

СКЛАД І БУДОВА ҐРУНТІВ

Ґрунт як багатокомпонентна система. Тверда компонента ґрунтів

Природні ґрунти, в основному, є продуктами фізичного і хімічного вивітрювання скельних гірських порід літосфери. Головною особливістю ґрунтів є їх роздробленість, тобто ґрунт складається з окремих твердих часток різної крупності, які представлені різноманітними мінералами (агрегатами) або уламками вихідних скельних порід. Мінерали які відіграють найбільш важливу роль в створенні і будові ґрунтів мають назву *породоутворюючих*.

За характером структурних зв'язків між агрегатами або уламками ґрунти поділяються на два класи: *скельні* з жорсткими кристалізаційними або цементаційними зв'язками хімічної природи та *нескельні* (дисперсні) – без жорстких зв'язків, в яких переважають зв'язки фізичної природи.

Скельні ґрунти суттєво відрізняються від нескельних умовами походження (генезисом), характером внутрішніх зв'язків і властивостями. За генезисом скельні ґрунти поділяються на чотири групи - магматичні, метаморфічні, осадові зцементовані і штучні (перетворені в природному заляганні). Всі вони володіють міцними кристалізаційними або цементаційними зв'язками, їх інженерно-геологічні властивості більш надійні (це обумовлено насамперед високою міцністю, незначним деформуванням і водопроникністю та високою стійкістю скельних ґрунтів), зазнають менших змін під дією зовнішніх факторів та легше вивчаються, ніж властивості нескельних ґрунтів.

Нескельні (дисперсні) ґрунти поділяються на п'ять груп - осадові органо-хімічні та слабозцементовані зв'язні, осадові глинисті, лесові та інші зв'язні ґрунти, осадові уламкові (незв'язні) ґрунти, сучасні осади водоймищ і штучні дисперсні ґрунти (ущільнені в умовах природного залягання, насипні та намівні).

У цілому, дисперсні ґрунти являють собою природні утворення, що складаються з мінеральної частини (скелету) і пор-порожнин (замкнених або тих, що сполучаються), які заповнені водою (в різних видах і станах) і газом (в тому числі атмосферним повітрям). До складу окремих видів ґрунтів також можуть входити органо-мінеральні й органічні сполуки. Співвідношення складових компонентів – твердої, рідкої та газоподібної й визначають фазовий стан ґрунту – рідка компонента є дисперсним середовищем, а тверда – дисперсною фазою. Завдяки тому, що розміри твердих часток і мінералів, які входять до складу ґрунтів, розрізняються як за величиною так і за складом, дисперсні ґрунти відносять до полімінеральних та полідисперсних систем.

Двокомпонентний (двофазовий) стан відповідає повному гідралічне безперервному заповненню пор водою (стан ґрунтової маси) або газом, *трьохкомпонентний* – частковому заповненню об'єму пор водою і газом, *чотирьохкомпонентний* - частковому заповненню об'єму пор водою, газом і льодом (стан мерзлого ґрунту). Трьохкомпонентний стан є найбільш характерним для більшості видів ґрунтів.

Тверда компонента ґрунту складається з різноманітних мінералів, органічної речовини, органо-мінеральних сполук та води у твердому стані. При

інженерно-геологічному вивченні гірських порід досліджуються тільки головні породоутворюючі мінерали, які вміщуються в породах у значної кількості та мають значний вплив на їх властивості.

Основними породоутворюючими мінералами в *магматичних гірських породах* є первинні мінерали – кварц, польові шпати, авгіт, слюда, рогова обманка та олівін.

До складу *метаморфічних гірських порід* входять як первинні - кварц, польові шпати, слюда, так і вторинні мінерали - тальк, хлорит тощо.

До складу *осадових гірських порід* можуть входити всі найбільш розповсюджені породоутворюючі мінерали – первинні (кварц, польові шпати, слюда тощо) та вторинні (кальцит, гіпс, ангідрит, доломіт і глинисті мінерали), а також органічна речовина й орґано-мінеральні сполуки.

Властивості мінералів залежать від хімічного складу, структури кристалічної решітки та характеру зв'язку між атомами, молекулами й іонами.

У кристалічних структурах основних породоутворюючих мінералів переважають такі типи хімічних зв'язків як ковалентний, іонний, водневий та молекулярний. Особливістю структурних зв'язків хімічної природи є те, що хімічний зв'язок безпосередньо здійснюється периферійними електронами атомів, так званими «валентними електронами». Характер взаємодії цих електронів може бути різним у залежності від величини електронегативності взаємодіючих атомів.

Іонний зв'язок характерний для атомів, що мають різні значення електронегативності. При взаємодії цих атомів валентні електрони переходять від атома з меншою електронегативністю до атома з більшою електронегативністю. У результаті утворюються два протилежно заряджених іони, між якими під впливом кулонівського тяжіння виникає іонний зв'язок. Іонні зв'язки обумовлюють характерні властивості простих солей (галоїдів, карбонатів, сульфатів).

Ковалентний зв'язок характерний для атомів, що мають близькі або однакові значення електронегативності. Зв'язок у цьому випадку формується за рахунок спільного використання пари електронів, які переходять з орбіти одного атома на спільну орбіту обох атомів. Спільні електрони обумовлюють міцний зв'язок між атомами, який відіграє основну роль у формуванні силікатів.

У сполуках, що містять водень (орґанічні речовини, вода, лід тощо), може проявлятися *водневий зв'язок*. Такий зв'язок утворюється за рахунок атома водню, що знаходиться між двома атомами та який ковалентне зв'язаний з одним атомом і може одночасно взаємодіяти із суміжним атомом іншої молекули. Водневий зв'язок має електростатичну природу й значно менший за своєю енергією, ніж ковалентний або іонний. Він характерний для найбільш електронегативних елементів типу кисню, фтору тощо, а також для глинистих мінералів.

Молекулярний зв'язок виникає за рахунок поляризації молекул, якщо вони знаходяться на відстанях, які значно перевищують їх іонні радіуси. Молекулярні сили приймають участь у формуванні зв'язків усіх мінералів, але

найбільш поширені в глинистих мінералах. Це найбільш слабкий зв'язок серед вище розглянутих .

Виходячи з переважаючого типу зв'язків хімічної природи, всі мінеральні утворення, що складають тверду фазу ґрунту, можна розділити на 5 груп сполук:

- мінерали класу первинних силікатів;
- прості солі;
- глинисті мінерали;
- органічна речовина й органо-мінеральні комплекси;
- лід.

У першій групі мінералів переважають зв'язки іонно-ковалентного типу, у другій - іонні зв'язки. Щодо останніх 3-х груп, то в них поряд з іонними й ковалентними значну роль у формуванні їх властивостей відіграють водневі та молекулярні зв'язки.

Особливості будови і властивості первинних силікатів, простих солей, глинистих мінералів, органічної речовини й органо-мінеральних комплексів та льоду

У будові кристалічної решітки первинних силікатів основним структурним елементом є кремнекисневий тетраедр, який складається з атома кремню і чотирьох атомів кисню. Окремі тетраедри поєднуються в різні сполучення, утворюючи ланцюжки, стрічки та сітки, які з'єднуються катіонами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} тощо

Кварц - один із найбільш поширених мінералів має каркасну структуру, у якій з'єднання кремнекисневих тетраедрів здійснюється через їх вершини. Така особливість будови кристалічної решітки обумовлює пухку (ажурну) структуру кварцу. Структура *польових шпатів* наближається до структури кварцу. Ці мінерали характеризуються відносно високою міцністю, практично нерозчинні у воді та більш схильні до вивітрювання в зв'язку з наявністю спайності. Особливості внутрішньої будови розглянутих мінералів, а також участь у їх хімічному складі кремню та кисню обумовили відносно невисоку щільність - вона змінюється в межах від 2,50 до 2,69 г/см³.

Інші мінерали цього класу - *піроксени* й *амфіболи* (ланцюжкові та стрічкові силікати), відрізняються більш щільним упакуванням атомів, причому зв'язок між ланцюжками й стрічками кремнекисневих тетраедрів здійснюється за допомогою катіонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} та Fe^{3+} . Ці мінерали мають середню міцність, слабо розчинюються у воді, зазнають сильного впливу вивітрювання завдяки наявності спайності та присутності в хімічному складі закисного заліза. Більш щільне упакування й наявність такого важкого хімічного елементу як залізо призводить і до значних величин щільності піроксенів і амфіболів – 2,80-3,70 г/см³.

До простих солей відносять галоїди (галіт, сильвін, карналіт), сульфати (гіпс, ангідрит, барит) і карбонати (кальцит, доломіт тощо), що досить широко розповсюджені, головним чином, серед осадових порід. Характерною

властивістю, що об'єднує прості солі, є розчинність. Найбільш розчинні галоїди (до 35,7 г в 100 см³ води при $t = 10^{\circ}\text{C}$), найменш - карбонати (тисячні долі грама в таких самих умовах).

Серед солей *галоїди* відрізняються самою простою будовою кристалічної решітки, яка має кубічну структуру. Для галіту вона характеризується чергуванням атомів Na^+ , Cl^- у вузлах кубічної решітки. Близьку до галіту внутрішню будову має кальцит.

З будовою кристалічної решітки тісно пов'язані властивості солей, у тому числі фізичні. Одна з них - щільність обумовлена як особливостями внутрішньої будови, так і присутністю важких елементів. У галоїдів при щільному упакуванні решітки їх щільність визначається в основному хімічним складом речовини - вона змінюється в межах 2,0-2,2 г/см³. *Карбонати*, у складі яких присутні атоми заліза характеризуються більш високими значеннями щільності – 2,35- 2,60 г/см³.

Глинисті мінерали - це водні силікати із шаруватою та шарувато-стрічковою будовою, які утворюються, головним чином, за рахунок хімічного вивітрювання гірських порід та складають найбільш тонкодисперсну частину осадової породи (розмір часток менше 1-2 мкм). Поряд із високою дисперсністю важливою особливістю глинистих мінералів є велика питома поверхня (сумарна поверхня всіх часток породи в одиниці об'єму, наприклад, в 1 см³), а отже, і високий потенціал поверхневої енергії, з яким пов'язаний ряд поверхневих явищ. У зв'язку із цим, глинисті мінерали є найбільш активною складовою частиною дисперсних гірських порід, які в значної мірі обумовлюють їх головні властивості (щільність, міцність, стійкість, водопроникність, пластичність тощо).

Кристалічна будова глинистих мінералів характеризується наявністю двох типів структурних елементів - тетраедра й октаедра. Характерні риси будови *тетраедра* були розглянуті при описанні первинних силікатів. Другий структурний елемент - *октаедр* складається з 6 атомів кисню або гідроксильних груп, у центрі його розміщуються атоми Al^+ , Fe^+ або Mg^{2+} . Окремі октаедри також здатні утворювати двомірні сітки, у яких сусідні октаедри мають загальне ребро, але поверхні цих сіток складаються як атомами кисню, так і гідроксильними групами.

Тетраедричні та октаедричні сітки в зв'язку з близькістю елементарних комірок можуть утворювати структурні шари. *Структурний шар* може бути представлений однією тетраедричною й однією октаедричною сітками (таке співвідношення сіток позначається 1:1 і характерне для мінералів групи каолініту), двома тетраедричними й однією октаедричною сітками в мінералів груп монтморилоніту та гідрослюди (2:1) або двома тетраедричними і двома октаедричними сітками в мінералів групи хлориту (2:1:1). Поряд із мінералами із шаруватою структурою значно поширені змішано-шаруваті мінерали, структура яких складається шляхом чергування шарів різного типу.

Характер поведінки глинистих мінералів суттєво залежить від характеру взаємодії атомів, що виходять у між шаровий простір. Так, для мінералів групи *каолініту* (до якої належать аноксит, фолерит, диккит, накрит та галуазит)

взаємодія структурних шарів здійснюється між атомами кисню з боку верхнього шару, і атомами кисню й гідроксильної групи з нижнього. Такий контакт, що обумовлений водневим і молекулярним зв'язком, забезпечує достатньо міцну (жорстку) структуру кристалічної решітки. У цих мінералів молекули води не можуть проникнути в між шаровий простір, тому пов'язаний із цим процес набухання, відбувається лише на поверхні окремих глинистих часток.

У мінералах групи *монтморилоніту* (куди входять ще нонтроніт, гекторіт тощо) у між шаровий простір виходять атоми кисню. Цей контакт обумовлюється лише молекулярним зв'язком і характеризується слабкою взаємодією структурних шарів. Мінерали цієї групи мають рухому кристалічну структуру, молекули води легко проходять у між шаровий простір і викликають значне набухання аж до повної втрати зв'язків між структурними шарами.

Мінерали групи *гідрослюд* (сапоніт, сауконіт, глауконіт тощо) за будовою кристалічної решітки наближаються до мінералів групи монтморилоніту, але ж зв'язок у міжшаровому просторі здійснюється за допомогою атома калію. Ця особливість структури, що обумовлена наявністю іонно-електростатичних і молекулярних зв'язків, визначає проміжне становище цієї групи мінералів між групами каолініту і монтморилоніту.

У *змішано-шаруватих мінералів*, у будові яких приймають участь шари різних типів, має місце чергування шарів, що набухають і шарів, що не набухають. Таким чином, ці глинисті мінерали також займають проміжне положення між мінералами з жорсткою й рухомою кристалічними структурами.

Серед глинистих порід різного віку й походження найбільш поширені змішано-шаруваті мінерали, потім гідрослюда, монтморилоніт і каолініт. При інженерно-геологічних дослідженнях важливе значення має вивчення основних груп глинистих мінералів - гідрослюд, монтморилоніту і каолініту, оскільки вони є найбільш поширеними в ґрунтах поверхневого шару літосфери, що є об'єктом інженерно-геологічного вивчення та особливості кристалохімічної будови яких мають визначне значення для оцінки особливостей поведінки глинистих ґрунтів при їх використанні з метою будівництва.

Для глинистих мінералів характерний *ізоморфізм*, під яким розуміють заміщення катіонів у вузлах кристалічної решітки без порушення її будови. Він обумовлює важливі зміни в складі, будові та енергетичному стані мінералів. Розрізняють *ізовалентні* (стехіометричні) та *гетеровалентні* (нестехіометричні) заміщення. Ізовалентний ізоморфізм пов'язаний із заміщенням катіонів однієї валентності, наприклад, іонів Mg^{2+} іонами заліза Fe^{2+} , а гетеровалентні заміщення характеризуються заміною іонів різної валентності, як правило, нижчої. При цьому можливі такі схеми: 1) взаємозаміщення катіонів здійснюється, таким чином, що сума зарядів залишається однаковою (наприклад, $2Al^{3+}$ на $3Mg^{2+}$) та 2) сума зарядів катіонів, які заміщають або заміщених катіонів неоднакова (наприклад, при заміщенні одного катіона Si^{4+} одним катіоном Al^{3+}). Таким чином, глинисті мінерали набувають негативного потенціалу, який суттєво впливає на поведінку мінералу, особливо у водному середовищі. На активні центри поверхні

кристалів, які мають негативний потенціал, орієнтуються так звані «катионні компенсатори» Na^+ , K^+ , Ca^{2+} та Mg^{2+} . Їх присутність, з одного боку, збільшує міцність структури мінералу за рахунок формування нових іонно-електростатичних зв'язків, а, з другого - сприяє гідратації мінералу, що справляє протилежну дію, підвищуючи вміст води на поверхні мінеральних часток, а також частково в між шарових просторах структури мінералів.

Особливості кристалохімічної будови глинистих мінералів впливають на їх властивості, зокрема, на фізичні. Так, щільність глинистих мінералів пов'язана зі специфічними властивостями кристалічної будови, яка в природному стані ґрунтів обумовлена вмістом зв'язної води, і, таким чином, залежить від інтенсивності гідратації мінералу. Щільність монтморилоніту по мірі збільшення ступеню гідратації підвищується від 2,35 до 2,70 г/см³.

Органічна речовина достатньо широко зустрічається в різних ґрунтах не тільки на поверхні, але в розрізі ґрунтових товщ (так звані «викопні ґрунти»). Уміст органічної речовини в рослинному шарі ґрунтів досягає максимальних значень 15-20%, у викопних ґрунтах 0,5-1,2%. Накопичення органічних сполук здійснюється в більшості в глинистих породах, формування їх відбувається, головним чином, за рахунок рослинних залишків, меншою мірою - за рахунок життєдіяльності організмів і тварин.

Органічні сполуки (особливо гумус) суттєво впливають на властивості ґрунтів. Їх присутність навіть у невеликих кількостях підвищує вологоємкість, пластичність, знижує водопроникність, підвищує стисливість тощо

Гумус є найбільш розкладеною частиною органічної речовини. Він складається з гумінових речовин, у склад яких входять гумінові кислоти й гумін, який не має кислотних властивостей. Найбільш активну роль у процесах вивітрювання ґрунтів, а також гідратації й сорбції відіграють гумінові кислоти. Особливістю їх структури є «губчаста» будова з багатою кількістю мікропор. Це обумовлює здатність гумінових кислот легко сорбуватись на поверхні мінералів і часток ґрунту, а також утримувати значну кількість води. У зв'язку зі складнощами виділення гумусу та інших органічних речовин їх фізичні та механічні властивості вивчені слабо.

Органо-мінеральні комплекси утворюються в процесі розкладання органічної речовини. При цьому частина органічної сполуки переходить у молекулярно-дисперсний стан і стає розчинною. Вона сорбується глинистими мінералами, що призводить до утворення органо-мінеральних комплексів. Сорбція органо-мінеральних комплексів відбувається як на базальних поверхнях, так і на бокових сколах глинистих мінералів. Найбільшу поглинальну здатність мають вермикуліт та монтморилоніт, меншу - гідрослюда й каолініт.

Лід є специфічним мінеральним утворенням, що за своїм складом, будовою й властивостями, суттєво відрізняється від інших мінералів та органічних сполук. У мерзлих ґрунтах лід є твердою компонентною, він обумовлює характер їх будови і головні властивостей. При негативній температурі лід являє собою цементуючий засіб, завдяки чому ґрунт набуває значної міцності, але підвищення температури призводить до втрати високих

будівельних якостей ґрунту. Динамічна нестійкість структури льоду, залежність його поведінки від термодинамічних умов зовнішнього середовища потребує особливих підходів до технології будівництва й експлуатації споруд у місцях розвитку багаторічномерзлих порід, а також урахування глибин промерзання ґрунтів, при будівництві на інших територіях.