



МАГМАТИЧНІ РОДОВИЩА

1. ГЕНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ
2. ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ УТВОРЕННЯ
3. ГЕНЕТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ РОДОВИЩ

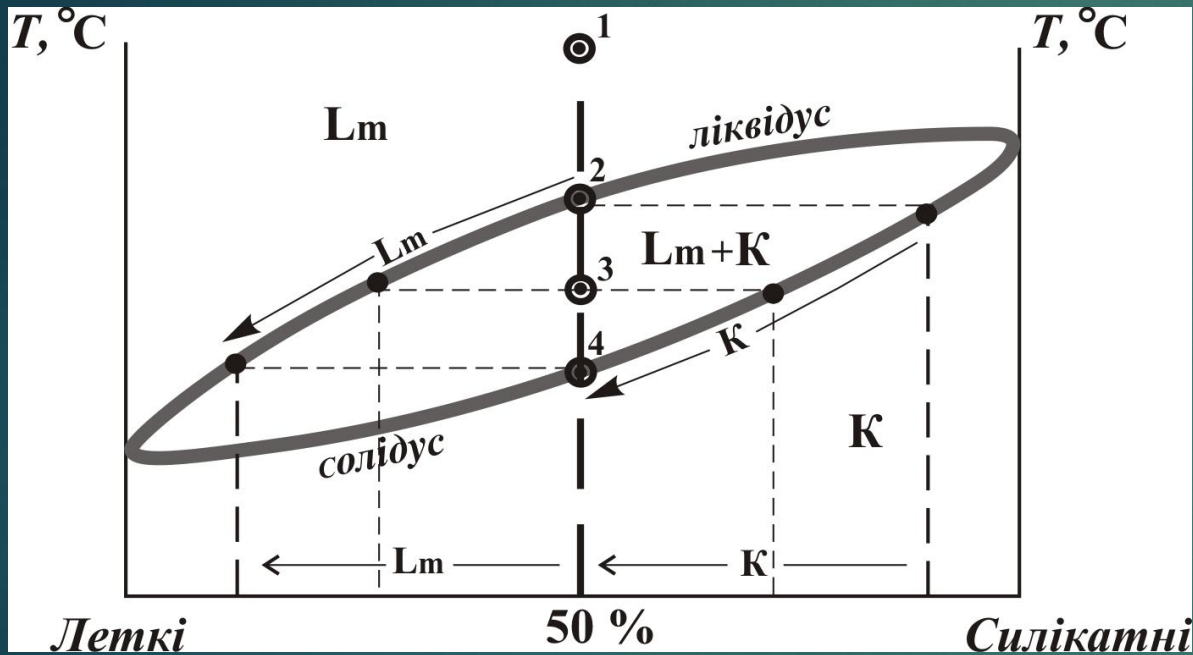
- ▶ **Магматичними** називають РКК, які формувалися в процесі проникнення, поступового охолодження, дегазації та розкристалізації металоносних силікатних розплавів **ультраосновного, основного** або **лужного** складу.
- ▶ До них належать родовища **титано-магнетитових (часто ванадієносних), апатит-магнетитових, сульфідних Cu-Ni (з Co, Au, платиноїдами), хромшпінелідових руд, самородних платиноїдів (Pt, Pd, Os, Ir), алмазу, графіту, апатиту, нефеліну (сировина на алюміній), деяких рідкісних елементів (Nb, Ta, Hf, Zr та ін.)**.

1. Генетична модель та фізико-хімічні умови утворення

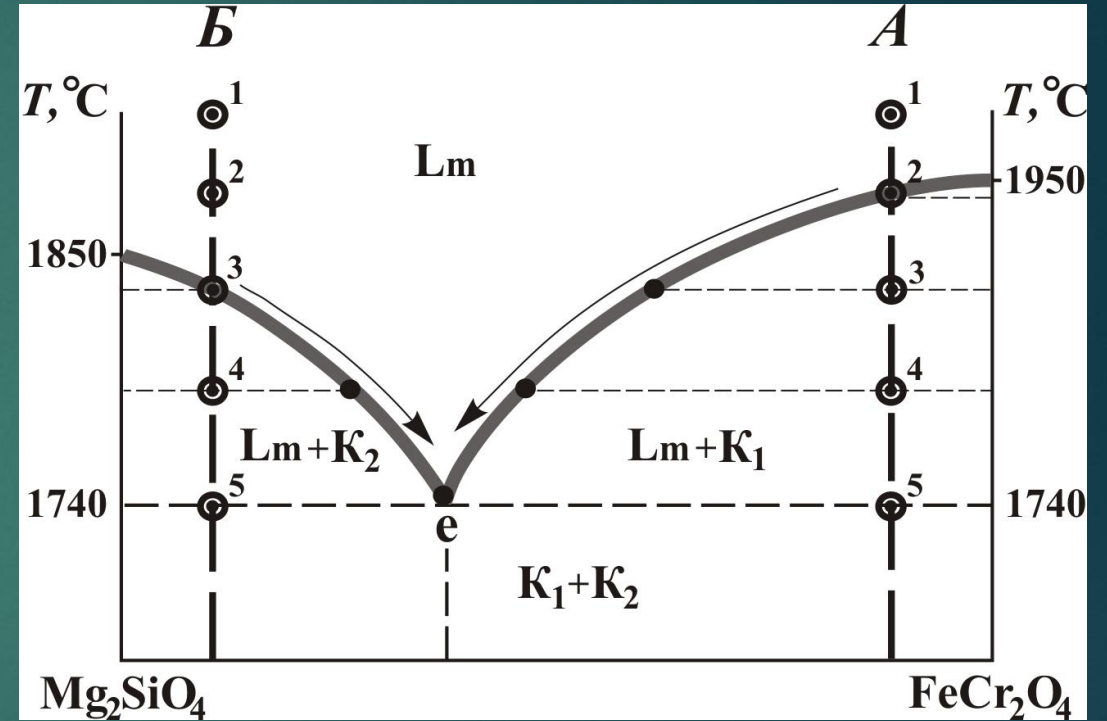
- ▶ Провідну роль у формуванні магматичних руд відіграють процеси **магматичної кристалізації**, а в деяких випадках – **ліквіації**.
- ▶ Для виникнення промислової мінералізації необхідний збіг двох передумов:
 - 1) **якісно-речовинного** прояву диференціації, що полягає у відокремленні від розплаву певного корисного компонента (елемента) у вигляді конкретної кристалічної (К) або розплавної (L_M, L_P) фази; 2) **кількісно-концентраційного** завершення диференціації, що пов'язана з нагромадженням цієї ж **металоносної фази** (К, L_M, L_P) в певній частині магматичного тіла – донній або покрівельній, залежно від процесів диференціації та специфічної геолого-структурної ситуації.

Процеси кристалізаційної магматичної диференціації

Руди Cr, Ti, Ni, Co, Cu, Fe, Pt та платиноїдів формуються при кристалізації розплавів основних і ультраосновних порід, збагачених на Mg і Fe. Титаномагнетитові руди, які складені ільменітом (FeTiO_3) і магнетитом (FeFe_2O_4), а також частково сульфідні руди Cu-Ni виникають із розплавів, які при застиганні дають початок основним породам. У порівнянні з раніше згаданими ці розплави характеризуються більш високою концентрацією іонів Ca, Na, Al, та SiO_2 (до 50 %). Руди P, REE, Ta-Mb, Zr і ін. утворюються при кристалізації розплавів, збагачених лужними металами (особливо Na). Апатит-магнетитові та апатит-рідкісноземельні руди формуються переважно в породах лужного складу. Від розглянутих раніше вони відрізняються підвищеним вмістом K і Na, відносно помірними значеннями вмісту Fe і Mg і низьким вмістом Ca. Вміст SiO_2 становить 45-50 %.



Принципова діаграма фазового стану багатокомпонентної системи (з умови повного взаємного змішування летких і силікатних компонентів). Фазові поля: Lm – гомогенний магматичний розплав; Lm+K – маґма, що кристалізується; K – кристалічна порода. Цифрами позначено характер зміни фазового стану системи певного складу в процесі охолодження, стрілками – головні тенденції в зміні компонентного складу кристалів та залишкового розплаву.



Діаграма фазового стану експериментальної системи форстерит–хроміт (з точкою евтектики). Фазові поля: Lm – гомогенний розплав; Lm+K₁ – розплав з кристалами хроміту; Lm+K₂ – розплав з кристалами форстериту; K₁+K₂ – агрегат мінералів, що кристалізувалися водночас. Цифрами позначено характер зміни фазового стану системи в процесі охолодження розплавів порівняно збіднених (A) та збагачених (B) леткими компонентами; стрілками показано головні тенденції зміни складу розплаву, що залишається.

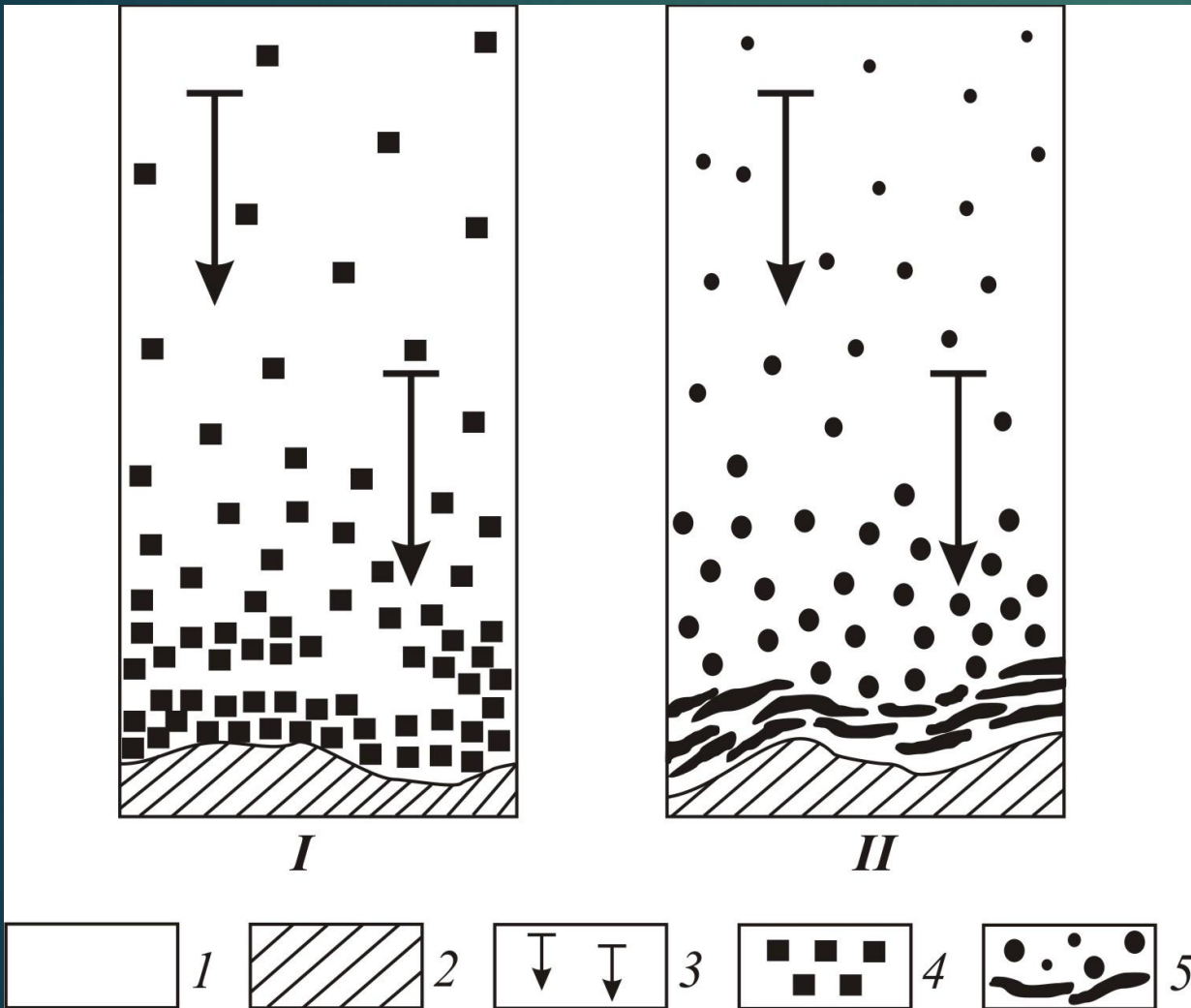
Процеси ліквідаційно-магматичної диференціації

- ▶ Головними чинниками, що регулюють цей процес, є **температурний діапазон і насиченість розплаву такими компонентами, як сірка, залізо, нікель, кобальт, мідь, цинк та ін.**
- ▶ За даними І. Фохта, якщо температура становить понад 1 500 °С, то сумарна кількість цих складових у магмі основного складу може сягати близько 20 ваг. %, а в разі охолодження до 1 170–1 150 °С у гомогенному силікатному розплаві з'являються перші краплини новоутвореного рудно-сульфідного розплаву як певний надлишок компонентів, що вже не можуть бути в розчиненому стані.
- ▶ Спочатку кристалізується силікатна, а потім сульфідна фаза розплаву з утворенням мінеральних агрегатів поширеної **сидеронітової текстури**, коли рудні мінерали ксеноморфні щодо вмісних порід.

Процеси нагромадження потенційно металоносних фаз

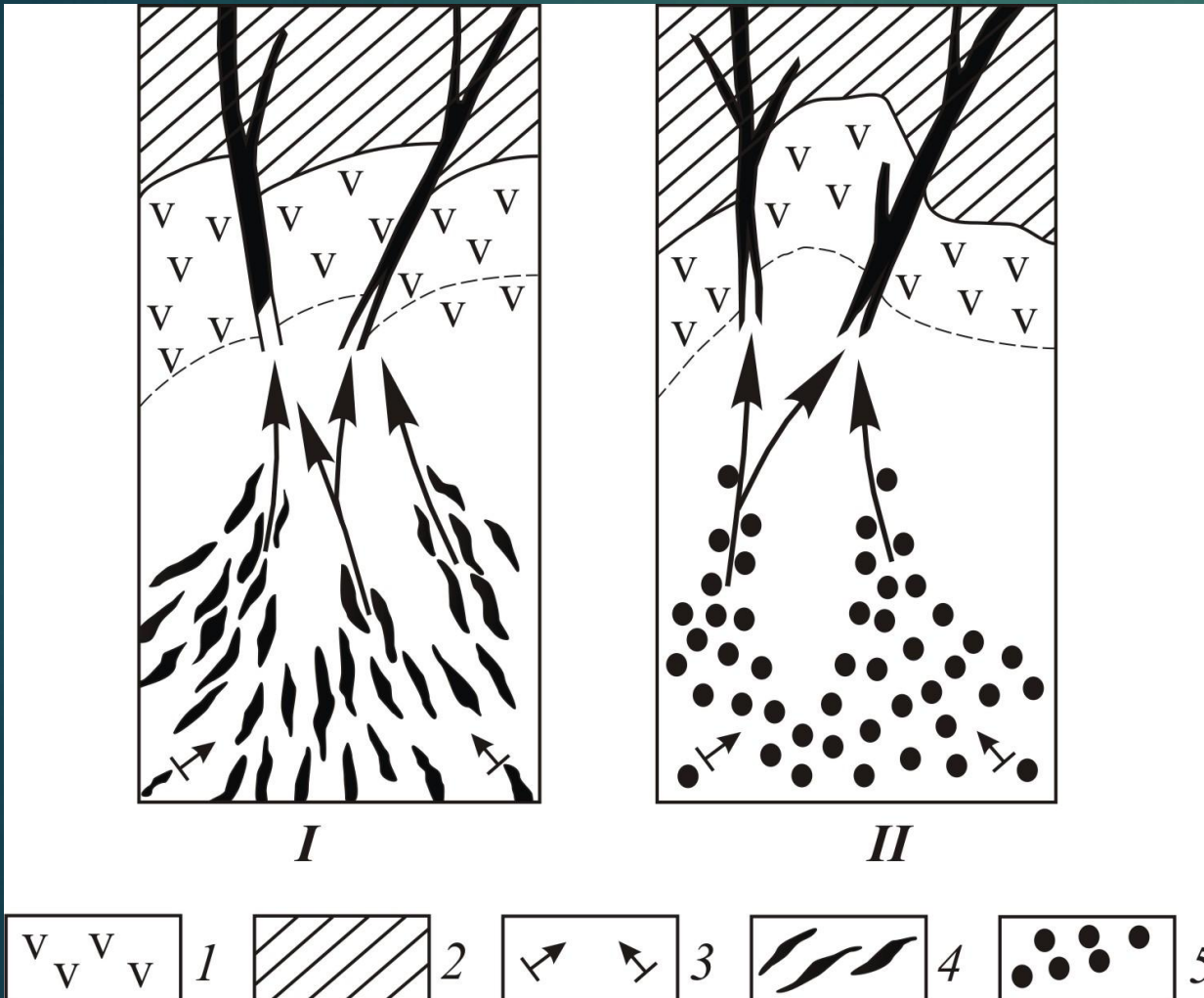
- ▶ **гравітаційні**
- ▶ **фільтраційно-ін'єкційні**

Гравітаційна диференціація



Кристалізаційно-гравітаційна (I) та ліквідаційно-гравітаційна (II) диференціація магматичного розплаву (1) з утворенням придонних та висячих покладів вкраплених руд згідно з субстратом інтрузиву (2); стрілками показано напрями скупчення (3) важких кристалів рудного мінералу (4) та рудно-сульфідних крапель (5).

Фільтраційно-ін'єкційний механізм



Кристалізаційно-фільтраційна (I) та ліквідаційно-фільтраційна (II) диференціація магматичного розплаву з утворенням січних тіл суцільних руд серед споріднених силікатних порід інтрузиву (I) та його покрівлі (2); показана тектоногенна динаміка (3) руху залишкових відокремлень рудно-силікатного (4) та рудно-сульфідного (5) розплавів.

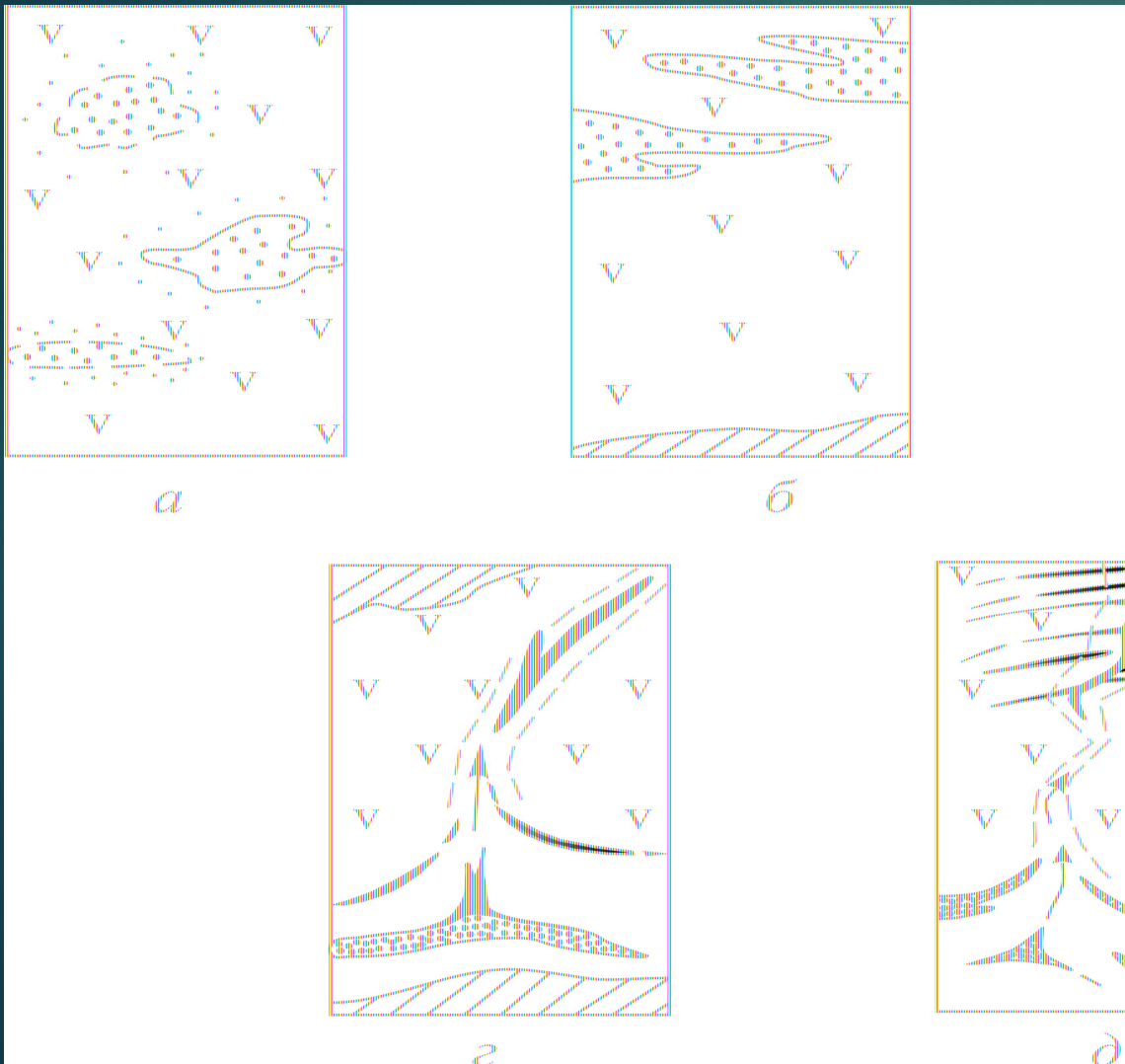


Гіпсометричні рівні магматичного син- (*а*) та епігенетичного (*б*) зруденіння відносно материнського інтрузиву.

Чотири види якісно-речовинних та кількісно-концентраційних механізмів диференціації магматичних розплавів:

- **кристалізаційно-гравітаційний і ліквідаційно-гравітаційний**, що зумовлюють виникнення **сингенетичних** (донних, висячих) покладів вкраплених руд винятково серед материнських порід інтрузиву;
- **кристалізаційно-фільтраційний і ліквідаційно-фільтраційний**, з якими пов'язані утворення **епігенетичних**, найчастіше жилоподібних тіл масивних руд серед порід покрівлі та навколишньої рами інтрузиву

Фізико-хімічні умови



Можлива глибина формування магматичних родовищ сягає **150–250 км**, де кристалізуються алмаз, піроп, а в приповерхневих зонах (близько **1,0–1,5 км**) формуються сульфідні мідно-нікелеві руди.

Відповідно температурні умови охоплюють **1500–600 °С**, знижуються навіть до **300 °С**;

тиск змінюється від **40–30** (для алмазу) до **0,3–0,4** кбар (для сульфідів).

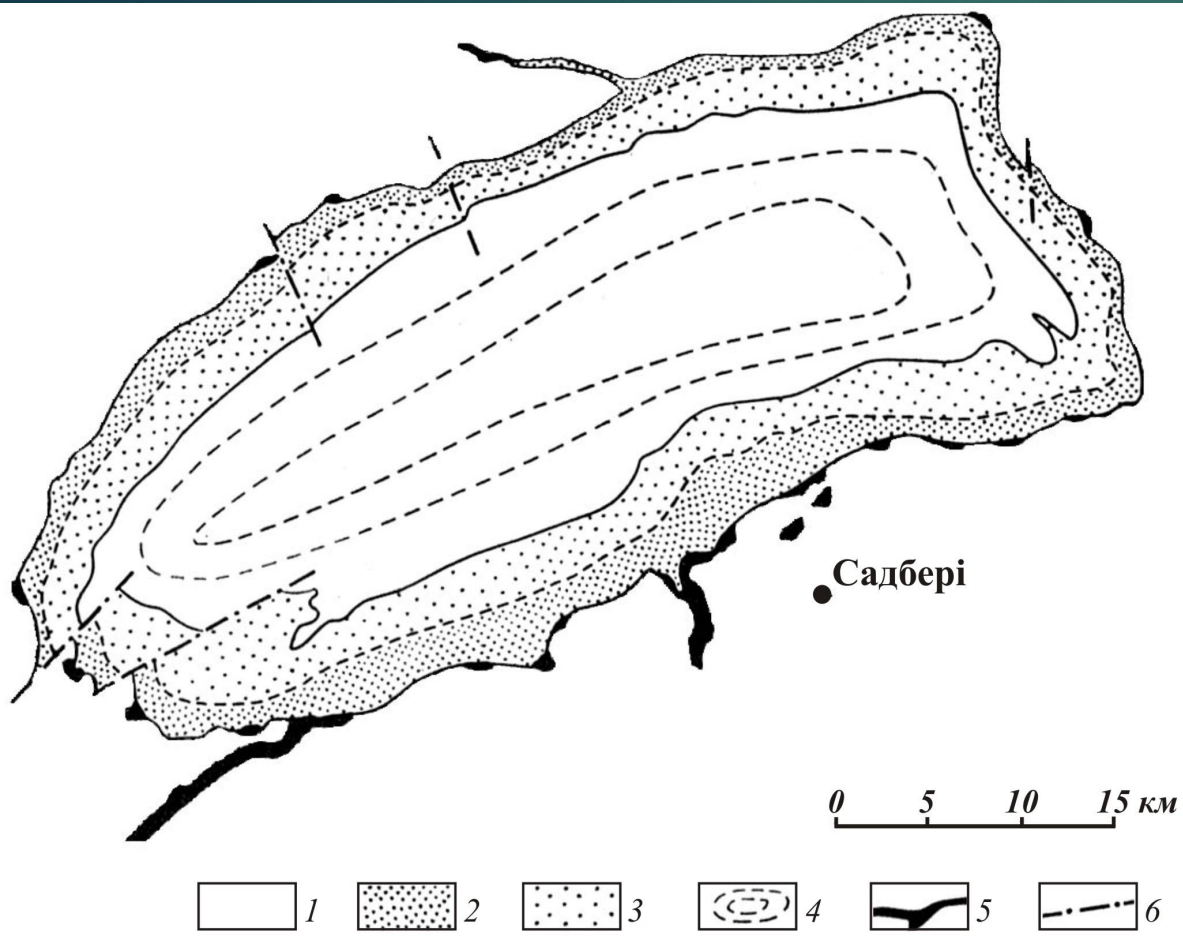
Характер та інтенсивність магматичного зруденіння визначені тривалістю та темпом застигання і дегазації силікатної частини розплаву; наочними у цьому сенсі є декілька різноглибинних ситуацій: **1) малі глибини 1-1,5 км, 2) середні – 1,5–3 км, 3) великі – 3-5 км, 4) значні глибини 5-10 км**

Морфоструктурні типи рудних покладів ранньо- (а, б, в) та пізньомагматичного (г, д) походження:

а – штоки та шліроподібні нерівномірно вкраплені скупчення в масивах абісальних зон; б – висячі тіла помірно вкраплених руд; в – придонні густо вкраплені або суцільні руди гіпабісальних зон; г – жильні, плитоподібні тіла суцільних або густо вкраплених руд (помірно глибинні масиви в умовах тектонічної активізації); д – розшаровані рудоносні масиви малих глибин як результат синмагматичних порушень їхньої припокрівельної частини.

2. Геологічні умови утворення

▶ Геотектонічна позиція та зв'язок з магматичними формаціями



Головною особливістю всіх ультрамагматичних РКК є дуже тісний їхній *просторовий* зв'язок з материнськими інтрузивами; рудні тіла, зазвичай, розташовані в межах масивів споріднених порід (сингенетичні) або у безпосередній близькості від них (епігенетичні).



Принципова схема розташування рудних тіл сульфідних мідно-нікелевих родовищ, за В. Смірновим: а – висячі вкраплені руди; б – донні поклади; в – приконтактові бречієві руди; г – жили; породи: 1 – підстильні, 2 – перекривні, 3 – вмисні

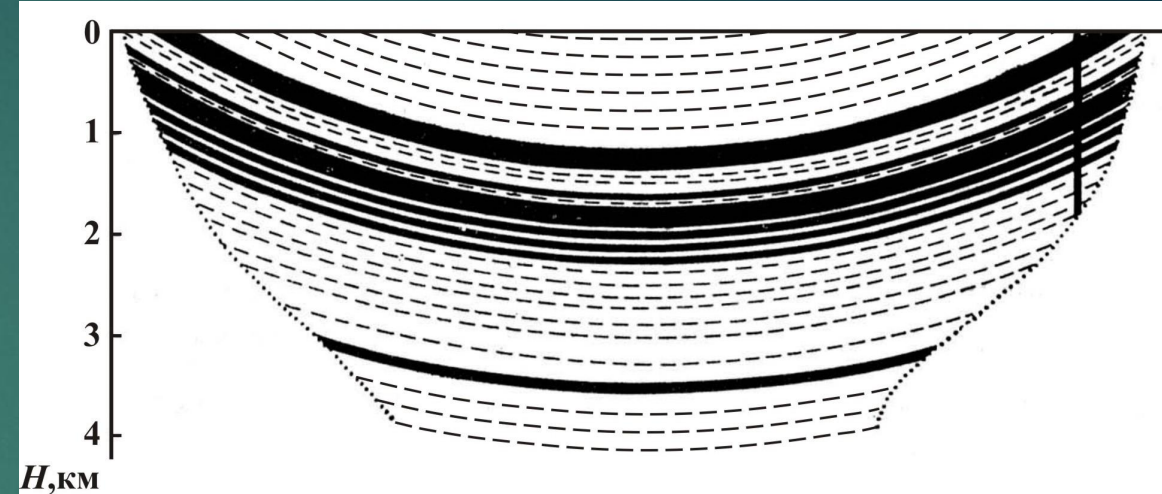
Схема геологічної будови рудоносного лополіту Садбері в Канаді (план), за П. Колеманом: 1 – нижньогуронські і лаврентіївські підстильні породи підшви; 2 – габро; 3 – норити; 4 – верхньогуронські вулканогенно-осадові породи покрівлі; 5 – сульфідні родовища; 6 – тектонічні порушення.

Шість рудномагматичних формацій, дві з яких є геосинклінальними і чотири – є платформеними.

До **геосинклінальних формацій** належать переважно базит-гіпербазитові:

1. **хромітоносна перидотит-гарцбургіт-дунітова, хромшпінелідові руди** якої здатні супутньо постачати платиноїди, інколи золото (типові – **Кемперсайське, Донське, Саранівське родовища на Уралі, Бушвельд на півдні Африки**);

2. **титано-магнетитова габро-піроксенітова, комплексні руди** якої є важливим постачальником ванадію і деяких інших металів (типові – **Качканарське та Кусінське родовища на Уралі, родовища Великої Дайки в Центральній Африці**).

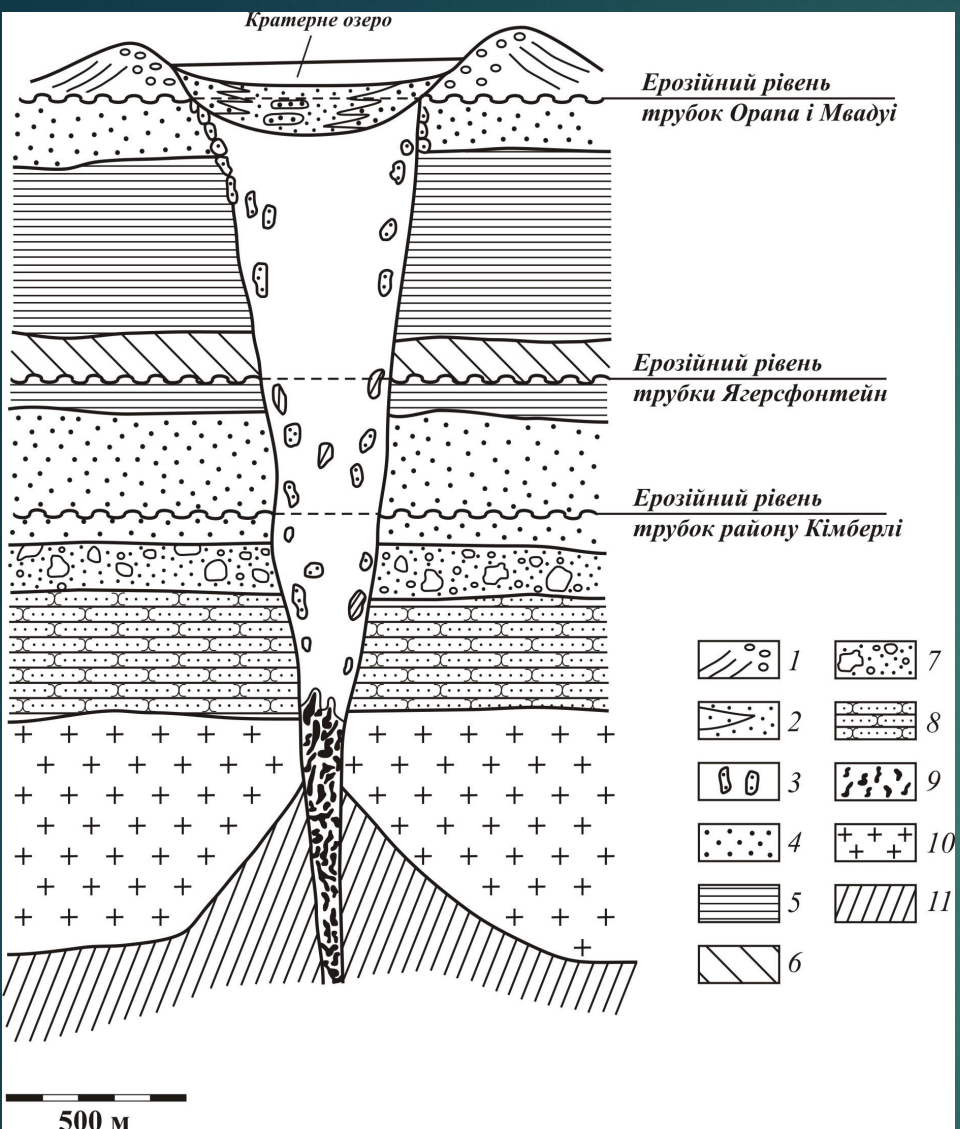


Поперечний розріз родовища Велика Дайка; показано чергування шарів габро-піроксенітів, за Б. Ворстом

Платформні формації різноманітніші, з лужною спеціалізацією:

3. **сульфідно-мідно-нікелева трапова, комплексна експлуатація руд** таких родовищ забезпечує видобуток кобальту, свинцю, цинку, золота, платиноїдів (родовище **Садбері, Лін-Лейк** у Канаді, **Норильськ, Талнах** на півночі Красноярського краю Росії, **Печенга, Нікель, Каула, Ніттіс** на Кольському півострові, **Інісізва**, платиноносний риф Меренського, **Бушвельд** у Південній Африці);

4. **алмазонасна кімберліт-лампроїтова, що є головним постачальником діамантів з трубоподібних тіл еруптивно-експлозивних брекчій** на півдні Африки (**Кімберлі, Прем'єр**), на півночі Австралії (**Аргайл**), у Якутії (**Мир, Айхал, Даалдин, Ювілейна**), у Прибіломор'ї (**Верхньозолотницька**), в Індії, Бразилії;



Узагальнена модель кімберлітової трубки, за Дж. Доусоном:
 1 – відклади туфогенного кільця; 2 – крупно- і дрібнозернисті осади; 3 – ксеноліти; 4 – пісковики; 5 – глинисті сланці; 6 – лавовий покрив; 7 – тиліти; 8 – кварцити; 9 – зцементована брекчія; 10 – гранітоїди фундаменту; 11 – область поширення кімберлітових дайок.

5 – рідкісноземельна нефелін-сієнітова (лопаритова), що представлена родовищами комплексних руд **ніобію, танталу, титану, циркону, гафнію, церію** та ін. (Швеція, Росія (Кольський півострів));

6 – апатит-магнетитова нефелін-сієнітова формація виявлена дещо обмежено зокрема, у Північній Швеції (**рудне поле Кірунавара**), США (**Адирондайк**), Мексиці (**Маркадо, Дуранго**), Чилі (**Альгаррабо, Тьфо**); важливими є родовища апатит-нефелінових, власне апатитових руд (**Хібінський масив лужних порід** Кольського півострова) та **нефелінові родовища** (Красноярський край Росії).

3. Генетична класифікація родовищ

- ▶ *ранньомагматичні;*
- ▶ *пізньомагматичні;*
- ▶ *ліквацийно-магматичні.*

Ранньомагматичний клас

- ▶ **Ранньомагматичними** є родовища, що утворилися під час охолодження слабконасичених леткими компонентами металоносних силікатних розплавів у процесі їхньої **кристалізаційно-гравітаційної** диференціації на **ранніх етапах** становлення інтрузиву.
- ▶ Під час розкристалізації порівняно “сухих” магм основного та ультраосновного складу їхні перші, найбільш високотемпературні фази, зазвичай, є і найбільш “важкими” (хромшпінеліди $(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al, Fe^{3+})_2O_4$, магнетит $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$, титаномagnetит $(Fe^{2+}, Ti)Fe^{3+}O_4$ та ін.); зі зниженням температури з розплавів виділялися силікати з помітно меншою питомою вагою (олівін, піроксени, амфіболи та ін.). Утворення промислових концентрацій металоносних оксидів переважно в придонній частині інтрузивних масивів; саме через це нерідко подібні утворення називають **сегрегаційно-акумулятивними**.
- ▶ Особливості родовищ ранньомагматичного класу: 1) генетичні, що просторово пов'язані з чітко диференційованими інтрузивами основних та ультраосновних порід, або лужних масивів, що контрольовані зонами тектономагматичної активізації; 2) формуються майже водночас із вмісними породами магматогенних комплексів з утворенням винятково **сингенетичних** тіл переважно вкраплених руд (нодулярна, орбікулярна текстури); 3) економічно найважливішими є родовища: **алмазозноної кімберлітової** (лампроїтової) формації, **хромітоносних дунітів** (так званий бушвельдський тип), **платиноносних дунітів, апатитозноних сієнітів, нефелінових сієнітів** (сировина на алюміній), графітоносних інтрузивів різного складу.

Пізньомагматичний клас

- ▶ **Пізньомагматичними** є родовища, що утворилися завдяки **кристалізаційно-фільтраційній** диференціації порівняно збагачених леткими компонентами (т. зв. “вологих”) магм унаслідок відокремлення **залишкових порцій** рудоносного розплаву та його розкристалізації під час **завершальної стадії** становлення інтрузивного масиву.
- ▶ Першими виділяються не металоносні оксидні сполучення (як у випадку слабкого насичення леткими), а породоутворювальні силікатні – олівін, піроксени та ін. і тільки пізніше – рудні мінерали (магнетит, титаномagnetит), що ксеноморфні до силікатів, зумовлюючи так звану **сидеронітову текстуру** материнської породи.
- ▶ Головними особливостями родовищ пізньомагматичного класу є: 1) генетично тісно пов’язані з чітко диференційованими, інколи багатозональними інтрузивами основних та ультраосновних порід, переважно в межах геосинклінальних областей; 2) просторово тяжіють головню до припокривельної частини споріднених інтрузивів і певних структурних елементів найближчого екзоконтакту, нерідко контрольовані самим контактом за умови суттєвих варіацій фізико-механічних властивостей порід; 3) формуються в процесі розрядження синмагматичних серій тектонічних напружень з утворенням винятково **епігенетичних** тіл суцільних або багатих густо вкраплених руд із різними контактами; 4) економічно найважливішими є родовища **хромшпінелідів** та **платиноїдів** у дуніт-перидотитах (так званий уральський тип), ванадієносних **титаномagnetитових** руд у габро-амфіболіт-піроксенітах, **апатит-магнетитових** та **апатит-нефелінових** у сієнітах.

Ліквацийно-магматичний клас

- ▶ **Ліквацийно-магматичними** є родовища, що утворилися під час охолодження металоносних, збагачених сіркою базальтоїдних магм у процесі їхньої **ліквацийно-гравітаційної** (або **фільтраційної**) диференціації на найпізніших стадіях становлення пластоподібних інтрузивів трапової формації, відповідно, у вигляді вкраплених рудних покладів придонної частини силів (**сингенетичні**) або січних та суцільних руд у покрівельній частині (**епігенетичні**).
- ▶ До утворень цього генетичного класу належать дуже важливі родовища **сульфідних мідно-нікелевих** руд у габро-норитах (із супутніми мінеральними включеннями кобальту, платиноїдів, Au, Pb, Zn), а також рідкісноземельних, переважно лопаритових руд (Nb, Ta, Ti, Ce, Zr та ін.) у нефелінових сієнітах, луювритах, фойїїтах Кольського півострова.
- ▶ Сульфідно-мідно-нікелеві родовища, генетично і просторово пов'язані винятково з гіпабісальними повнодиференційованими інтрузивами (лополіти, сили) основного складу. Характерні багатозональні, нерідко розшаровані інтрузиви із закономірною зміною в часі та просторі їхніх диференціатів – від перидотитів до габро-норитів і навіть кварцових діоритів та мікрогранітів.
- ▶ Мінеральний склад сингенетичних рудних покладів, що пов'язані переважно із габро-норитовою складовою, визначений досить стабільною парагенетичною тріадою – **пентландит, халькопірит, піротин**. Епігенетичні руди різноманітніші з поширенням таких мінералів, як кубаніт, нікелін, мілерит; іноді трапляються нерівноважні асоціації з магнетитом.