо. На відміну від лінійних, площинні моделі дають змогу розкривати мінливість тієї чи іншої фізико-хімічної ознаки в межах усього рудного тіла, якщо потужністю можна нехтувати (малопотужні жили, шари тощо), і уздовж розрізів (горизонтальних чи вертикальних) ізометричних рудних тіл. Площинні моделі дають змогу виявити динаміку палеопроектів циркуляції мінералотворних флюїдів у ділянці локалізації руд, а за певних умов розкрити шляхи транспортування та місця локалізації корисного компонента. Особливості площинного опробування залежать від форми, розмірів та будови рудного тіла. Порівняно прості плитоподібні рудні тіла досліджують уздовж ліній їхніх виходів на денну поверхню та уздовж штреків чи штолень тощо (рис. 11).

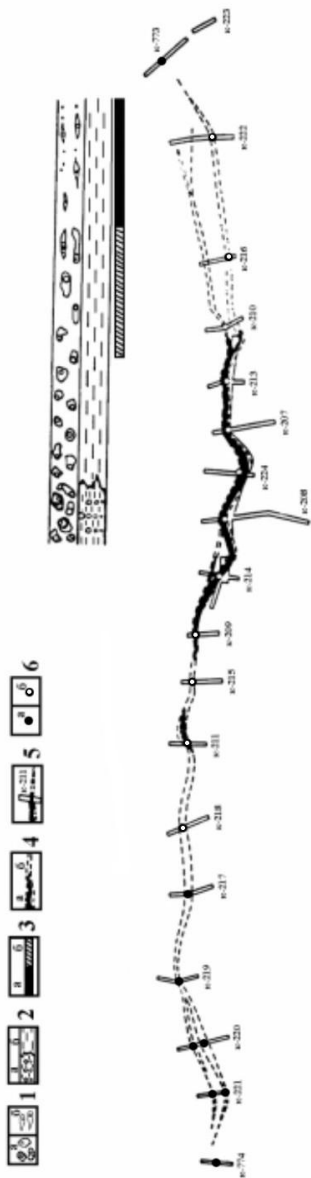


Рис. 7. Опробування та лінійна модель поширення включень мінералотворних флюоридів у межах виходу жили №22 на денну поверхню (план) (Кіндікан-Ірокідинський рудний вузол): 1 – включення, що збереглися (а) та динамометаморфізовані (б); 2 – ділянки діяльності гетерогенних (а) та гомогенних (б) флюоридів; 3 – ділянки проявів інтенсивного динамометаморфізму (а) та катаклазу (б); 4 – рудне тіло (а) та зона інтенсивної березитизації (б); 5 – канали та розчистки; 6 – місія взяття проб для дослідження методом декрепітації (а) та гомогенізації (б).

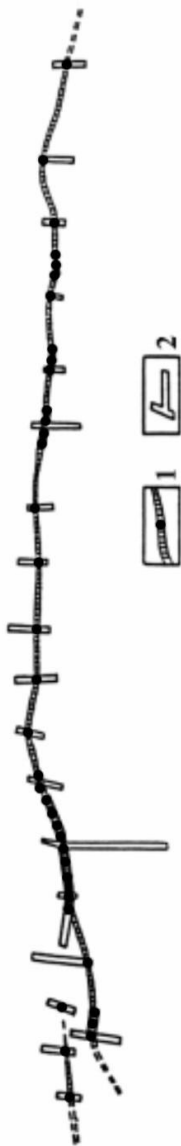


Рис. 8. Опробування жили № 14 у канавах та розчистках на рівні виходу її на денну поверхню (Ювілейне золоторудне родовище, Ленська золотоносна провінція), за А.С. Ніколенком: 1 – рудне тіло та місця взяття проб; 2 – канава та розчистки.

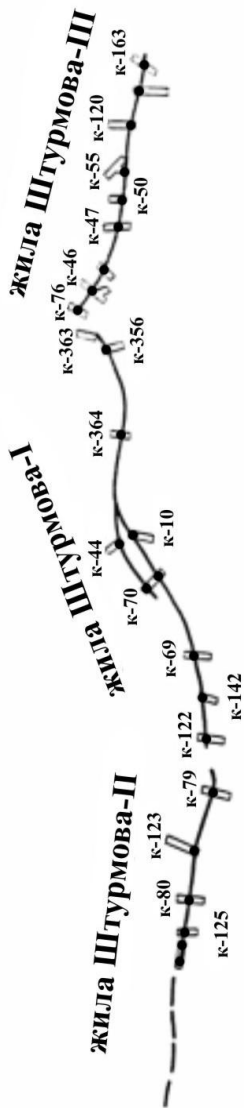


Рис. 9. Опробування жил Штурмових (Кедровське золоторудне родовище) у канавах з метою побудови лінійних параметричних моделей уздовж виходу рудних тіл на денну поверхню (план). Крапками позначено місця взяття проб.

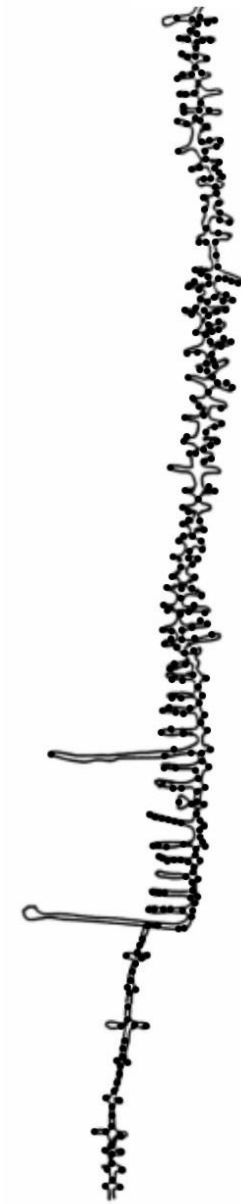


Рис. 10. Опробування складної зони прожилкування на рівні штольні №18 (Зун-Холбинське золоторудне родовище, Урік-Китойський рудний район). Точками позначено місця взяття проб.

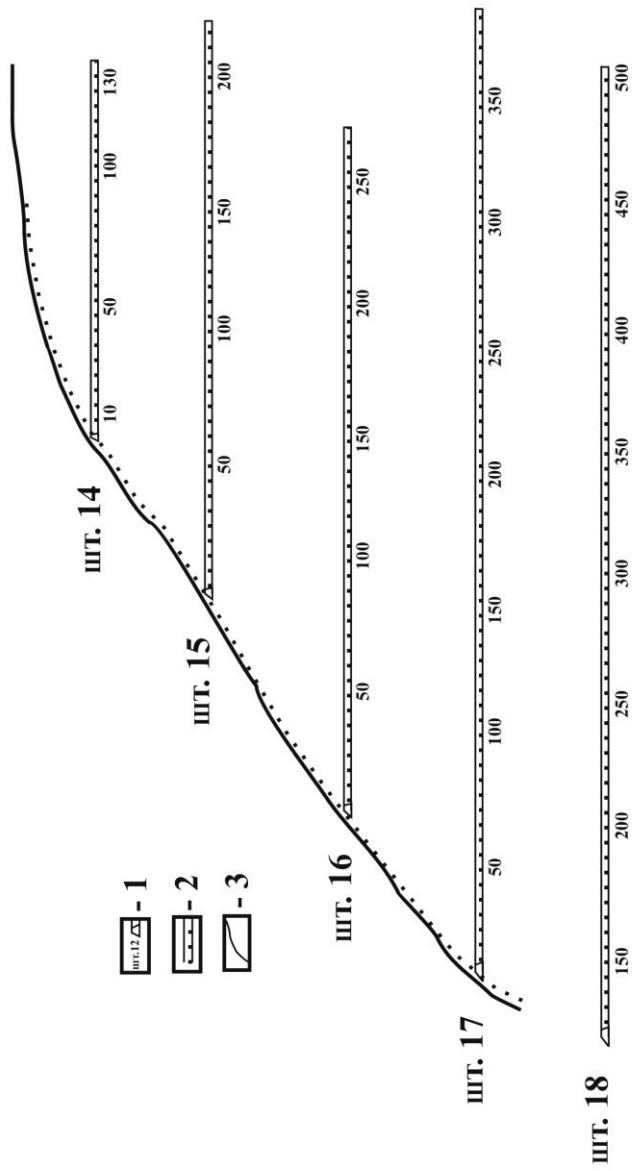


Рис. 11. Система опробування жили Тулуїнської Ірокіндинського золоторудного родовища (Кедровський рудний район) (проекція на вертикальну площину): 1 – штольні; 2,3 – опробування рудного тіла уздовж штольневих горизонтів (2) та на рівні сучасного ерозійного зрізу (3).



Тіла з ізометричною формою виходів на денну поверхню (штокверки, вулканоструктури, інтрузиви тощо) досліджують за лініями у радіальному напрямі від їхніх центрів. Іноді спочатку вивчають контакти таких тіл з вмісними породами, а потім і породи у білярудному просторі (наприклад, під час вивчення ореолів пропарювання). У випадках, коли зони полегшеної циркуляції не формували лінійних чи ізометричних контурів на досліджуваній площі чи перспективній ділянці, треба розбивати певну квадратну мережу профілів, у вузлах якої відбирати зразки корінних порід чи елювіальних уламків (рис. 12 та 13).

Аналогічно чинять і у випадках інформаційної невизначеності під час розшукових робіт у геологічно закритих районах, коли морфологія шуканих рудних тіл чи їхніх ореолів невідома (рис. 14).

Якщо у межах досліджуваних площ трапляються структурні чи інші геологічні неоднорідності, то застосовують ієрархічне чи поблокове площинне опробування. На його підставі виконують параметричне моделювання у межах кожного з блоків окремо.



Рис. 12. Система площинного розшукового буріння та опробування на перспективній території ділянки Килахської (Якутія). Відстань між окремими свердловинами 250 м.



Рис. 13. Система площинного розшукового опробування на перспективній території ділянки Верхньо-Ситиканської (Західна Якутія): I-III – площі, рекомендовані для довивчення (заштриховано ділянки, які рекомендовано вивчати першими).

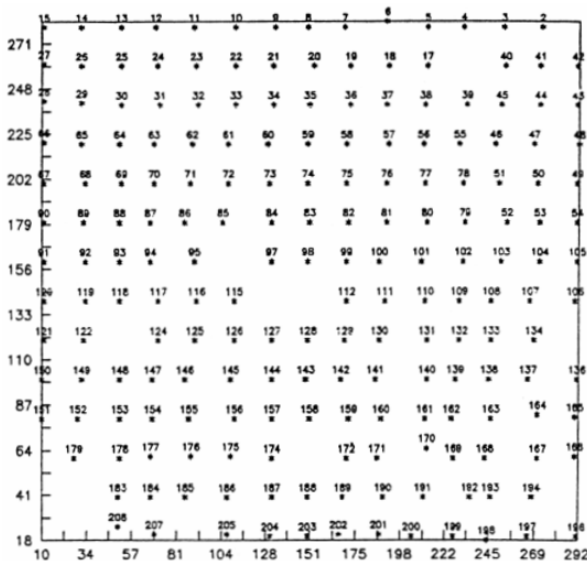


Рис. 14. Система площинного опробування на розшуковій території ділянки „Літня”. Зірочкою позначено місця взяття проб. Менші цифри – номери проб, більші (за контуром ділянки) – номери профілів.

Технологія площинного опробування порівняно проста. Проби відбирають уздовж систем паралельних профілів чи за певною мережею (квадратною, трикутною тощо (див. рис. 11–14)). Надійність кроку відбирання проб уздовж розрізів досліджуваної площі визначають за допомогою гармонійного критерію [10]. Загалом, незалежно від того, яку систему лінійного чи штуфного опробування (квадратна, ромбічна, трикутна, гексагональна чи інша) застосовано під час дослідження будь-якої з частин рудного тіла, опробування для двомірного моделювання, зазвичай, повинно бути таке, щоб уздовж лінії будь-якого перетину мінливість досліджуваної ознаки відповідала головним вимогам надійності, застосовуваним до лінійних систем опробування (наведено нижче).

Зазначимо, що у разі виявлення уздовж лінійних виробок неоднорідностей зміни досліджуваного параметра, розміри яких більші від комірок розвідувальної мережі (системи) гірничих виробок, застосованої під час дослідження рудного тіла, наприклад, у його площині, то за умови оптимального кроку опробування (наприклад, див. рис. 11) можна з достатньою впевненістю виявити головні тенденції зміни параметричного палеополя. І навпаки, у разі виявлення таких неоднорідностей зміни досліджуваного параметра, які за розмірами близькі до розмірів комірок застосованої розвідувальної мережі (системи) чи менші від них, то навіть за достатньо надійного кроку пробовідбирання уздовж лінійної гірничої виробки особливості реального чи потенційного параметричного поля можуть бути не виявленими. У першому випадку єдність кореляційних структурно-генетичних зв'язків неоднорідностей на суміжних розвідувальних горизонтах чи перетинах можна виявити, у другому – ні.

Особливо наголосимо, що площинне моделювання в межах окремих рудних районів, рудних вузлів чи рудних полів має певні особливості. Під час розробки площинних моделей (моделей зональності) у межах цих територій моделювання потребує особливої системи опробування. У цьому випадку сукупність точок опробування в межах досліджуваного об'єкта (родовища чи рудопрояву) стає точкою спостереження. Відповідно, кількість точок спостереження у межах досліджуваної території збігається з кількістю родовищ та рудопроявів, що розташовані на ній. Тому системи точок спостереження (системи опробування) в межах

рудних районів, вузлів та полів визначені просторовим положенням родовищ та рудопроявів на досліджуваних територіях (рис. 15).

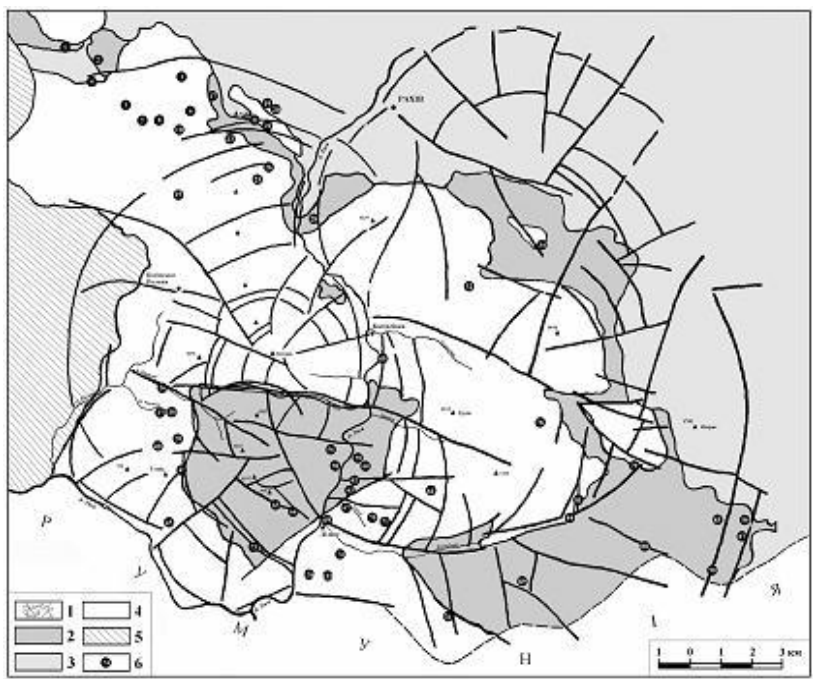


Рис. 15. Система точок спостереження у межах Рахівського золоторудного району [14]: 1 – Сауляцька радіально-кільцева структура; 2 – метаморфічний комплекс Мармароського масиву; 3 – теригенні породи флішу Карпат; 4 – осадовий комплекс Мармароського масиву; 5 – зона Мармароських скель; 6 – точки спостереження (рудопрояви та родовище Сауляк).

*Об'ємне опробування.* Генезис геологічних об'єктів можна вивчити за допомогою об'ємних параметричних моделей. Для цього попередньо виконують термобарогеохімічне пробовідбирання вздовж усіх доступних гірничих виробок у межах досліджуваних об'єктів. Тому об'ємне пробовідбирання можна розглядати як певним способом структуроване у просторі сполучення точкового, лінійного та площинного опробування. Водночас частота відбирання проб та інші вимоги щодо термобарогеохімічного об'ємного пробовідбирання повинні бути такими, щоб забезпечувати його

надійність, як і за лінійного чи площинного опробування.

Особливість об'ємного опробування полягає в тому, що воно безпосередньо залежить від розвинутості систем важких та поверхневих гірничих виробок, систем свердлування чи розкритості (відслоненості) досліджуваного об'єкта. Їхнє просторове співвідношення може бути дуже різноманітним, і тому, зазвичай, системи об'ємного опробування є порівняно складними, внаслідок чого виникає необхідність прискіпливішого (детальнішого) підходу в зображенні об'ємної системи опробування.

Тривимірне зображення досліджуваних об'єктів чи їхніх параметричних моделей, що відображають різні їхні властивості, найзручніше виконувати за допомогою системи розрізів чи блок-діаграм (рис. 16 – 18). Геологічні блок-діаграми слугують основою, що відображає рельєф досліджуваної території у співвідношенні з геологічними розрізами. Такі блок-діаграми придатні для зображення на них систем об'ємного опробування. Аналогічні блок-діаграми використовують для зображення виходів на денну поверхню родовищ у поєднанні з їхніми розрізами та системами опробування. Кількість блок-діаграм, а отже, і систем об'ємного опробування, зазвичай, відповідає кількості досліджуваних параметрів чи показників. Деякі з них можуть бути комплексними.

Об'ємні параметричні термобарогеохімічні системи опробування можуть бути орієнтовані у будь-якому вигідному для сприйняття положенні. Найчастіше використовують блок-діаграми у перспективних та аксонометричних проекціях (див. рис. 16–18). Якщо метою дослідження є різноманітні градієнтні вимірювання у різних напрямках, то необхідно використовувати аксонометричну проекцію як основу для об'ємного опробування, оскільки ця проекція деформує кутові співвідношення, проте зберігає горизонтальний масштаб таким, яким він є на плані. Перспективні блок-діаграми (з однією чи двома точками сходження) наочніші (див. рис. 17, 18), однак вони спотворюють (викривляють) масштаби в різних ділянках моделі, і тому за ними виконувати градієнтні вимірювання не коректно.

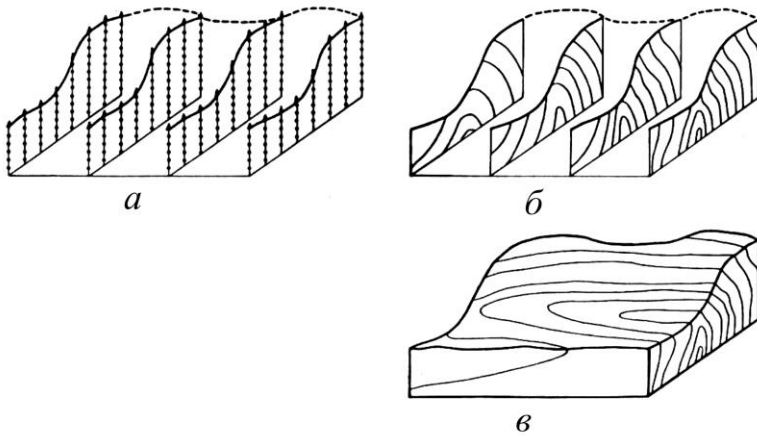


Рис. 16. Блок-діаграма у вигляді системи паралельних геологічних розрізів: *a* – опробування свердловин уздовж ліній бурових профілів; *б* – площинні моделі уздовж ліній профілювання; *в* – об'ємна параметрична модель на базі блок-діаграми.

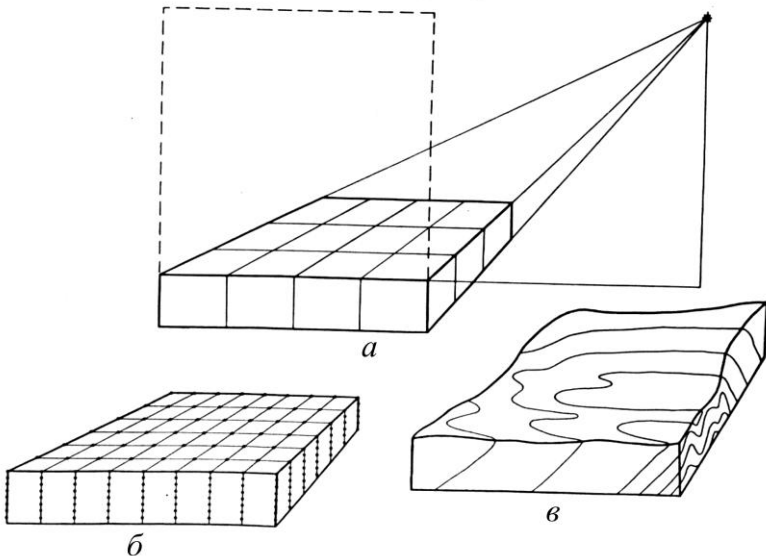


Рис. 17. Перспективна блок-діаграма з однією точкою перспективи: *a*, *б* – принципові схеми: *a* – побудови блок-основи, *б* – об'ємного опробування; *в* – об'ємна параметрична модель на базі блок-діаграми.

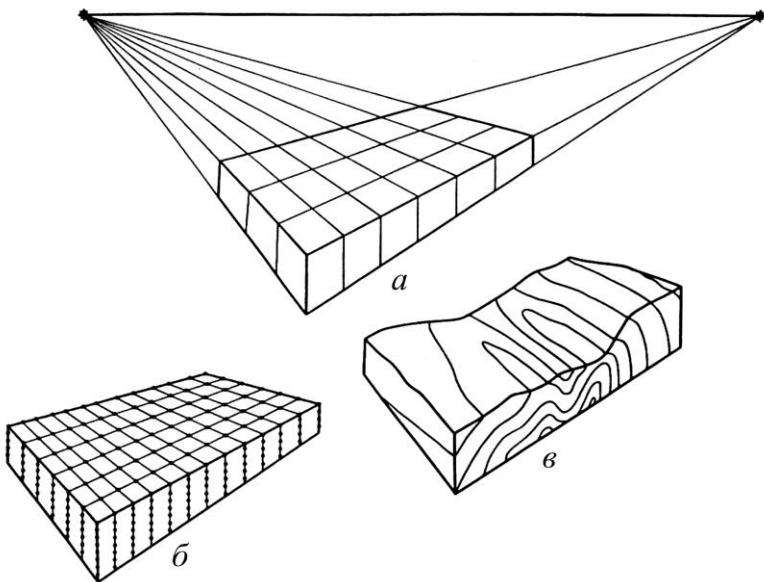


Рис. 18. Перспективна блок-діаграма з двома точками перспективи: *a, б* – принципіві схеми: *a* – побудови блок-основи, *б* – об’ємного опробування; *в* – об’ємна параметрична модель на базі блок-діаграми.

Найліпшого огляду системи об’ємного опробування та виявлених параметричних закономірностей досягають шляхом розвертання блок-діаграми за допомогою зміни розміщення точок (пунктів) перспективи. Залежно від очікуваної контрастності параметричного поля блок-діаграму можна „розтягнути” по вертикалі чи горизонталі. Інколи частини блоків на таких блок-діаграмах зображують окремо, показуючи таким способом деталі параметричного відображення процесу чи явища. На блок-діаграмах також інколи роблять “вирізи” для детальнішої ілюстрації систем об’ємного опробування та виявленої закономірності.

Опробування з метою побудови об’ємної моделі потрібно виконувати так, щоб уздовж будь-якого розрізу мінливість ознаки відповідала головним вимогам надійності опробування, застосовуваним щодо двовимірних та лінійних моделей.

## Системи спеціалізованого опробування

Особливості систем спеціалізованого опробування значно залежать від певної мети чи специфічних завдань, які не можна вирішити за допомогою перерахованих вище систем опробування. Зокрема, до таких належить опробування структурно-текстурних перетинів чи інших ситуацій у відслоненнях, забоях, штафах, керні тощо, що мають ознаки вікових співвідношень між мінералами, їхніми групами, асоціаціями, комплексами.

Переконливі результати дослідження співвідношення магматичного та гідротермального етапів формування родовищ вольфраму отримано [8] завдяки досить надійній системі відбору проб у межах досліджуваного гранітоїдного масиву (рис. 19).

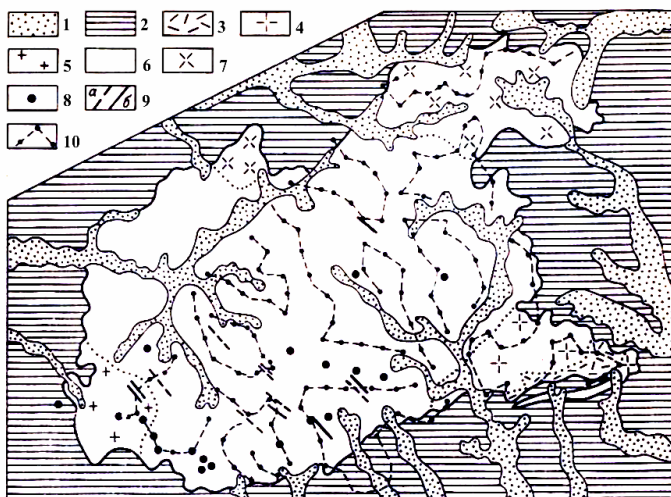


Рис. 19. Схема термобарогеохімічного опробування та геологічної будови Соктуйського масиву за Ф.Г. Рейфом: 1 – сучасні відклади; 2 – метаморфічні породи палеозою та мезозою; 3–7 – гранітоїди кукульбейського комплексу: 3 – кварцові порфіри, 4 – граніт-порфіри, 5 – порфіроподібні граніти, 6 – середньо- і крупнозернисті граніти, 7 – сієніто-діорити; 8 – родовища та рудопрояви вольфраму й олова; 9 – зони грейзенізації (а) та кварцові жили (б) з рудною мінералізацією, виявлені у процесі термобарогеохімічного картування; 10 – хід маршруту і точки опробування незмінених гранітів.



Особливо цікавим є вивчення контактів рудних тіл і вмісних порід, характер яких у багатьох випадках залежить від особливостей формування рудних тіл.

Термобарогеохімічні дослідження контактів рудних тіл та зон білярудних змін виконують для виявлення фізико-хімічних особливостей взаємодії мінералотворних флюїдів з вмісними породами. Зокрема, контактіві зони опробують навхрест до контактів. Якщо вмісними є кислі чи середні породи, які містять багато прозорих мінералів (кварц, плагіоклаз тощо), то методом гомогенізації можна виявити характер мінливості температури, тиску чи інших показників у напрямі від рудного тіла до вмісної породи. Якщо ж прозорих мінералів немає, то виявити тенденції мінливості головних термобарогеохімічних параметрів на контакті рудного тіла і вмісних порід можна тільки методом декрепітації. Відбирання проб у першому та другому випадках повинно бути максимально щільним у вмісних породах (крок відбирання проби від 10 до 50 см поблизу рудного тіла та 1–2 м з віддаленням від нього). Система опробування на значній відстані від рудного тіла може бути розріджена. Розріджування мережі опробування по лінії, перпендикулярній до контакту рудного тіла з вмісними породами, можна починати тільки на відстані, що у 15–20 разів перевищує потужність рудного тіла.

Наприклад, якщо потужність рудного тіла становить 1 м, то розрідження мережі опробування допустиме на відстані 15–20 м від контакту. Така відстань прийнята за результатами дослідно-методичних робіт, відповідно до яких потужність ореолів пропарювання вмісних порід поблизу рудних тіл частіше перевищує потужність самих рудних тіл у 10–15 разів.

Відомі також приклади більшої чи меншої потужності ореолів пропарювання. Наприклад, до розряду спеціалізованих можна зачислити системи декрептометричного опробування, подібні до використаної під час розшуків виклиненого рудного тіла (рис. 20). Під час проходження штольні уздовж жили №30 на Ірокіндинському золоторудному родовищі раптово було “загублено” рудне тіло, яке мало складне виклинювання поблизу розривного порушення. Просвердлені горизонтальні підземні свердловини не дали очікуваного результату. Декрептометричне дослідження керну цих свердловин засвідчило, що декрептоефекти, отримані для

свердловин №181, 188, 190 та 185, пов'язані з малопотужною зоною розсланцювання та мілонітизації, водночас у свердловинах 183 та 191 – з декрептоореолом у вмісних породах.

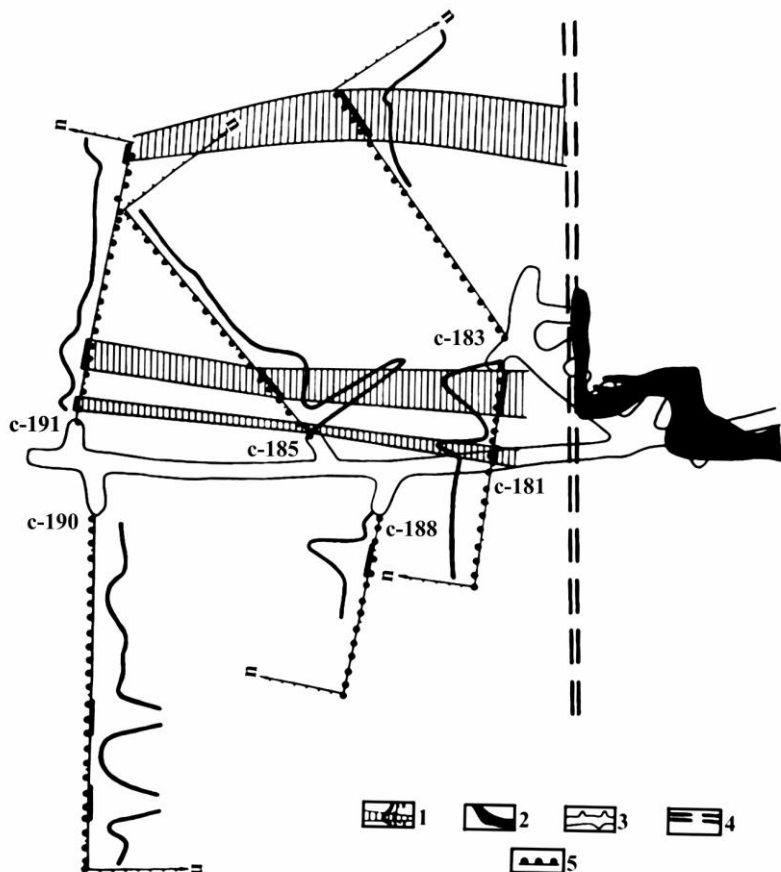


Рис. 20. Система спеціалізованого опробування керна горизонтальних підземних свердловин під час розшуків рудного тіла, що має складне виклинювання поблизу післярудного розриву та декрептоактивність вмісних порід (жила №30 Ірокіндинського золоторудного родовища): 1 – ділянки підвищеної декрептоактивності вмісних порід; 2 – рудне тіло; 3 – контур штольні, план; 4 – післярудне розривне порушення; 5 – точки відбору проб;  $n$  – кількість декрептоімпульсів.

За цими матеріалами та результатами детального дослідження розривного порушення зроблено висновок про те, що зміщена частина рудного тіла розташована поблизу забою свердловини №183, яка виявилася недобуреною (див. рис. 20).

Використана в цьому випадку система пробовідбирання повністю виправдалася, оскільки дала змогу створити надійні моделі декрептоактивності вмисних порід, а за ними – розрізнити декрептоаномалії ореола пропарювання та виробити правильні рекомендації щодо розшуків рудного тіла, які згодом підтвердилися.

### Системи дослідно-методичного опробування

Ці системи є різновидом спеціалізованого опробування. Їх використовують в умовах інформаційної непевності. Вони містять сукупності проб генетичного призначення у поєднанні з пробами, систематично відібраними у межах об'єктів, умови формування яких невідомі, і які не мають вивчених аналогів. Прикладом може слугувати фрагмент такої системи опробування поверхні жили Тулуїнської Ірокіндинського родовища Кедровського рудного району (рис. 21).

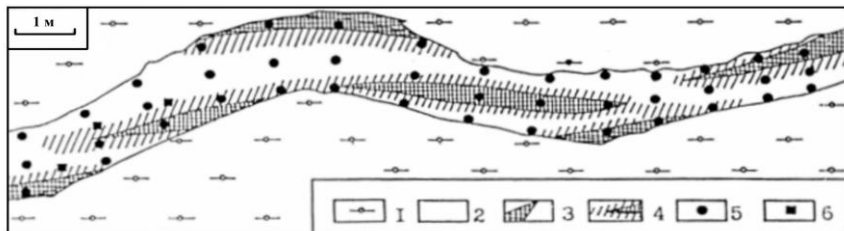


Рис. 21. Фрагмент дослідно-методичної системи опробування на поверхні жили Тулуїнської Ірокіндинського золоторудного родовища (Кедровський рудний район): 1 – парагнейси; 2 – молочно-білий кварц-III (з включеннями чистої води); 3 – темно-сірий кварц-IV (з включеннями, що містять CO<sub>2</sub>); 4 – ділянки, у які надходили флюїди четвертої порції та частково регенерували ранній кварц-III; 5 – місця взяття проб; 6 – пірит.

Особливості такого опробування полягають у тому, що кожна точка відбору є поперечним розрізом навхрест рудного тіла, тобто проби треба відбирати біля лежачого та висячого зальбандів рудного тіла, а також з центральної його частини. Ретельно дотримуючись регулярного відбирання проб за такою системою, водночас відбирають генетичні проби (різноманітні текстурні перетини, складні структурні взаємовідношення, дрібнення мінералів тощо), що дає змогу виявляти генетичні різновиди мінералів, мінеральні асоціації, мінеральні комплекси тощо та доводити послідовність їхнього відкладення.

Надійність дослідно-методичної системи опробування значно знижується, якщо не дотримуватися регулярності опробування чи не використовувати системи поперечних розрізів (тобто якщо відбирати тільки одну пробу в одному з зальбандів чи в центральній частині рудного тіла).

### **Особливості пробовідбирання гідротермальних родовищ, локалізованих у теригенних товщах**

Особливості систем термобарогеохімічного опробування гідротермальних родовищ, локалізованих у теригенних чи так званих чорносланцевих товщах, зумовлені певною їхньою специфікою і значно залежать від мінералогічного та морфогенетичного типу зруденіння, структурно-геологічних, літологічних та інших особливостей рудовмісного середовища [2].

Характерно, що у переважній кількості випадків різні, проте парагенетично пов'язані морфологічні типи зруденіння – прожилково-вкраплений, жильний, штокверковий – просторово суміщені чи утворюють своєрідну “поверховість”, водночас “коренева” прожилково-вкраплена мінералізація здебільшого за здійсненням змінюється жильним чи штокверковим типом зруденіння. Це, з одного боку, потребує певної уніфікації системи опробування на рівні родовище–рудна зона (рудне поле). З іншого боку, для кожного з перерахованих типів характерна різна інтенсивність зруденіння, особливості локалізації, речовинний склад тощо, що, зазвичай, зумовлює потребу диференційованого підходу щодо опробування на рівні *рудне тіло–ділянка родовища*. Тому вся система опробування (і крок опробування) залежить від переважаючого на певному гіпсометричному рівні морфологічного

типу зруденіння, а також від особливостей розвідувальної системи. Суміщення поверхневих (канави, шурфи, розчистки) та підземних (штреки, штольні тощо) гірничих виробок з системою свердловинних розрізів є оптимальним для термобарогеохімічного опробування, об'єктів цього типу.

На багатьох родовищах (наприклад, таких золоторудних родовищах, як Сухий Лог, Бакирчик, Даугизтау та ін.) для визначення якості руд використовують систему свердловинних розрізів навхрест простяганню рудовмісних зон чи рудних покладів (приблизно 500 на 100 м) у поєднанні з окремими поверхневими, а інколи й підземними виробками.

На жаль, така система дає змогу виявити тільки загальні тенденції просторової мінливості головних фізико-хімічних параметрів мінералотворного процесу. За такої ситуації як еталонні використовують (вибирають) такі об'єкти, для яких характерне суміщення різноманітних гірничих виробок, що забезпечує необхідну повноту, неперервність, плавність та рівномірність їхнього опробування. Під час вивчення еталонних об'єктів також треба прагнути опробувати більшість рудних тіл незалежно від їхньої промислової цінності для подальшого виявлення тенденцій мінливості головних фізико-хімічних параметрів мінералотворного процесу і розробки розшуково-оцінних критеріїв.

Для цього типу зруденіння характерні певні генетичні особливості. Показовими є родовища золота, у межах яких золоте зруденіння тісно пов'язане як з ранніми сульфідами, так і з жильним кварцом. За Ю.В. Ляховим, для таких родовищ характерні два механізми відкладання золота: перший – на електрохімічно активні сульфіди, другий – відкладання у вільному стані за відповідних *РТХ*-умов. Також цьому типу зруденіння властивий зв'язок промислових концентрацій золота з ділянками інтенсивного окварцування і метасоматозу, і, відповідно, нерівномірне поширення металу. Це зумовлює необхідність значного ущільнення систем термобарогеохімічного опробування та скорочення кроку опробування до 2–3 м.

### **3. Визначення та оптимізація кроку термобарогеохімічного опробування**

Надійне моделювання фізико-хімічних процесів ендегенного мінералоутворення за дослідженням включень у мінералах може ґрунтуватися тільки на оптимальному системному відбиранні термобарогеохімічних проб.

Головним завданням оптимізації щільності систем просторового термобарогеохімічного опробування геологічних об'єктів є достатньо повне виявлення реальної мінливості досліджуваного показника чи параметра в їхніх межах протягом нетривалого часу й за умови найменших зусиль та коштів.

Багаторічний досвід термобарогеохімічних досліджень на ендегенних родовищах різноманітних корисних копалин свідчить, що для виявлення реальної мінливості фізико-хімічних умов мінералоутворення і моделювання просторової (температурної, баричної чи іншої) параметричної зональності проби треба відбирати з достатньою щільністю. З іншого боку, очевидно, що занадто щільні системи опробування нераціональні, оскільки потребують додаткових затрат не тільки сил і часу, а й адекватних (зайвих) обсягів аналітичних і експериментальних досліджень, які переважно не дають оригінальної інформації. Це спонукає до оптимізації кроку термобарогеохімічного опробування.

Імовірно, будь-який розподіл значень параметричних характеристик, виявлений методами термобарогеохімії у межах досліджуваних об'єктів, зумовлений особливостями флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистем. Чим вони були складнішими і чим довше в них відбувалися процеси мінералоутворення, тим складніші картини залишкових (за складом флюїдів у включеннях) та параметричних (за РТ-показниками дослідження включень) полів у них виявляють і, навпаки, у простіших відкритих флюїдодинамічних палеосистемах існували монотонні теплові поля, що характеризують спокійні умови мінералоутворення і плавніші неінтенсивні просторові зміни фізико-хімічних параметрів, зокрема температури.

Результати дослідження просторової палеотемпературної зональності умов мінералоутворення на багатьох ендегенних родовищах свідчать, що значення температури гомогенізації

включень однієї генерації уздовж ліній розрізів рудних тіл (штреків, штолень тощо), зазвичай, поступово підвищуються чи знижуються в тому чи іншому напрямі. Водночас у поперечних розрізах флюїдних палеопотоків чи палеоструменів часто виявляють умови порівняно плавної зміни цього параметра на верхніх горизонтах рудних тіл і стрімкішого, інтенсивного – на нижчих [1, 9]. У обох випадках у перетині флюїдних палеопотоків чи струменів найчастіше простежуються чергування ділянок підвищення верхньої межі температури і ділянок її зниження (наприклад, рис. 22). Тому звичною є мінливість температури, що має вигляд хвилеподібних, неперіодичних кривих, амплітуда та довжина хвилі у яких значно коливаються, і на різних ділянках для них характерна різна дисперсія значень досліджуваного параметра (див. рис. 22).

Як свідчить досвід, у природних системах ідеальний гармонійний розподіл значень будь-яких фізико-хімічних параметрів, зокрема й температури (за результатами гомогенізації включень), уздовж якої-небудь лінії розрізу рудного тіла чи іншого геологічного об'єкта малоїмовірний. Однак близький до нього розподіл ознаки можливий. Він не типовий, проте все ж іноді його простежують в обмеженому лінійному просторі, наприклад, у межах рудних об'єктів, сформованих у флюїдопідвідних тріщинах сколу в ізотропному середовищі [4, 5].

### **Вибір оптимального кроку опробування за гармонійного розподілу ознаки**

Для такого типу розподілу ознаки з метою забезпечення надійного виявлення мінливості параметра уздовж окремої лінії дослідження параметричного поля ми вивчали можливість оптимізації кроку відбирання проб за допомогою імітаційного моделювання. Задана (що імітує реальну) мінливість має вигляд гармонійної кривої, максимально близької за формою до синусоїди (рис. 23, 1).

Синусоїду вибирають як імітаційну модель з тієї причини, що для неї, як і для будь-якої іншої неперіодичної і негармонійної параметричної функції, що відображає мінливість значень певного (чи заданого) параметра в лінійному просторі, характерний приріст чи втрачання ознаки, точки екстремумів (у вершинах

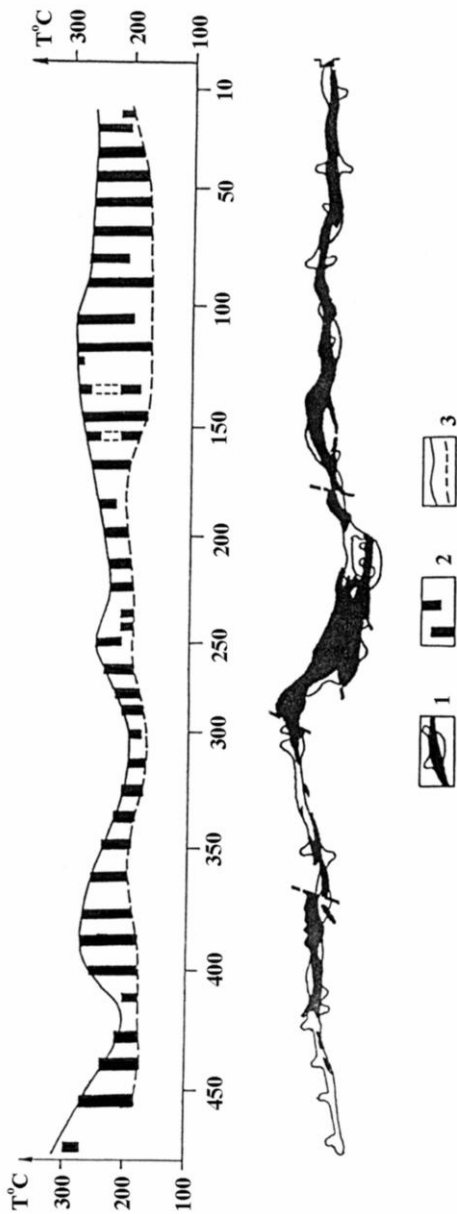


Рис. 22. Хвиляста неперіодична крива мінливості верхньої температурної межі гомогенізації включень (жила №33, горизонт штольні №9, Ірокіндинське золоторудне родовище, Кедровський рудний район): 1 – рудне тіло та гірничі виробки; 2 – температурні діапазони гомогенізації включень продуктивної порції флюїдів; 3 – криві мінливості верхньої (суцільна лінія) та нижньої (штрихова) межі температури гомогенізації включень.



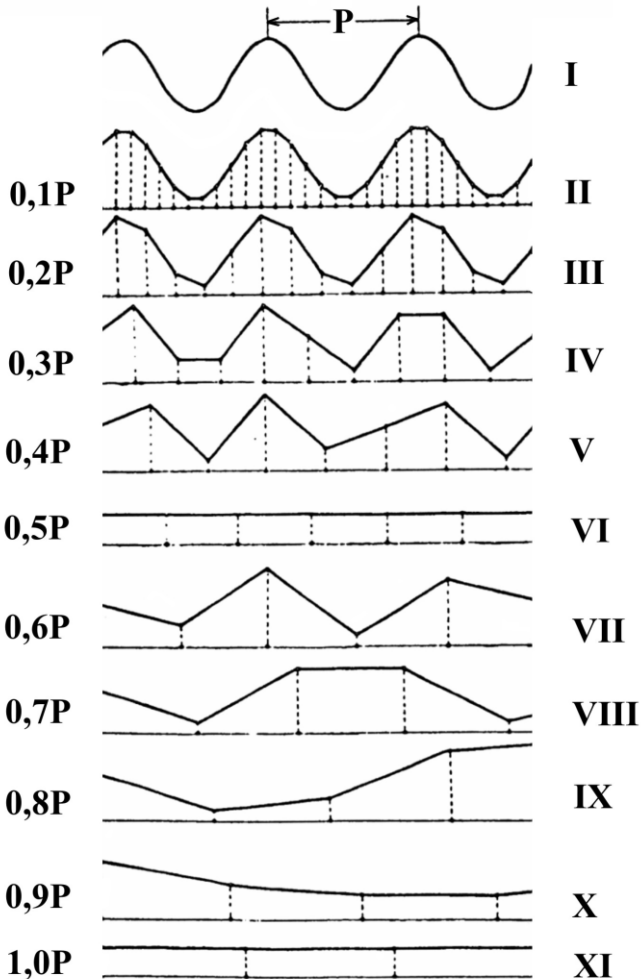


Рис. 23. Імітаційне моделювання вибору оптимального кроку опробування за гармонійного розподілу ознаки.  $P$  – період гармоніки;  $0,1P$ – $1,0P$  – крок опробування щодо періоду мінливості ознаки;  $I$  – задана (що імітує реальну) гармонійна мінливість ознаки у лінійному просторі;  $II$ – $XI$  – модельні криві, отримані під час поступового розрідження (від  $0,1P$  до  $1,0P$ ) функціонально (гармонійно) пов’язаних точок.

максимумів чи мінімумів таких кривих), плавні або стрімкі екстремальні перегини тощо. Водночас такі важливі топологічні властивості лінійного простору, як суцільність, неперервність і плавність, однаково притаманні як періодичній (синусоїді), так і неперіодичній функціям. Не менш важливо й те, що будь-яку неперіодичну функцію під час гармонійного аналізу можна розкласти на суму періодичних і гармонійних. Отже, властивості неперіодичних, негармонійних функцій також можна досліджувати за допомогою гармонійного аналізу. Зазначимо, що гармонійність синусоїди набуває в цьому дослідженні особливого значення тому, що вона відіграє роль власної форми лінійної мінливості змінності параметра досліджуваного імітованого параметричного поля.

Спочатку розглянемо синусоїду (див. рис. 23, I) як дискретну сукупність функціонально пов'язаних точок, закономірно розташованих у просторі, які перебувають на безмежно малій відстані одна від одної. Таке розташування точок забезпечує сприйняття всієї їхньої сукупності у вигляді суцільної, безперервної, плавної і гармонійної лінії. Якщо поступово розріджувати таку систему функціонально пов'язаних точок, збільшуючи відстані між сусідніми точками на однакове значення, то у відповідну мить суцільність, безперервність і плавність синусоїди порушиться (див. рис. 23). Після досягнення між сусідніми точками деякої відстані (I), такої, наприклад, що становить 0,1 довжини періоду (див. рис. 23, II), можна помітити, що головна топологічна характеристика синусоїди – гармонійність – зберігається, незважаючи на те, що порушена її суцільність і безперервність. Вона також зберігається та впізнається і після збільшення відстані між сусідніми точками до 0,2 довжини періоду (див. рис. 23, III); після збільшення цього кроку до 0,3–0,4P (див. рис. 23, IV, V) гармонійність синусоїди починає втрачати свої топологічні риси, а коли відстань між точками становить більше половини періоду (0,5–1,0P), то виникає помилкова картина мінливості ознаки (див. рис. 23, VI–XI).

Очевидно, що після поступового розрідження імітаційної мережі характеристичних точок, які відображають її функціональну просторову залежність уздовж лінії дослідження синусоїди, головна топологічна характеристика (гармонійність) синусоїди зберігається і добре виявляється доти, доки не порушується плавність

функціональних зв'язків між сусідніми точками (тобто ще за  $l = 0,2P$ ; див. рис. 23, III).

Варто також звернути увагу на те що, при  $l = 0,2P$  на довжину періоду синусоїди припадає шість характеристичних точок (див. рис. 23, III та рис. 24, а, б), а за  $l = 0,1P$  – одинадцять (рис. 25).

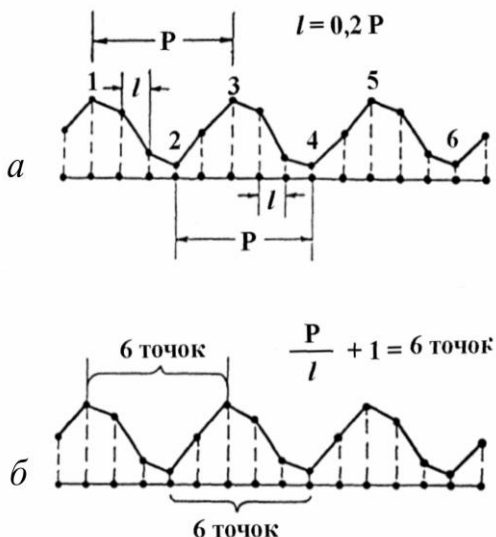


Рис. 24. Упізнаваність гармонійності синусоїдної функції ознаки за довжини кроку опробування ( $l$ ), яка дорівнює  $0,2P$  (фрагменти рис. 23); а – співвідношення довжини кроку опробування та періоду функції (цифрами 1–6 зазначено екстремальні перегиби на кривій); б – відповідні кількості точок опробування, які припадають на один період.

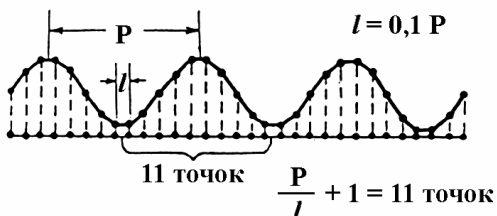


Рис. 25. Упізнаваність гармонійності синусоїдної функції за довжини кроку опробування, яка дорівнює  $0,1P$  (фрагмент рис. 23).

В обох випадках головна топологічна функціональна закономірність синусоїди (її гармонійність) добре зберігається і легко впізнається, особливо якщо  $l = 0,1P$ . За  $l = 0,2P$  її плавність дещо втрачається, крива стає ламаною, проте за нею синусоїду ще можна впізнати, хоч і з меншою впевненістю. Таку щільність мережі характеристичних точок можна трактувати як задовільну для виявлення функціональної мінливості ознаки за умови гармонійного її розподілу в лінійному просторі.

Якщо щільність мережі зменшується до чотирьох і менше характеристичних точок на один період синусоїди (див. рис. 23, IX–XI), то між ними втрачається топологічна і функціональна єдність, а отже, за такої їхньої щільності неможливо виявити справжню, гармонійну мінливість ознаки.

Як бачимо, для вибору оптимальної мережі опробування за гармонійного розподілу ознаки відстані між найближчими мінімумами чи максимумами (або відстані між сусідніми додатними чи від'ємними екстремумами), що дорівнюють періоду гармонійної функції, повинні бути схарактеризовані не менше, ніж шістьма точками, тобто надійну щільність мережі опробування характеризує вираз

$$\frac{P}{l} + 1 > 6$$

Ця величина не залежить від таких характеристик синусоїди, як амплітуда коливання значень досліджуваної ознаки. Важливість цієї закономірності полягає в тому, що вона дає змогу виявляти залежність розподілу реальних, функціонально пов'язаних значень досліджуваного параметра і визначати оптимальні відстані між ними не тільки для синусоїд із різними періодами (довжинами хвиль), а й для інших неперіодичних мінливостей термобарогеохімічних ознак під час їхнього гармонійного аналізу.

### **Вибір оптимального кроку опробування за реального неперіодичного, негармонійного розподілу ознаки**

Аналогічний до наведеного вище геометричний аналіз виконано стосовно неперіодичних і негармонійних кривих, що відображають реальний розподіл температури мінералоутворення за даними гомогенізації включень у кварці уздовж штольневих горизонтів низки

великих рудних тіл на жильних родовищах золота Північної Бурятії, Забайкалля і Східного Саяну. Побудовано численні (понад 40) лінійні моделі, що відображають характер мінливості температури мінералоутворення уздовж виходів рудних тіл на денну поверхню і на їхніх перетинах на рівні штольневих горизонтів. Водночас використано регулярну дослідно-методичну систему опробування. У штольні 17 жили Тулуїнської Ірокіндинського золоторудного родовища 550 м рудного тіла уздовж за простяганням опробувані через 2 м, на інших штольневих горизонтах (№ 14–16, 18) це рудне тіло опробуване через 5 м. Аналогічний регулярний крок опробування використано під час термобарогеохімічного вивчення жил Юрасівської (горизонти штолень 6, 8), Серебряковської (горизонти штолень 10–12), Петровської (горизонти штолень 1, 3, 5), №30 (горизонти штолень 9, 13) та ін.

Зазначимо, що кожна точка опробування є коротким поперечним перетином навхрест простягання рудного тіла, тобто проби відбирали з лежачого і висячого зальбандів жил, а також із їхньої центральної частини, де іноді траплялися головки кварцових друз, що кристалізувалися наприкінці формування рудного тіла. Ретельно дотримуючись регулярності відбирання проб за цією системою, водночас відбирали проби генетичного призначення (різні текстурні перетини, складні структурні співвідношення мінералів, подрібнені та брекчіювані руди тощо), що дало змогу під час аналізу виявити генетичні різновиди мінералів чи їхніх асоціацій і з'ясувати послідовність їхнього відкладання. Водночас такий підхід дає змогу визначити належність флюїдних включень, використаних з термометричною метою, до єдиної генерації.

Високу надійність генетичної єдності цих включень обґрунтовує ще й те, що за складом і температурою гомогенізації вони виразно відрізняються від раніших та пізніших. У включеннях цієї генерації законсервовані середньотемпературні (330–170°C) флюїди, що містять до 90–100% CO<sub>2</sub>.

На відміну від них, раніші високотемпературні (460–310°C) флюїди були суттєво водними, слабкоконцентрованими, тому що CO<sub>2</sub> у включеннях не виявлявся за охолодження до 4–5°C, а критичні явища під час їхньої гомогенізації відбувалися за температури 374°C. Пізніші тепловодні (130–70°C) флюїди також легко діагностували у включеннях і не використовували під час моделювання.

За результатами досліджень побудували понад 40 лінійних моделей, що відображають характер мінливості температури гомогенізації включень продуктивних флюїдів у просторі. Кожну лінійну модель створювали за статистично надійними кількостями досліджуваних включень цієї генерації. Наприклад, генеральна речовинно-параметрична вибірка включень, використана для побудови палеотемпературної та інших термобарогеохімічних моделей, у межах жили Тулуїнської містила понад 3 500 аналізів. Особливо зазначимо, що під час дослідження реальних неперіодичних і негармонійних емпірично виявлених розподілів параметрів у лінійному просторі не можна використати поняття періоду, оскільки у них періоду як характеристичної величини нема. Тому для їхнього аналізу ми застосували такі поняття, як відстань між точками екстремальних перегинів у мінімумі чи максимумі між сусідніми додатними чи від'ємними екстремумами.

Результати вивчення температурних умов мінералоутворення уздовж горизонту штольні 9 жили 30 Ірокіндинського родовища (рис. 26) свідчать, що за умови щільності опробування 10 м для варіаційної кривої верхньої межі температури гомогенізації включень характерна порівняно плавна зміна, і тільки в біляфланговій ділянці рудного тіла в інтервалі 400–450 м вона дещо ламана (див. рис. 26, I). Водночас виразно виявляються три порівняно плавні перегини в екстремальних ділянках максимальних значень температури (1–3) і три – у мінімальних (4–6). Важливо також, що чим більшою кількістю точок опробування схарактеризована ділянка між сусідніми екстремальними перегинами (у мінімумі чи максимумі, наприклад, 1-4-2, 2-5-3, 6-3-5, 5-2-4), тим плавніша і природніша функціональна мінливість ознаки у досліджуваному просторі. Екстремальний перегин 7-1-4 схарактеризований 18 точками опробування, і плавність зміни функціональної ознаки тут очевидна. Далі в межах перегинів 1-4-2, 4-2-5, 2-5-3, 4-3-6, де кількість точок опробування коливається від 13 (перегин 1-4-2) до 8 (перегин 4-2-5), також виявляється плавна функціональна мінливість ознаки.

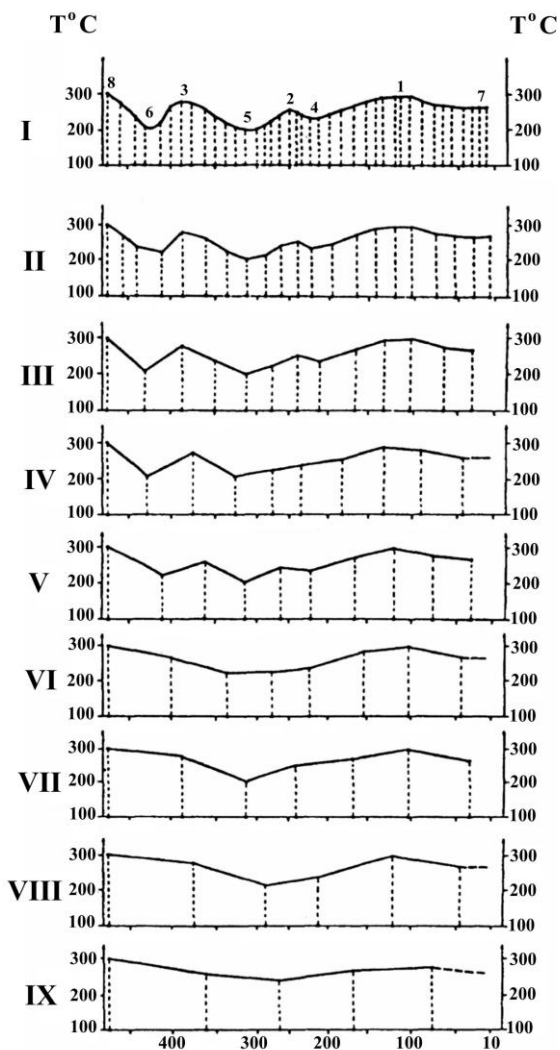


Рис. 26. Імітаційне моделювання вибору оптимального кроку опробування за реального негармонійного, неперіодичного розподілу ознаки (верхньої температурної межі гомогенізації включень) на рівні горизонту штольні 9 жили 30 Ірокіндинського золоторудного родовища (Кедровський рудний район).

Загалом аналіз мінливості верхньої межі температури гомогенізації включень уздовж горизонту штольні 9 дає змогу вважати, що за щільності опробування 10 м для неї характерний надійний функціональний зв'язок між значеннями ознаки, що з високим наближенням відображає реальну палеомінливість температури у досліджуваному просторі.

За умови розрідження такої мережі опробування до 20 м між сусідніми пробами плавність функціональних зв'язків зберігається тільки в межах екстремальних перегинів 7-1-4, 2-5-3 і частково 1-4-2.

Інші перегини стають менш відповідними. Мінімум 6 (перегин 3-6-8) зміщений на 15 м у бік устя штольні (див. рис. 26, II). Досвідчений спеціаліст знає, що таке відхилення від реального розміщення рудного стовпа за струменевого розподілу корисного компонента може призвести до необгрунтованої невдачі під час завіряння результатів локального прогнозування чи оцінювання перспективності рудного тіла свердлуванням.

Після збільшення кроку опробування до 30–40 м (див. рис. 26, III, IV) плавність функціонального зв'язку між значеннями досліджуваної ознаки зберігається тільки в межах перегину 7-1-4, а контури інших перегинів на ламаній кривій або слабо вгадуються (див. рис. 26, III), або їх цілком нема (перегини 1-2-4, 4-2-5; див. рис. 26, IV). Подальше розрідження мережі опробування тільки підсилює спотворення реальної картини мінливості цієї ознаки (див. рис. 26, IV–IX). Отже, найбільше наближену до реальної модель мінливості ознаки в розрізі рудного тіла уздовж штольні 9 отримано в разі опробування через 10 м. Загальна картина мінливості ознаки зберігається також за опробування через 20 м. Однак подальше розрідження мережі опробування неприпустиме, оскільки одержані тоді картини формують помилкове уявлення про мінливість ознаки в межах досліджуваного простору.

По горизонту штольні 18 жили Тулуїнської опробування виконано через 5 м (рис. 27). На підставі результатів гомогенізації включень побудовано функціональну криву мінливості верхньої межі температури за простяганням рудного тіла (див. рис. 27). Виявлено три екстремальні перегини кривої в межах максимальних значень температури (1–3) і два – у мінімальних (5, 6).



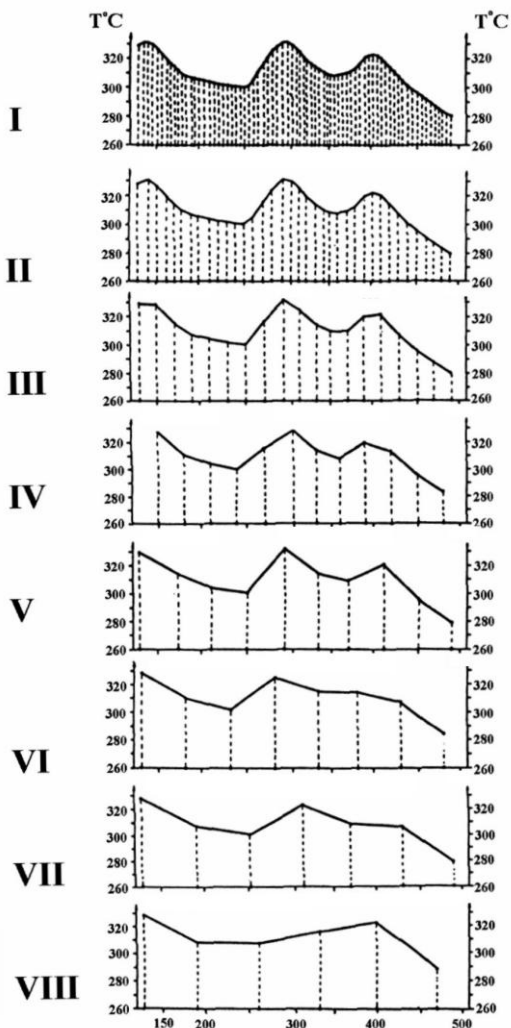


Рис. 27. Імітаційне моделювання вибору оптимального кроку опробування за реального негармонійного, неперіодичного розподілу ознаки (верхньої температурної межі гомогенізації включень) на рівні горизонту штольні 18 жили Тулуїнської Ірокіндинського золоторудного родовища (Кедровський рудний район).

За такої щільності мережі опробування для кожного екстремального перегину характерна значна кількість точок (від 22 до 31). Імовірно, що за умови щільнішої мережі ми не одержали б оригінальної інформації щодо характеру мінливості досліджуваної ознаки. У разі розрідження мережі опробування до 10 м екстремальні перегини також схарактеризовані значною кількістю (від 12 до 16) точок (див. рис. 27, II), а функціональні зв'язки між сусідніми значеннями ознаки – досить доброю плавністю. Після подальшого збільшення кроку опробування до 20 м крива мінливості верхньої межі гомогенізації включень стає ламаною, а перегин у точці 3 нівелюється. Як бачимо, така мережа опробування спричинює втрату інформації, незважаючи на те, що для мінливості ознаки уздовж горизонту штольні 18 не характерна висока інтенсивність. Розрідження мережі опробування до 30–40 м між сусідніми точками, як і в попередньому прикладі, призводить не тільки до нівелювання перегину в точці 3, а й до суттєвого зміщення точок екстремальних перегинів. Такі зміщення негативно впливають на інтерпретацію отриманих даних, особливо на надійність екстраполяції виявлених закономірностей углиб, у ділянки, недоступні для безпосереднього спостереження. Подальше розрідження мережі опробування (див. рис. 23, IV–VIII) може призвести тільки до втрати інформації і спотворення реальної картини мінливості ознаки.

Отже, під час термобарогеохімічного вивчення реальних, негармонійних і неперіодичних мінливостей фізико-хімічних параметрів у палеосистемах мінералоутворення оптимальну мережу опробування можна вибирати за результатами імітаційного моделювання.

На підставі геометричного аналізу імітаційної моделі (синусоїди) і аналізу реальних просторових імітаційних моделей мінливості температури гомогенізації включень виведено своєрідний критерій геометричної подібності (відповідності) реальних тенденцій і закономірностей зміни термобарогеохімічних параметрів у флюїдних полях до тих закономірностей мінливості ознак, які ми вважаємо їхніми моделями за результатами дискретного, вибіркового вивчення. Оптимальною можна вважати таку щільність опробування, за якої відстань між найближчими екстремальними перегинами з однаковим знаком схарактеризовано не менше ніж 50

шістьма точками, тобто таку щільність мережі опробування, яку описує вираз

$$\frac{P_e}{l} + 1 > 6,$$

де  $P_e$  – відстань між точками екстремальних перегинів з однаковим знаком.

Очевидно, запропонований критерій не є універсальним, однак за його допомогою разом з іншими критеріями можна вибрати оптимальну мережу опробування і контролювати надійність систем опробування.

### **Щодо оцінки надійності систем опробування за допомогою імітаційного моделювання**

Як зазначено вище, виявлену закономірність можна використати не тільки для оптимізації систем опробування, а й як своєрідний критерій геометричної подібності для оцінки їхньої надійності. З цією метою виконують імітаційний геометричний аналіз неперіодичних та негармонійних функціональних зв'язків між значеннями показників, отриманих під час звичайного термобарогеохімічного дослідження просторової мінливості фізико-хімічних умов мінералоутворення.

Зазначимо, що емпіричні криві, які характеризують мінливість термобарогеохімічних властивостей досліджуваних природних систем, будують за результатами стохастичних за своєю суттю виміряних параметрів. Тому хвилеподібні варіаційні криві мінливості термобарогеохімічних ознак у лінійному просторі є своєрідними вибірками випадкових значень цих ознак уздовж досліджуваних ліній (див. рис. 22). Для досліджень в умовах інформаційної невизначеності, коли дослідник розпочинає вивчення геологічного об'єкта (рудного тіла) треба максимально ущільнити мережу опробування, оскільки за таких ситуацій інформація не буває зайвою, хоч занадто сильне зближення точок теж недоцільне. Однак, з іншого боку, як доведено вище, недостатня щільність мережі опробування може дати помилкове уявлення про реальну тенденцію мінливості досліджуваної ознаки. Тому на першому етапі робіт під час вивчення еталонних об'єктів особливо важливими є оптимізація і контролювання надійності мережі опробування, зокрема, й за допомогою критерію геометричної подібності. Якщо

досліджуваний об'єкт вивчений недостатньо, і його формаційна належність не ясна, то спочатку використовують достатньо щільну (крок опробування 2–5 м) дослідно-методичну систему опробування. Після виявлення особливостей просторової мінливості значень того чи іншого параметра в межах досліджуваного об'єкта оцінюють надійність системи опробування за допомогою **критерію геометричної подібності**  $\frac{P_e}{l} + 1 > 6$ . Процедура такої оцінки

проста. Для цього використовують закономірність, виявлену під час геометричного імітаційного експерименту з синусоїдою і неперіодичними емпіричними кривими, відповідно до якої картину реального функціонального зв'язку між значеннями ознаки в досліджуваному параметричному полі надійно можна виявити тільки за умови, що відстань між сусідніми точками, в яких вимірювали його значення, не перевищує  $0,2P$  (для синусоїди), а кожний новий максимум чи мінімум (відстань між сусідніми додатними чи від'ємними екстремумами на емпіричних кривих) схарактеризовані не менше ніж шістьма точками.

У межах лінії опробування уздовж виявленої мінливості ознаки знаходять притаманні їй характеристичні мінімуми, максимуми, ділянки приросту чи зменшення ознаки, екстремальні точки перегинів тощо (див. рис. 26, 27). Якщо відстані між сусідніми додатними (чи від'ємними) екстремумами цієї кривої схарактеризовані понад шістьма точками опробування, тобто якщо крок опробування становить менше 0,2 довжини кожної конкретної хвилі досліджуваної емпіричної закономірності (одержаної емпіричної варіаційної кривої), то така мережа опробування є надійною. Якщо ж між сусідніми максимумами чи мінімумами на досліджуваній кривій менше шести точок опробування, а крок опробування, відповідно, більше 0,2 ближньої хвилі варіаційної кривої, то таку мережу треба ущільнити. Її не можна визнати надійною доти, доки дискретне розміщення точок опробування (досліджених значень ознаки) за даними наведеної системи не набуде плавних функціональних зв'язків (тобто шість чи більше точок опробування) між сусідніми додатними чи від'ємними екстремумами.

Якщо для досліджуваного об'єкта вже побудовані еталонні моделі, то опробування нових рудних тіл виконують відповідно до визначеної на еталоні надійної мережі.

Проте внаслідок того, що розподіл параметричних характеристик може значно варіювати на різних ділянках навіть добре вивчених родовищ і мати різне значення дисперсії ознаки, у кожному такому випадку теж потрібно оцінювати надійність системи опробування.

Для цього вздовж емпіричної кривої мінливості ознаки, виявленої в досліджуваному просторі за допомогою еталонної системи опробування, визначають ділянки приросту чи зменшення ознаки, місця функціональних перегинів, де є максимальні чи мінімальні значення досліджуваного параметра. Потім за допомогою наведеного вище імітаційного моделювання та критерію геометричної подібності оцінюють надійність використаної системи опробування.

Зазначимо, що в кожному окремому випадку і за кожною досліджуваною лінією оцінка надійності опробування обов'язкова. Без цього жодну лінійну модель мінливості термобарогеохімічної ознаки в межах досліджуваного простору не можна вважати надійною. Завдання полягає у тому, щоб виявити оптимальні шляхи вирішення питань опробування й отримати найліпший результат.

На перший погляд, аналіз складних неперіодичних функцій та оцінювання надійності систем їхнього опробування за допомогою імітаційного моделювання можуть видатися досить складними і громіздкими. Однак за умови використання ЕОМ вирішення таких завдань значно спрощене.

Отже, стосовно розглянутих вище проблем термобарогеохімічного опробування необхідно зазначити, що досвід моделювання просторової мінливості фізико-хімічних умов мінералоутворення на багатьох різнотипних родовищах золота, вольфраму, молібдену, олова, свинцю, цинку та багатьох інших ендегенних родовищ корисних копалин приводить до загального, вельми важливого за раціональністю та простотою висновку: для побудови достовірних просторових термобарогеохімічних моделей з успіхом можна використати систему опробування, яку застосовують на золоторудних родовищах під час оцінювання запасів корисного компонента. Цей висновок ґрунтується на тому, що проби для виявлення рудних стовпів за допомогою пробірного аналізу також

відбирають за дискретною мережею, проте з обов'язковим урахуванням інтегративності (неперервності та плавності) розподілу корисних компонентів у рудних тілах. Таким системам опробування завжди властива достатня щільність у забезпеченні виявлення підвищеного вмісту корисної копалини в рудних тілах.

Оскільки рудні стовпи за розмірами завжди менші, ніж флюїдні палеопотоки, у межах яких вони сформувалися, то і щільність відбирання термобарогеохімічних проб однакова або є більшою від щільності систем опробування, які використовують для підрахунку запасів корисних копалин на еталонних об'єктах. А це означає, що, наприклад на золоторудних родовищах система опробування на золото повністю забезпечує надійність термобарогеохімічного моделювання і правомірність наступного прогнозування. Іншими словами, високої достовірності моделювання та прогнозування досягають, якщо крок відбирання термобарогеохімічних проб є однаковим або меншим від кроку опробування під час підрахунку запасів.

Особливо зазначимо, що *будь-яка система опробування повинна містити в собі статистично значиму кількість проб, а кожна точка опробування повинна бути схарактеризована статистично значимою кількістю аналізів.* За оцінками дослідників, статистичний мінімум містить 23 значення ознаки у вибірці. За меншої кількості значень у вибірці її статистична значимість стрімко зменшується.

Під час фізико-хімічного моделювання досліджуваних флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистем необхідно дотримуватися описаних вище основ термобарогеохімічного опробування.

#### **4. Головні принципи термобарогеохімічного опробування та моделювання**

Для розробки надійного комплексу прогнозно-розшукових термобарогеохімічних критеріїв та ефективного прогнозування ендегенних родовищ використовують певний алгоритм термобарогеохімічних досліджень, що містить принципи насамперед термобарогеохімічного опробування і речовинного та параметричного моделювання фізико-хімічних умов мінералоутворення. За умови використання та дотримання головних принципів під час термобарогеохімічного опробування та моделювання можна досягти

необхідної та достатньої достовірності термобарогеохімічних досліджень, а також їхньої економічної ефективності.

Суть цих принципів полягає у забезпеченні достатньо повної інформації про досліджуваний об'єкт з використанням доцільного, у кожному окремому випадку, комплексу методів термобарогеохімії. Розглянемо найважливіші з них.

Принцип повноти дослідження потребує виявлення та висвітлення з необхідною детальністю особливостей формування всього досліджуваного об'єкта з часом та у просторі. Результати дослідження повинні обґрунтувати оцінку не тільки розвіданих, а й прогнозних ресурсів родовищ. Для цього досліджуваний об'єкт потрібно опробувати з такою детальністю, яка може забезпечити необхідну інтегрованість досліджуваних параметрів під час моделювання. З одного боку, для виявлення послідовності формування руд з часом треба відібрати проби всіх мінералів або мінеральних груп (асоціацій, комплексів), звертаючи особливу увагу на ті, що дають змогу обґрунтувати порядок їхньої кристалізації і за допомогою методів прикладної термобарогеохімії виявити послідовність усіх явищ та процесів, які зумовили формування руд. З іншого, – цей принцип потребує просторового моделювання процесів мінералоутворення не тільки за допомогою лінійних чи площинних, а й, обов'язково, об'ємних моделей. Як відомо, достатньо повного дослідження родовищ загалом можна домогтися тільки на стадіях розвідувальних та експлуатаційних робіт.

Принцип рівномірності (однакової достовірності). Висока достовірність результатів дослідження безпосередньо залежить від детальності та рівномірності систем відбирання проб, на яких ґрунтується моделювання. Водночас досягнення необхідної детальності та надійності моделювання залежить від гірничо-технічних умов, особливостей локалізації різних генетичних типів зрудення. Оскільки гірничо-технічні умови на різних стадіях геологорозвідувального процесу суттєво відрізняються, то, відповідно, і рівномірність (однакова достовірність) дослідження може суттєво відрізнятись, однак за будь-яких умов висновки чи інтерпретація отриманих результатів повинні ґрунтуватися на однаково достовірних (рівномірних) матеріалах. Оскільки ступінь детальності дослідження також безпосередньо залежить від особливостей будови досліджуваного об'єкта, то вельми суттєвою

вимогою цього принципу є врахування не тільки гірничо-технічних умов, а й речовинних чи параметричних нерівномірностей в умовах підвищеної складності досліджуваного об'єкта. Ці її вимоги досягають детальним дослідженням складнобудованих його ділянок. Якщо детальність дослідження та складність об'єкта враховані та надійно ув'язані, то цим досягають однакової достовірності створюваних моделей.

Отже, головних вимог цього принципу можна досягти за умов:

- а) рівномірного розподілу гірничих виробок;
- б) рівномірного опробування (крок опробування тощо);
- в) використання однакових технічних (аналітичних) засобів;
- г) використання однакових методик дослідження в межах усього об'єкта.

**Принцип регулярності.** В процесі моделювання властивостей досліджуваного об'єкта домагаються регулярності розподілу точок спостереження шляхом опробування та термобарогеохімічного дослідження. Регулярність розподілу точок опробування та дослідження досягають геометрично (математично) правильним їхнім розміщенням у межах досліджуваного простору. Такий регулярний розподіл точок опробування та аналітичних даних забезпечує достатню інформативність та надійність побудованих на їхній підставі моделей досліджуваних об'єктів (процесів чи явищ). Навпаки, нерегулярний розподіл точок опробування та значень досліджуваної ознаки, властивості чи параметра знижує інформативність та надійність моделювання, а отже, й прогнозування. До аналогічного результату призводить також беззастережне трансформування нерегулярних систем опробування, спостереження та дослідження в регулярні шляхом інтерполяції або інших способів.

**Принцип послідовних наближень.** Необхідної повноти, рівномірності та достовірності результатів термобарогеохімічного дослідження геологічних об'єктів досягають у процесі послідовного вивчення спочатку окремих їхніх частин за окремими значеннями показників, параметрів чи ознак, а потім, поступово залучаючи більшу кількість методів дослідження та охоплюючи нові ділянки досліджуваного об'єкта, виявляють необхідну сукупність властивостей для достатньо повної його характеристики. У ході дослідження поступово уточнюють значення та роль головних мінералотворних чинників на різних етапах формування



досліджуваного об'єкта та визначають їхнє прогнозно-розшукове значення. Принцип послідовних наближень реалізують у процесі виконання загального комплексу геологорозвідувальних робіт, який передбачає такі стадії:

- геологічне знімання та загальні розшуки;
- розшуково-оцінні роботи;
- попереднє та детальне розвідування;
- експлуатаційне розвідування.

Отже, відповідно до цього принципу домагаються, з одного боку, послідовного приросту корисної інформації про умови формування досліджуваного об'єкта, а з іншого, – поступового виявлення просторового розподілу цієї інформації в його межах як підстави для термобарогеохімічного прогнозування.

**Принцип оптимізації.** Обсяги термобарогеохімічного опробування потребують адекватних обсягів аналітичних та інших досліджень. Відповідно до цього принципу необхідно за допомогою найменших трудових та матеріальних затрат забезпечити достатньо повне виявлення генетичних особливостей досліджуваного об'єкта та мінливості параметричних ознак у його межах згідно з наведеними вище принципами. Отже, звідси випливає важливий висновок про те, що оптимізація мережі опробування значною мірою скорочує витрати на опробування, і водночас трудові та матеріальні витрати на аналітичні та експериментальні дослідження.

**Принцип експресності.** Цей принцип потребує вирішення поставленого завдання протягом максимально короткого відрізка часу. Однак процеси дослідження важливо прискорювати не зменшенням його повноти чи меншої достовірності, а тільки відмовою від зайвих робіт. Зайва інформація стосовно будь-яких властивостей досліджуваного об'єкта може бути виправдана тільки на стадії дослідно-методичних робіт тому, що на цій стадії його вивчення дослідник перебуває у стані інформаційної невизначеності. Тому варто зазначити, що з використанням навіть не завжди надійного методу аналогії дослідник і на початковій стадії дослідження може зменшити витрати праці та часу до межі припустимого мінімуму.

**Принцип випередження.** Цей принцип потребує випередження термобарогеохімічних досліджень усіх стадій

геологорозвідувального процесу на одну стадію. Він приписує термобарогеохімічне оцінювання родовища чи рудопрояву перед початком роботи наступної стадії, тобто перспективне оцінювання рудопрояву та обґрунтування необхідності виконання робіт наступної стадії геологорозвідувального процесу.

Принцип комплексності передбачає необхідність використання всіх наявних видів та типів термобарогеохімічного дослідження вже на початковій стадії вивчення об'єкта. Це доцільно відповідно до вимог принципів, наведених вище, особливо принципу повноти дослідження.

Принцип тотальності. Цей принцип потребує виділення для певної рудної формації та геологічної обстановки „еталонних” об'єктів, під час вивчення яких необхідно прагнути опробувати та дослідити всі відомі рудні тіла та всі мінеральні спільноти незалежно від їхньої промислової цінності для наступного виявлення тенденцій мінливості головних та оптимальних фізико-хімічних параметрів мінералотворного процесу з часом та у просторі і їхнього зв'язку з корисним компонентом.

Принцип фізико-хімічної відповідності. Цей принцип передбачає, щоб результати термобарогеохімічних аналізів, моделювання та інтерпретація термобарогеохімічних моделей не суперечили законам фізики, хімії, фізичної хімії тощо.

Розглянуті принципи, звичайно, не вичерпують усієї системи особливих та окремих вимог до термобарогеохімічного опробування, моделювання та дослідження ендегенних родовищ загалом, проте вони можуть гарантувати економне та швидке отримання надійних результатів термобарогеохімічних досліджень, що забезпечують адекватність побудованих речовинних, параметричних та ознакових моделей процесів формування досліджуваних ендегенних родовищ реальним процесам.

**Екзаменаційні питання**  
**з курсу „Прикладна термобарогеохімія”**  
**(Основи термобарогеохімічного пробовідбирання)**

Назвіть типи термобарогеохімічних проб.

Розкрийте інформативність термобарогеохімічної проби.

Які ви знаєте різновиди термобарогеохімічного опробування?

Чим відрізняються термобарогеохімічні проби для різних видів аналізів?

Розкрийте суть головних принципів термобарогеохімічного пробовідбирання та моделювання.

Вимоги щодо репрезентативності, розмірів та маси термобарогеохімічних проб.

Яким є загальний методологічний підхід щодо термобарогеохімічного опробування різномасштабних геологічних об'єктів?

Які цілі та головні вимоги щодо дослідно-методичного та спеціалізованого опробування?

Як оптимізувати крок та мережу опробування під час лінійного та площинного опробування?

Особливості структурного (просторового) термобарогеохімічного опробування.

Системи термобарогеохімічного опробування.

Порівняйте інформативність однієї геохімічної та термобарогеохімічної проби.

Різновиди просторового термобарогеохімічного опробування.

Особливості термобарогеохімічного опробування структурно-текстурних перетинів і руд зі складною структурою та текстурою.

У чому полягають особливості термобарогеохімічної проби?

Яка інформативність термобарогеохімічної проби?

Що таке абсурдна проба?

У яких випадках відбирають мономінеральні проби, а у яких – полімінеральні?

Які головні характеристики термобарометричної проби?

Які головні характеристики фазометричної проби?

Які головні характеристики фазоаналітичної проби?

Які головні характеристики декрептометричної проби?

Генетичні (часові) системи термобарогеохімічного опробування.

Структурні (просторові) системи термобарогеохімічного опробування.

Системи спеціалізованого опробування.

Системи дослідно-методичного опробування.

Дискретність просторового термобарогеохімічного опробування

Головні вимоги до надійності систем опробування.

Особливості генетичного пробовідбирання.

Мета генетичного пробовідбирання.

Генетична проба.

Головні мінералого-генетичні ознаки послідовності кристалізації мінералів та їхніх груп.

Опробування структурно-текстурних перетинів різновікових прожилків.

Опробування ідіоморфних виділень мінералів на тлі мінеральних агрегатів.

Опробування навхрест мінеральних прожилків.

Опробування різнозернистих мінеральних агрегатів.

Опробування різних мінералого-генетичних заміщень.

Опробування подрібнених мінеральних агрегатів.

Опробування бречійованих мінеральних агрегатів.

Опробування мінеральних утворень з ознаками перевідкладання.

Опробування мінеральних утворень з ознаками розчинення.

Опробування мінеральних утворень з ознаками доростання.

Найважливіші термобарогеохімічні ознаки послідовності фізико-хімічних явищ та процесів у динамічних флюїдних палеосистемах.

Опробування „чистих” нетелескопованих мінеральних асоціацій.

Опробування „навхрест”.

Чим зумовлена потреба опробування всіх мінеральних груп, асоціацій та комплексів?

Просторове термобарогеохімічне опробування як основа фактологічного речовинного моделювання.

Просторове термобарогеохімічне опробування як основа фактологічного параметричного моделювання.

Загальний підхід до опробування різномасштабних геологічних об'єктів.

Різновиди просторового термобарогеохімічного опробування.

Точкове опробування.

Лінійне опробування.

Площинне опробування.

Об'ємне опробування.

Оптимізація мереж опробування під час лінійного пробовідбирання.

Оптимізація мереж опробування під час площинного пробовідбирання.

Оптимізація мереж опробування під час об'ємного пробовідбирання.

Опробування контактів рудних тіл з вмісними породами.

Системи опробування під час розшуків рудних тіл у підземних гірничих виробках.

Ймовірні системи спеціалізованого термобарогеохімічного опробування.

Яка мета дослідно-методичного пробовідбирання.

Які основні вимоги щодо дослідно-методичного пробовідбирання?

### **Список рекомендованої літератури**

1. *Лазько Є.М., Ляхов Ю.В., Павлунь М.М. та ін.* Принципи термобарогеохімічного прогнозування, пошуків та оцінки золоторудних родовищ на території України // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 1992. – Вип. 11. – С. 25–40.
2. *Попівняк І.В.* Щодо оптимізації кроку термобарогеохімічного опробування // Мінерал. зб. – 1995. – № 48. – Вип. 1. – С. 31–41.
3. *Попівняк І.В.* Фізико-хімічне моделювання флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистем та прогнозування пов'язаного з ними зруденіння (на прикладі родовищ золота): Автореф. дис. докт. геол. наук. – Львів, 2002. – 50 с.
4. *Ціхонь С.І.* Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералого-фізичних досліджень): Автореф. дис.... канд. геол. наук. – Львів, 2004. – 24 с.

## Зміст

|   | Стор. |
|---|-------|
| Мета і завдання   | 3     |
| Вступ   | 4     |
| Зміст навчального матеріалу   | 4     |
| Термінологія  | 5     |
| 1. Особливості опробування за видами аналізів   | 7     |
| Термобарометричне опробування   | 8     |
| Фазометричне опробування  | 9     |
| Декрептометричне опробування  | 9     |
| Фазоаналітичне опробування  | 9     |
| 2. Системи термобарогеохімічного опробування  | 11    |
| Часове (генетичне) опробування  | 11    |
| Опробування руд з вкрапленими текстурами  | 16    |
| Системи просторового (структурного) опробування   | 18    |
| Системи спеціалізованого опробування  | 32    |
| Системи дослідно-методичного опробування  | 35    |
| Особливості пробовідбирання гідротермальних родовищ локалізованих у теригенних товщах             | 36    |
| 3. Визначення та оптимізація кроку термобарогеохімічного опробування                              | 38    |
| Вибір оптимального кроку опробування за гармонійного розподілу ознаки                             | 39    |
| Вибір оптимального кроку опробування за реального неперіодичного, негармонійного розподілу ознаки | 44    |
| Щодо оцінки надійності систем опробування за допомогою імітаційного моделювання                   | 51    |
| 4. Головні принципи термобарогеохімічного опробування та моделювання                              | 54    |
| Екзаменаційні питання   | 58    |
| Список рекомендованої літератури  | 61    |

Рекомендовано до друку  
кафедрою корисних копалин.  
Протокол № 4 від 15. 03. 2004

Уклали: Попівняк Іван Васильович,  
Ціхонь Сергій Іванович

Відповідальний за випуск Микола Миколайович Павлунь

Редактори: Мирослава Мартиняк

Комп'ютерна верстка Сергія Ціхоня

Підп. до друку 05. Формат 60x84/16. Папір друк. Друк на різогр.  
Умовн.-друк. арк. . Обл.-вид. арк. . Тираж прим. Зам.

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