

Бовсунівська С.С., студентка 1 курсу ОР «бакалавр», групи ГР-25-1
НАУМОВ Я.О., асистент кафедри гірничих технологій
та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.,
Державний університет «Житомирська політехніка»

МІНЕРАЛИ-ІНДИКАТОРИ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХНЄ ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Мінерали-індикатори відіграють ключову роль у сучасній геології, оскільки саме вони зберігають у своїй структурі та хімічному складі інформацію про умови формування гірських порід. Для геолога вони є маркерами які показують, яка температура, тиск або хімічне середовище були на момент утворення породи. Наприклад, якщо в породі є гранат або кіаніт то це означає, що відбувся метаморфізм на великій глибині. Якщо ми бачимо глауконіт, то відбулося накопичення на морському дні. Дані мінерали дозволяють не просто провести опис породи, а зрозуміти умови формування та коли вона утворювалася. У роботі розглядається як різні типи мінералів-індикаторів пов'язані з геологічними процесами, і як їх можна використовувати. Самі вони використовуються у розвідці корисних копалин, стратиграфії, геохімії та екології. У ході досліджень встановлено, що такі мінерали, як гранат, циркон, хромшпінеліди, амфіболи, піроксени та низка сульфідів, є природними індикаторами геологічних процесів.

Індикаторні мінерали – це мінеральні види, що вказують на наявність певного родовища корисних копалин і можуть бути вилучені з поверхневих відкладень. Ідеальними індикаторними мінералами, вилученими з льодовикових відкладень, є ті, що зустрічаються в небагатьох гірських породах, якщо такі взагалі зустрічаються, окрім родовища корисних копалин, що шукається. Їхні фізичні та хімічні характеристики дозволяють легко вилучити їх з великих зразків у достатній кількості для легкої ідентифікації, підрахунку життєздатних зерен та аналізу.

У метаморфічних комплексах мінерали, такі як гранат, кіаніт, силіманіт, андалузит, хлорит, тальк і серпентин, дозволяють визначити фації метаморфізму та глибину занурення порід. Наприклад, поліморфні форми Al_2SiO_5 (кіаніт, силіманіт, андалузит) утворюються при різних тисках і температурах, що дає змогу реконструювати термобаричні умови регіону. Гранат є індикатором середньо- та високотемпературного метаморфізму, а хлорит низькотемпературного, типового для тектонічно активних зон з обмеженим прогрівом, де метаморфізм не досягає високих ступенів.[1]

У магматичних породах мінерали-індикатори, такі як олівін, піроксен, плагіоклаз, ортоклаз, біотит, мусковіт, циркон, формуються в процесі кристалізації магми. Їхній склад і текстура дозволяють визначити тип магми, її еволюцію та глибину кристалізації. Циркон, завдяки своїй термостійкості, широко використовується для уран-свинцевого датування порід, що є основою геохронологічних досліджень[3]

Гідротермальні мінерали, такі як кварц з включеннями, кальцит, барит, халькопірит, галеніт, утворюються внаслідок циркуляції гарячих водних розчинів у тріщинах земної кори. Їхня присутність свідчить про активність гідротермальних систем і часто супроводжує рудні родовища золота, міді, свинцю, цинку. Зональність мінералів (наприклад, перехід від серициту до каолініту) вказує на зміну хімічного складу флюїдів, температури та рН середовища [2].

Осадкові мінерали, такі як гіпс, ангідрит, галіт, глауконіт, гематит, лімоніт, є індикаторами палеогеографічних умов. Гіпс, ангідрити утворюються при випаровуванні морської води в пустельному кліматі, глауконіт при повільному осадо накопиченні в морських басейнах, а гематит і лімоніт в окисному середовищі континентальних умов. Їхнє вивчення дозволяє реконструювати давні кліматичні умови та типи басейнів осадо накопичення. [2].

Мінерали-індикатори використовуються для прогнозування рудоносних систем у процесі геологічного районування та оцінки перспективності родовищ. У пошуках алмазоносних кімберлітів застосовуються піроп, хромдіопсид, ільменіт – це мінерали-супутники, що дозволяють локалізувати корінні джерела алмазів. У вулканогенно-осадових родовищах індикаторами є сфалерит, халькопірит, барит. У скарнових родовищах — гранат, піроксен, магнетит. Їхня присутність дозволяє класифікувати рудоносні системи та оцінити їхню економічну перспективність [2].

Таблиця 1.

Класифікація мінералів-індикаторів за типами геологічних процесів, умовами їх утворення та практичним значенням

Геологічний процес	Мінерали-індикатори	Умови формування	Практичне значення
Метаморфізм	Кіаніт, силіманіт, хлорит	Високий тиск і температура, глибина >10 км	Визначення фацій метаморфізму, реконструкція тектоніки
Магматизм	Олівін, піроксен, плагіоклаз, циркон	Кристалізація магми, температура >800°C	Датування порід, типізація магматичних провінцій
Гідротермальні процеси	Кварц, кальцит, халькопірит, галеніт	Циркуляція гарячих розчинів, тріщини кори	Пошук рудних родовищ (Au, Cu, Pb, Zn)
Осадонакопичення	Гіпс, ангідрит, глауконіт, гематит	Випаровування, морське середовище, окисне	Палеогеографія, оцінка кліматичних умов
Утворення рудних корисних копалин	Піроп, хромдіоксид, ільменіт, сфалерит	Глибинні магматичні системи, вулканізм	Прогнозування алмазоносних, поліметалічних родовищ

Їхня внутрішня зональність, мікровключення, співвідношення елементів і стабільність ізотопних систем дозволяють визначати температуру, тиск, склад флюїдів, швидкість кристалізації, а також вік геологічних подій. Наприклад, гранат у метаморфічних породах фіксує послідовність етапів перетворення породи, тоді як циркон дає можливість визначати абсолютний вік магматичних і метаморфічних процесів навіть у давніх докембрійських комплексах. Хромшпінеліди з ультраосновних порід дозволяють реконструювати умови мантийного плавлення та оцінювати рудний потенціал хромітових і платиноносних родовищ, тоді як амфіболи й піроксени містять інформацію про температуру, глибину та хімічну еволюцію магматичних камер. Важливим є вивчення флюїдних і твердих включень, адже вони є прямими свідченнями складу середовища, у якому ріс кристал. Для аналізу таких структур застосовують мікрозондові методи, раманівську спектроскопію, що дає змогу отримати достовірні дані про склад мінералів і флюїдів. Практичне значення цих мінералів полягає в можливості прогнозувати рудні родовища, реконструювати тектонічні події, моделювати історію розвитку гірських систем та визначати потенціал території щодо корисних копалин.

Аналізуючи ці дані можна дійти до висновку, що мінерали-індикатори дозволяють визначити умови формування порід - це температуру, тиск, тип середовища, і на основі цих даних можна робити висновки про геологічну історію регіону. Наприклад, мінерали метаморфізму вказують на глибину і ступінь перетворення порід, магматичні, на тип магми, а гідротермальні уже на можливу наявність рудних родовищ. Осадкові мінерали допомагають зрозуміти давній клімат і умови накопичення осадів. Усе це має велике практичне значення: мінерали-індикатори використовуються при пошуку корисних копалин, у геохронології, при складанні геологічних карт і навіть для оцінки екологічного стану територій. Тому їхнє вивчення є не лише теоретично важливим, а й корисним для реальних геологічних робіт.

Список використаної літератури:

1. Прикладна мінералогія. Частина I – Засоби вирішення технологічних задач прикладної мінералогії: електронний навчальний посібник;/ Лазарева І.І. – електронний ресурс ННІ «Інститут геології». – 121 с.
2. Гулій, В., Бекеша, С., & Побережська, І. (2024). Особливості використання традиційних мінералів-індикаторів у процесі прогнозування алмазоносних об'єктів. Мінералогічний збірник, (69), 59–77.
3. Наумко І., Павлюк М., Побережський А.. Геохімія і термобарометрія мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімія евапоритів – всесвітньо відомі наукові школи. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals* No. 1 (182) 2020, 62-75.