

3.1.2. Основні мінерали земної кори

Мінералами називаються природні хімічні сполуки або окремі хімічні елементи, які утворилися в результаті фізико-хімічних процесів, що відбуваються в земній корі та на її поверхні. Більшість мінералів знаходяться у кристалічному стані, тобто утворюють кристали, і лише незначна їх кількість – в аморфному (від грец. “аморфос” – безформений). **Кристали**, як багатогранні геометричні тіла бувають самих різноманітних форм, від звичайних правильних кубів до дванадцятигранників (рис. 3.2). За ступенем складності будови кристали діляться на шість груп, або систем, які називаються **сингоніями**. Розрізняють наступні сингонії: кубічну, тетрагональну, гексагональну (яка може бути поділена на гексагональну та тригональну підсингонії), ромбічну, моноклінну і триклінну.

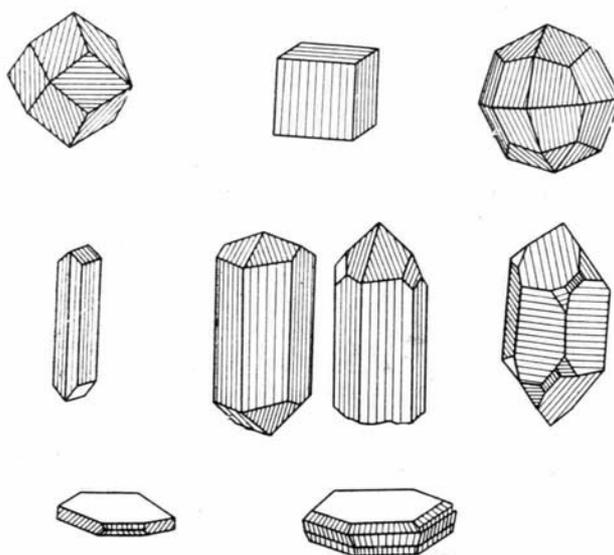


Рис. 3.2. Форми кристалів

Форма кристалів залежить від закономірності розташування в просторі елементарних часток – атомів, іонів, молекул. Упорядковане розташування останніх у просторі утворює **структуру кристалів**, або їх **кристалічну (просторову) ґратку**. Характер будови кристалічної ґратки залежить від фізико-хімічних і термодинамічних умов формування мінералу. В різних умовах з однієї і тієї ж речовини можуть утворюватися різні за формою кристали. Так, наприклад, кварц при високих температурах кристалізується в гексагональній підсингонії, а при низьких – в тригональній. Іншим прикладом можуть бути графіт і алмаз, які складаються з одного й того ж хімічного елементу – вуглецю. Проте, графіт є одним з м'яких мінералів і утворює таблитчасті кристали гексагональної сингонії, а алмаз відноситься до кубічної сингонії і є найтвердішим мінералом земної кори. Така різниця фізичних властивостей двох мінералів однакового хімічного складу, спричинена, насамперед, різною будовою кристалічної ґратки (рис. 3.3), тобто різним розташуванням у просторі атомів одного й того ж хімічного елементу, в даному випадку вуглецю.

Причиною такого явища, коли з речовини однакового хімічного складу утворюються різні за будовою кристалічної ґратки, формою кристалів і фізичними властивостями мінерали, є відмінність фізико-хімічних умов їх формування, а саме явище називається **поліморфізмом** (від грец. “поліморфоз” – багатоформений).

В кристалічних елементарних часток паралельних непаралельних різні, властивості електропровідність, Таке явище кристалічної тілах, які

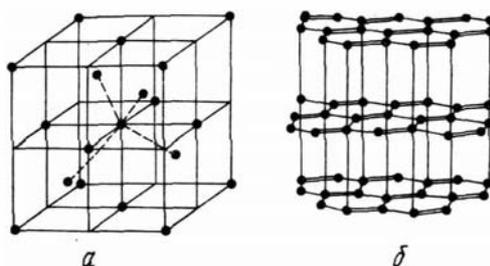


Рис. 3.3. Кристалічні ґратки алмазу (а) і графіту (б)

ґратках кристалів розташування і характер зв'язку між ними в напрямках однакові, а в що і обумовлює різні їх фізичні властивості (теплопровідність, твердість тощо) в цих напрямках. називається **анізотропією** речовини. В аморфних твердих речовини характеризуються безладним

неупорядкованим розташуванням елементарних часток усі фізичні властивості в усіх напрямках однакові. Такі аморфні мінерали називають *ізотропними*.

В природі мінерали можуть зустрічатися у вигляді окремих кристалів, їх закономірних зростків (двійників) або утворювати скупчення мінеральних зерен, які називаються **мінеральними агрегатами**.

Окремі ізольовані кристали та їх двійники утворюються в сприятливих для росту умовах. Форма та розміри кристалів можуть бути найрізноманітнішими і відображають, як склад і внутрішню будову самого мінералу, так і умови його утворення.

Мінеральні агрегати утворюють друзи, секреції, мигдалини, жеоди, конкреції (рис. 3.4), ооліти, сталактити та сталагміти. *Друзи* – це скупчення кристалів, які приросли до стінки печери або тріщини. *Секреції* утворюються в результаті поступового заповнення закритих порожнин мінеральною речовиною, яка відкладається на їх стінках. Вони характеризуються концентричною будовою, яка відображає стадійність їх формування. Великі секреції називаються *жеодами*, а дрібні, розміром до 1,0-1,5 см, що утворилися при застиганні лави під водою – *мигдалинами*.

Конкреції – це тіла відносно правильної сферичної форми, які утворюються в результаті концентрації мінеральної речовини навколо якого-небудь центру кристалізації і характеризуються концентричною або радіально-променевою будовою. Дрібні сферичні утворення концентричної будови називаються *оолітами*. Вони утворюються в результаті кристалізації мінеральної речовини в рухомому водному середовищі.

В результаті просочування підземних вод збагачених мінеральними речовинами на поверхні порожнин, здебільшого печер, також відбувається кристалізація речовини у вигляді різноманітних натічних утворень серед яких найбільш поширеними є сталактити та сталагміти. *Сталактити* – це бурулькоподібні тіла які звисають зі склепінь печер, а *сталагміти* – ростуть догори з dna печер назустріч сталактитам.

В природі найпоширенішими є мінеральні агрегати кристалічної, аморфної або прихованокристалічної будови, які складають товщі порід. Вони утворюються при майже одночасному випаданню з розчинів або розплавів численних мінеральних часточок (зерен). У кристалічних агрегатах мінерали знаходяться в кристалічному стані, але їх зерна мають неправильну форму. В залежності від умов кристалізації розмір зерен змінюється від великих, при повільній кристалізації, до тонкозернистих, коли процес кристалізації відбувається дуже швидко. В жилах кристалічні агрегати здебільшого характеризуються масивною будовою, і окремі зерна, практично, не розрізняються.

Аморфні мінеральні агрегати – це однорідні щільні або землісті маси з характерним матовим, восковим або слабким жирним блиском. Зовні на них дуже схожі прихованокристалічні агрегати і розрізнити їх можна тільки мікроскопічно. Це колоїдні системи, які складаються з тонкодисперсних кристалічних часток.

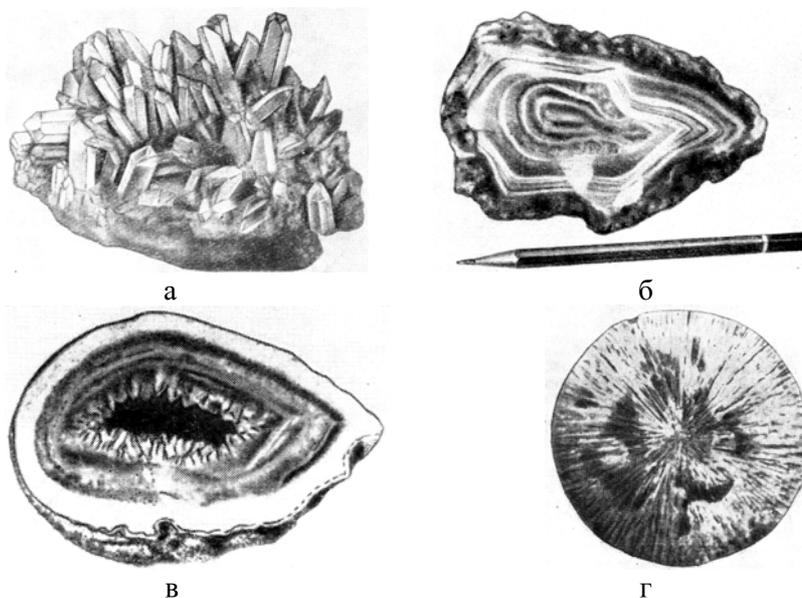


Рис. 3.4. Мінеральні агрегати.

a – друза кристалів кварцу; *б* – секреція складена з агату та халцедону; *в* – жеода складена з зерен кварцу і халцедону; *г* – конкреція марказиту.

В природі трапляються також мінеральні утворення, які складають не характерні для них форми. Це так звані **псевдоморфози** (від грец. “псевдо” – обманливий). Вони утворюються при хімічних змінах, або при заміщенні раніше існуючих мінералів новими, а також при заповненні порожнин, що утворилися в результаті вилуговування яких-небудь мінеральних або органічних включень. Як приклади можна навести псевдоморфози лімоніту по піриту, коли кубічні кристали піриту в результаті певних хімічних перетворень перетворюються в прихованокристалічний лімоніт із збереженням форми кристалів, або заміщення опалом деревини.

Внутрішня будова мінералів і хімічний склад зумовлюють їх фізичні властивості, які лежать в основі всіх мінералогічних методів досліджень і є першочерговими ознаками при діагностиці (визначенні) мінералів. Загалом фізичні властивості мінералів можна розділити на три групи: **морфологічні**, що характеризують геометричну форму кристалів і, як зазначалось вище, серед яких розрізняють шість сингоній – кубічну, тетрагональну, гексагональну, ромбічну, моноклінну і триклінну; **оптичні**, що включають колір мінералу, забарвлення його порошку, прозорість мінералу та полиск; і **механічні**, до яких належать злам, спайність, і твердість мінералу.

За цими властивостями проводиться макроскопічне визначення мінералів і найбільш об’єктивною діагностикою є коли вона проводиться шляхом визначення всіх властивостей.

Колір мінералів залежить від їх хімічного складу, як основного, так і домішок, структури, механічних домішок, а також внутрішньої неоднорідності. В зв’язку з цим один і той же мінерал може мати різне забарвлення, а різні мінерали – однаковий колір. Колір мінералу також може змінюватись завдяки інтерференції світла на поверхні кристалів. Таке явище називається **ізизацією** і проявляється у вигляді різнокольорових плям на гранях мінералу.

Для непрозорих і густозабарвлених напівпрозорих мінералів важливою діагностичною ознакою є **колір порошку** мінералу. Він може бути таким самим як і колір мінералу, а може і відрізнитися. Для визначення кольору порошку застосовують фарфорову пластинку, яка називається бісквіт. При проведенні такою пластинкою по шорсткуватій поверхні мінералу на ній залишається риска, колір якої відповідає кольору порошку.

Прозорість, яка характеризується властивістю мінералу пропускати промені світла, залежить від будови та однорідності мінеральних скупчень. За цією ознакою мінерали поділяються на прозорі, що пропускають світло як звичайне скло; непрозорі, які не пропускають світла; напівпрозорі або такі що просвічують подібно до матового скла; такі, що просвічують лише в тонкій пластинці.

Полиск залежить від показника заломлення променів світла в мінералі та від здатності їх відбивати. Розрізняють мінерали з металевим полиском, до яких відносяться здебільшого непрозорі мінерали з темнозабарвленою рисою; полиск металоїдний або напівметалевий, який нагадує полиск потемнілого металу; алмазний, скляний, жирний, перламутровий, шовковистий, восковий та матовий полиски.

Злам визначається характером поверхні по якій розколюється мінерал. Вона може нагадувати поверхню ребристої черепашки, тоді говорять про раковистий злам; може бути нерівною – нерівний злам; може нагадувати скалки – скалкуватий або голчастий злам. Для дрібнозернистих агрегатів здебільшого характерний землястий злам.

Спайність – це властивість кристалічних мінералів розколюватися по рівних поверхнях, що називаються площинами спайності, які відповідають напрямкам найменшого зчеплення часток у кристалічній структурі мінералу. В залежності від того наскільки легко відбувається розщеплення мінералу виділяють такі ступені спайності – дуже досконала, коли мінерал легко розщеплюється на тонкі пластинки; досконала, якщо розщеплення мінералу на тонкі пластинки відбувається під дією певної сили, наприклад удару; середня, коли при ударі мінерал розколюється як по площинах так і нерівному зламу; недосконала, якщо на фоні нерівного зламу рідко спостерігаються сколи по площинах; дуже недосконала, коли завжди утворюється нерівний або раковистий злам. Спайність може бути вираженою в одному, двох, трьох і, рідко, чотирьох напрямках.

Твердість – це властивість мінералу протистояти зовнішній механічній дії. Здебільшого при діагностиці мінералів визначається відносна твердість мінералу шляхом застосування еталонної шкали твердості, яка одержала назву шкали Мооса. Така “шкала твердості” включає десять мінералів, розташованих в порядку збільшення їх твердості (табл. 3.2).

Для визначення твердості мінералів можна також використовувати підручні предмети, твердість яких близька до твердості мінералів – еталонів. Так, твердістю 1 володіє грифель м'якого олівця; 2-2,5 – ніготь, 4 – металевий цвях, 5 – скло, 5,5-6 – сталевий ніж, або голка.

Таблиця 3.2.

Шкала твердості

Мінерал	Твердість
Тальк	1
Гіпс	2
Кальцит	3
Флюорит	4
Апатит	5
Ортоклаз	6
Кварц	7
Топаз	8
Корунд	9
Алмаз	10

Сьогодні відомі понад 2500 природних мінералів, але тільки близько 50 з них є найпоширенішими і утворюють практично всі гірські породи земної кори. Такі мінерали називаються **породоутворюючими**. Інші мінерали в гірських породах зустрічаються у незначних кількостях і їх називають **акцесорними** мінералами (від латин. “акцессоріус” – додатковий).

Сучасна **класифікація мінералів** ґрантується на їх хімічному складі, кристалічній структурі та генезисі, тобто походженні. До найпоширеніших породоутворюючих мінералів належать мінерали наступних класів: самородних елементів, сульфідів, галоїдних сполук, оксидів та гідроксидів, карбонатів, сульфатів, фосфатів і силікатів.

Клас **самородних елементів** об'єднує близько 45 мінералів, складених з одного хімічного елементу. Це такі мінерали як *самородне золото* Au, *срібло* Ag, *мідь* Cu, *платина* Pt, *графіт* C, *алмаз* C, *сірка* S та інші. Вони складають не більше 0,1 вагового % земної кори, а найпоширенішими серед них є графіт та сірка.

Клас **сульфідів** об'єднує мінерали які є сполуками різних елементів з сіркою. Вони, як самородні елементи, займають підпорядковане положення в будові земної кори, але включають низку важливих рудоутворюючих мінералів. Найбільш поширеними серед них є: *пірит* (сірчаний колчедан) FeS₂, *халькопірит* (мідний колчедан) CuFeS₂, *галеніт* (свинцевий полиск) PbS, *сфалерит* (цинкова обманка) ZnS, *молібденіт* (молібденовий полиск) MoS₂ і *кіновар* (з арабської “кров дракона”) HgS та інші.

До класу **галоїдних сполук** належать мінерали, які є солями фтористо-, бромисто-, хлористо- та йодистоводневих кислот. Найпоширенішими серед них є хлористі і фтористі сполуки, такі як *галіт* (кухонна сіль) NaCl, *сільвін* KCl, *карналіт* MgCl₂·KCl·6H₂O і *флюорит* (плавиковий шпат) CaF₂.

Клас **оксидів і гідроксидів** об'єднує мінерали, представлені сполуками різних елементів з киснем (оксиди) і з киснем та гідроксильною групою OH (гідроксиди). Мінерали цього класу діляться на дві групи: оксиди та гідроксиди кремнію (група кварцу) і оксиди та гідроксиди металів. Найпоширенішим серед мінералів даного класу є *кварц* SiO₂. Він складає близько 12 вагових % земної кори і входить до складу майже всіх генетичних типів гірських порід. Гідроксид кремнію представлений мінералом, який називається *опал* (SiO₂·nH₂O).

Найпоширенішими і основними рудоутворюючими мінералами оксидів і гідроксидів металів є *магнетит* (магнітний залізняк) FeFe₂O₄, *гематит* (залізний полиск, або червоний залізняк) Fe₂O₃, *корунд* Al₂O₃, *хроміт* (хромітовий залізняк) FeCr₂O₄, *уранініт* (чорний діоксид урану) UO₂, *лімоніт* (бурий залізняк) Fe₂O₃·nH₂O, який являє собою мінеральний агрегат близьких за складом мінералів *гетиту* FeOОН та *гідрогетиту* FeOОН·nH₂O, *гібсит* Al(OH)₃, *діаспор* AlO(OH) та інші.

Найпоширенішими в земній корі мінералами класу **карбонатів** є *кальцит* (вапнистий шпат) CaCO₃, прозорий різновид якого називається *ісландським шпатом*, *доломіт* CaMg(CO₃)₂, *сидерит* (залізний шпат) FeCO₃ і *магнезит* MgCO₃.

Серед мінералів класу **фосфатів** найбільше практичне значення мають *апатит* Ca₅(F,Cl)[PO₄]₃ та близький до нього за хімічним складом прихованокристалічний фосфат кальцію – *фосфорит*.

Клас **сульфатів** об'єднує мінерали, які є солями сірчаної кислоти. Найпоширенішими з них є *гіпс* $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, *ангідрит*, (безводний сульфат кальцію) CaSO_4 , *мірабіліт* (глауберова сіль) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ *барит* (важкий шпат) BaSO_4 .

Найпоширенішими в земній корі є мінерали класу **силікатів**. Вони складають близько 90 вагових % кори та входять до складу гірських порід усіх типів. Це дуже складні за хімічним складом та внутрішньою будовою мінерали. В основі кристалічної ґратки всіх силікатів лежить іонна чотирьохвалентна група SiO_4 , яка утворює геометричну фігуру, що називається тетраедром (від грец. “тетра” – чотири і “гедра” – грань). Різноманітне поєднання таких тетраедрів (рис. 3.5.) зумовлює структуру силікатів. За характером будови внутрішньої структури всі силікати діляться на острівні, кільцеві, ланцюжкові, стрічкові, шаруваті та каркасні.

Острівні силікати – це мінерали структура яких представлена ізольованими тетраедрами $[\text{SiO}_4]$ з приєднаними до них іонами інших елементів. Найпоширенішим мінералом силікатів цієї групи є *олівін* $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$.

Кільцеві силікати вирізняються тим, що в них кремнекисневі тетраедри з'єднуючись між собою утворюють кільця. Характерними їх представниками є *берил* $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ і *кордієрит* $(\text{Mg, Fe}_2)\text{Al}_3[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]$.

Ланцюжкові силікати – це мінерали структура яких нагадує низку безперервних ланцюжків тетраедрів. До них відноситься група **піроксенів** серед яких найпоширенішими мінералами є *гіперстен* $(\text{Mg, Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, *авгіт* $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe}^{2+}, \text{Al, Fe}^{3+})[(\text{Si, Al}_2\text{O}_6)]$ і *діонсид* $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

У **стрічкових силікатах** кремнекисневі тетраедри утворюють відокремлені стрічки, або смужки завдяки поєднанню ланцюжків. До них відноситься група **амфіболів**, характерною особливістю яких є дуже складний та мінливий хімічний склад. Найпоширенішим мінералом цієї групи є *рогова обманка* $(\text{Ca, Na})_2(\text{Mg, Fe}^{2+})_4(\text{Al, Fe}^{3+})(\text{OH})_2[(\text{Al, Si})_4\text{O}_{11}]_2$.

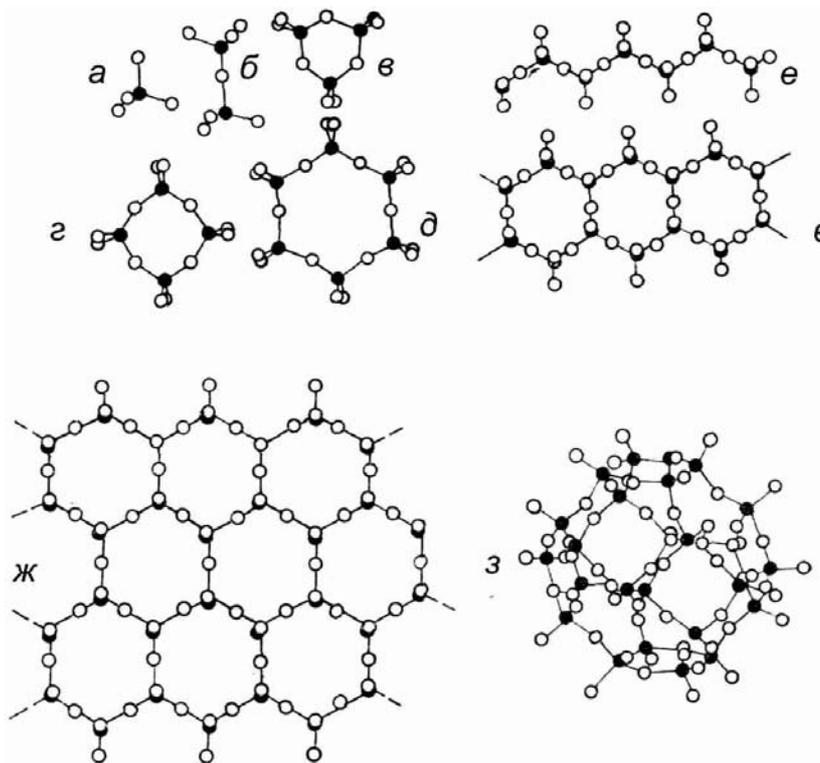


Рис. 3.5. Типи з'єднання кремнекисневих тетраедрів

а – кремнекисневий тетраедр; б – подвійний тетраедр; в – кільце з трьох тетраедрів; г – кільце з чотирьох тетраедрів; д – кільце з шести тетраедрів; е – ланцюжок; ж – лист; з – каркас.

Шаруваті, або листові, силікати об'єднують групу мінералів, структура яких зумовлена поєднанням стрічок у один безперервний шар. Серед них найважливішими породоутворюючими мінералами є *слюди*. Найпоширенішими з них є *мусковіт* $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ – калієва безбарвна слюда та її дрібнолускувата відміна – *серіцит* з характерним шовковистим полиском, і *біотит* $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{OH, F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ – чорна залізисто-магнезійна слюда. До цієї групи відносяться також

серпентин $Mg_6(OH)_8[Si_4O_{10}]$, *талък* $Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}]$ і хлорити, які належать до алюмосилікатів Mg і Fe складного мінливого складу.

До шарових силікатів відносяться також глинисті мінерали, які містять гідроксильну групу і нерідко, кристалізаційну та адсорбовану воду. Вони утворюються, здебільшого, при вивітрюванні магматичних і метаморфічних гірських порід, до складу яких входять польові шпати та слюди. Найпоширенішими серед них є *каолінит* $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$, *галуазит* $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10} \cdot 4H_2O]$, *монтморилоніт* $(Mg_3, Al_2)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$, *нонтроніт* або *феримонтморилоніт* $(Fe, Al_2)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ і *бейделіт* $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$. Монтморилоніт, бейделіт, нонтроніт та їх відміни складають монтморилонітову групу мінерали якої характерні для кори вивітрювання, а також для ґрунтів.

Гідрослюди – це, свого роду, змінені слюди які є проміжними між слюдами та монтморилонітом. До них відносяться *гідромусковіт* і *гідробіотит*, котрі збагачені H_2O , OH , H_3O . Хімічний склад гідрослюд дуже мінливий і може бути виражений типовою формулою $(K, H_3O)Al_2[(Al, Si)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$.

Найпоширенішим мінералом групи листових силікатів є *глауконіт* - водний алюмосилікат $(K, Fe, Al)K(Fe, Al, Mg)_3(OH)_2 [Al, Si_3O_{10}] \cdot nH_2O$.

Каркасні силікати об'єднують найбільш важливу групу породоутворюючих мінералів, до яких відносяться *польові шпати*. В них кремнекисневі тетраедри з'єднані між собою всіма чотирма вершинами, утворюючи, таким чином, своєрідний каркас.

Польові шпати є одними з найпоширеніших мінералів у земній корі, вони складають близько 50% її маси. Серед мінералів цієї групи виділяються калієво-натрієві польові шпати і вапнисто-натрієві, або плагіоклази. Серед перших найпоширенішим є *ортотлаз* $K[AlSi_3O_8]$. Плагіоклази представлені безперервним рядом ізоморфних мінералів крайніми членами якого є *альбіт* $Na[AlSi_3O_8]$ і *анортит* $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Всі проміжні мінерали цього ряду (*олігоклаз*, *андезин*, *лабрадор* і *бітовніт*) являють собою своєрідне поєднання в різних співвідношеннях альбітових та анортитових молекул. При цьому спостерігається зменшення вмісту в них оксиду кремнію, від альбіту, де він становить 68,8%, до анортиту – 43,28%. У зв'язку з цим плагіоклази поділяються на кислі, до яких відносяться альбіт і олігоклаз, середні – андезин і лабрадор, і основні – бітовніт і анортит.

До каркасних силікатів належать також і мінерали групи *фельдшпатоїдів*, які складаються з тих самих хімічних елементів що і польові шпати, але містять менше оксиду кремнію. Найпоширенішим серед мінералів цієї групи є *нефелін* $Na[AlSiO_4]$.

Геологічною практикою встановлено, що в природі, особливо в рудних родовищах, поряд утворюються декілька мінералів. Наприклад, кварц і золото на золоторудних родовищах, сфалерит, галеніт, халькопірит, руди срібла на поліметалічних родовищах, алмази і піроп (залізисто-глиноземистий гранат) на родовищах алмазів. Це дозволило встановити природні закономірності групування мінералів, які дістали назву **мінеральних парагенезисів** (термін "*парагенезис*" означає сумісне утворення та знаходження).

Мінеральний парагенезис – це два або більше мінералів які утворились у близьких умовах і так само, як декілька хімічних елементів складають мінерал, група, або парагенезис мінералів утворюють гірські породи.