**4. МАГМАТИЗМ І МАГМАТИЧНІ ПОРОДИ**

Вулканічні виверження – одні з найбільш руйнівних і страшних явищ природи. Вони спостерігалися і реєструвалися протягом століть. Термін вулканізм походить від слова «вулкано» – назви найбільшого вулканічного острова біля берегів Італії.

Перша стадія магматичної діяльності – утворення рідкої *магми*, розплавленої породи в надрах Землі. Магматичний розплав може містити зважені кристали і розчинені гази, особливо, водяну пару. При виливанні магми на поверхню утворюється *лава*. При остиганні і кристалізації магми утворюються магматичні породи.

Головним джерелом внутрішнього тепла Землі служить радіоактивність. *Геотермічний градієнт* показує збільшення температури з глибиною і зазвичай змінюється від 2,5 до 3 °C на 100 м. Відповідно, *геотермічний ступінь* – це підвищення температури на кожні 100 м глибини від земної поверхні, що зазвичай складає 3–4 °С. Магматичний розплав, який виливається, зазвичай має температуру 1200–1400 °С.

Для плавлення порід має бути присутній певний простір, так як при цьому їх об’єм збільшується приблизно на 10 %. Збільшена в об’ємі і, відповідно, більш легка магма гідростатично, за рахунок ваги твердих порід навколо неї і зверху, витискається вгору по тріщинах. Вона може застигнути на глибині або прорватися на земну поверхню у вигляді вулканічних вивержень *центрального* або *тріщинного* типу. Після виверження магматичного розплаву об’ємом до 10 – 20 км3 ділянка земної поверхні зазвичай провалюється, заповнюючи утворену в надрах пустоту.

Застигла на глибині магма утворює тіла різної форми, які називаються *інтрузіями*. При виливанні на поверхню виникають ефузивнітіла. Форми інтрузивних утворень зображені на рис. 4.1, будова вулканічного апарату – на рис. 4.2.

На земну поверхню інтрузії виступають після тривалої ерозії і розмивання порід, які їх перекривають. Відомі виходи *батолітів* площею декілька тисяч кв. км в Карелії. Відгалуження від батоліту називається *штоком*.

*Сіли* залягають згідно з оточуючими породами, їх потужність сягає декількох сотень метрів.

Утворення *лаколіту* відбувається у випадку впровадження магми з підняттям оточуючих порід, його потужність складає від десятків до сотень метрів.

*Дайки* утворюються в тріщинах земної кори, вони характеризуються значною протяжністю, іноді на декілька кілометрів, і товщиною від часток метру до десятків метрів.



***Рис. 4.1. Форми залягання інтрузій***

*Нек* – застигле вулканічне жерло. Якщо магма вилилась з вулкану і тече в одному напрямку в формі витягнутого язика, то вона утворить *поток*; якщо вилив відбувається з протяжної тріщини і магма рівномірно покриває площі в десятки і сотні кілометрів, то утвориться *покров*.

Вулкани бувають *ефузивні* з спокійним характером виливів і *експлозивні* (вибухові). Вони можуть приймати форму лавових або шлакових конусів, складних конусів; бувають діючими, сплячими або згаслими. Склад виливної лави знаходиться в широких межах. Вершина вулкана – це кратер або кальдера; відрізняються вони розмірами і будовою. *Кратером* називають утворену при виверженні воронку діаметром від декількох метрів до кілометра. *Кальдери* бувають діаметром до 10 км (Анпакчак на Алясці), в періоди між виверженнями зазвичай вони заповнені озерами.



***Рис. 4.2. Схема будови вулканічного апарату***

*1 – кальдера; 2 – сома; 3 – конус; 4 – кратер; 5 – жерло; 6 – лавовий потік; 7 – лавовий осередок*

Зараз відомо біля 600 вулканів, які діяли за пам’яті людства. Дві третини з них зосереджені в острівних дугах навколо Тихого океану або на континентальній стороні границь між плитами. Другий пояс концентрації вулканів, в якому зосереджена приблизно четверть їх загальної кількості, протягуються від Італії, Туреччини через Південну Азію до Індонезії. Вулкани третьої групи пов’язані з серединно-океанічними хребтами Атлантики. Іще відмічається черга вулканічних островів в Тихому океані, і в першу чергу Гавайські острови.

Крім наземних вулканів, в акваторії Тихого океану знаходиться біля 10000 підводних вулканів висотою не менше 1 км. Більшість з них ніколи не піднімались вище рівня моря, але деякі були вулканічними островами, які тепер занурились внаслідок рухів земної кори.

**4.1. Продукти вулканічних вивержень**

*4.1.1. Газоподібні вулканічні продукти*.

75–90 % газоподібних компонентів, які виділяються при виверженнях вулканів, складає водяна пара. Іще присутні сполуки азоту і вуглецю, сірководень, сірчані гази, сірка, хлор, фтор, аміак, метан, аргон і продукти їх реакцій. При взаємодії з атмосферною вологою, багато з цих речовин утворюють кислоти, що призводить до випадання рясних «кислотних дощів».

*Фумароли* – це жерла, через які біля підніжь вулканів в періоди між інтенсивними виверженнями вириваються водяна пара та інші розігріті гази з температурою від 100 до 650 °С. З газів шляхом возгонки утворюються самородна сірка, хлориди металів, сульфіди ртуті, миш’яку, сурми та інші сполуки. Дуже небезпечні для людини і тварин викиди оксидів вуглецю, які не помітні неозброєним оком, але отруюють все живе.

*Сольфатари* – це фумароли, які виділяють сірчані гази. Звичайним продуктом є сірководень, з якого осідає сірка. Промислова розробка сірки з сольфатар проводиться в Італії, Мексиці, Японії.

*4.1.2. Рідкі продукти вивержень.*

Рідкими продуктами перш за все є сама магма, яка виливається у вигляді лави. Форма, розміри, особливості внутрішньої і зовнішньої будови лавових потоків дуже сильно залежать від характеристик магми.

Рідкі *базальтові* лави вихлюпуються з початковою температурою 1000 – 1200 °С, і зберігають текучість навіть при 700 °С. Перш ніж лава застигне, вона розтікається на відстань 20–30 км від осередку виверження. Швидкість руху рідких базальтових лав досягає 50 км/год, і їх виверження має доволі спокійний характер.

*Гранітні* лави дуже в’язкі, насичені газами, їхні виверження відбуваються з великими шумовими ефектами. Температура таких лав при виверженні часто не досягає і 1000 °С. На поверхні землі така лава розтікається повільно, швидкість потоку зазвичай достягає всього лише декілька десятків метрів за добу. В результате виникають лавові потоки відносно невеликої довжини, зазвичай не більше 1 км.

Ефузивні породи основного складу мають широке розповсюдження на земній кулі. Оскільки гранітні лави в’язкі і важко видавлюються на поверхню землі, вони як ефузивні утворення зустрічаються набагато рідше, ніж базальтові.

*4.1.3. Тверді вулканічні продукти*

Тверді вулканічні продукти називаються *пірокластичними уламками*, або *пірокластами*. Це можуть бути шматки породи, захоплені потоком лави з глибини. Але основна частина пірокластів являє собою шматки лави, які вилетіли з жерла вулкана при його виверженні. Пролетівши багато сотень метрів, вони вистигали в повітрі і падали на схили вулкана вже затверділими. Уламки довжиною більше 7 см називають *вулканічними бомбами*, від 2 мм до 7 см – *лапілі*, а частинки розміром менше 2 мм класифікуються як *вулканічний попіл*. Частинки попелу зазвичай складаються з уламків кристалів або скла. Найбільш розповсюджений склуватий попіл.

Потужні експлозивні виверження викидають в атмосферу до висоти 40 км величезні кількості попелу, які можуть навіть впливати на клімат на Землі. Після виверження вулкану тріщинного типу Лакі в Ісландії в 1973 р. у верхніх шарах атмосфери було стільки багато попелу, що протягом наступного року температура повітря в Північній півкулі знизилася на 1–2 °С.

Виверження вулкана Пінатубо на Філіппінах в 1992 р. супроводжувалося катастрофічним падінням попелу, який примусив американців евакуювати свої військові бази. Але, мабуть, самий потужний вулканічний вибух, який пам’ятають люди, відбувся в 1815 р. на острові Сумбава в Індонезії. Тоді при вибуху вулкана Тамбора об’єм виверженого попелу досяг 80 км3.

**4.2. Типи вивержень і приклади вулканічної діяльності**

Вулканологи виділяють шість основних типів вивержень вулканів, які характеризуються своєрідним протіканням процесу виверження (рис. 4.3).



***Рис. 4.3. Типи вивержень вулканів***

*1 – катмайський; 2 – пелейський; 3 – плініанський; 4 – гавайський;*

*5 – стромболіанський; 6 – вулканський*

***Катмайський*** тип (за назвою тріщинного вулкану Катмай що на Алясці) – потужний вибух з руйнуванням вулканічної побудови і утворенням великої кількості спеченого пірокластичного матеріалу (ігнімбритів).

***Пелейський*** тип (за назвою вулкана Мон-Пеле на о. Мартиніка в архіпелазі Малих Антильських островів) – виверження, під час якого дуже в’язка лава видавлюється з жерла не розтікаючись, або закупорює його так, що накопичені гази розривають вершину вулкана. Утворюються розпечені хмари, і суміш з газів і рухомого матеріалу потоками з великою швидкістю стікає вниз по схилах.

Виверження ***плініанського*** типу (в 79 р. н.е. описане італійським істориком Плінієм молодшим при виверженні Везувію) – виверження з викидами великої кількості пірокластичного матеріалу і газів.

***Гавайський*** тип (характерний для вулканів Гавайських островів) – виверження з рідкою лавою, яка швидко тече, без великих вибухів.

***Стромболіанський*** тип – (за назвою вулкана Стромболі на одному з Ліпарських островів) – виверження з рухомими потоками лави, які супроводжуються потужними вибухами, викидами пірокластичного матеріалу і грушоподібних, часто скручених бомб.

Виверження ***вулканського*** типу – (за назвою вулкану Вулькано на одному з Ліпарських островів) – виверження з дуже в’язкою лавою, яка схильна утворювати куполи; гази під час такого виверження створюють оглушливі вибухи з викидом в атмосферу великої кількості пірокластичного матеріалу і бомб типу «хлібної кірки».

Приведем приклади вивержень деяких вулканів.

*Вулкан Парикутин*, Мексика, 1943–1952 р. Він виник одного разу вранці посеред маїсового поля і за добу виріс до конусу висотою 10 м. Через тиждень висота вулкана досягла 110 м. За перший рік він виріс до висоти 325 м. Вулканологи організували спостереження за виверженням і зафіксували історію вулкану від народження до згасання. В кінці виверження площа еліптичного конуса складала 600х900 м, висота 420 м і діаметр кратера 270 м. Навколишня територія на великому просторі була покрита вулканічним попелом. Сумарний об’єм продуктів виверження склав 0,8 км3.

*Вулкан Мауна-Лоа* на Гавайських островах піднімаєтеся з дна океану з глибини біля 5300 м і підноситься на 4500 м над рівнем океану; таким чином, загальна висота вулкану досягає біля 10000 м. Його об’єм перевищує 21000 км3, тобто його об’єм більше будь-якого з усіх інших вулканів земної кулі. Мауна-Лоа має широку куполоподібну вершину і пологі схили, які складені тонкими потоками базальтової лави. На вершині присутня кальдера довжиною 6 км і шириною до 3 км; її стінки місцями піднімаються на 200 м. Дно кальдери по довжині розсічене декількома субпаралельними тріщинами, по яких час від часу лава піднімається до бортів кальдери і переливається через її край. Вулкан регулярно діє протягом двох століть.

*Вулкан Мон-Пеле*, острів Мартиніка в Карибському морі, 1902 р. До цього, в 1792 і 1851 роках, тут спостерігалися середні за силою виверження. Весною 1902 р. надзвичайно в’язка лава піднялася в кратері; при цьому утворилася куполоподібна масивна кірка, яка закупорила отвір підвідного каналу. Перегріта водяна пара, яка стримувалася цією пробкою, періодично виривалася з-під неї, захоплюючи разом з собою гарячі, насичені попелом розпечені хмари, які володіють великою щільність і скочуються вниз по схилу. 8 травня відбувся особливо потужний вибух, і розпечена хмара з температурою 600 °С пронеслась над містом Сен–П’єр, вбивши за одну хвилину 28000 жителів. Вижив лише один в’язень в підземній в’язниці. Всі кораблі, які стояли в гавані, були перекинуті і спалені. В жовтні 1902 р. пробка була виштовхнута і розкололася на шматки, але з тріщини до вершинної частини гори стала підніматися потужна дуже в’язка «голка» – скельний моноліт, який до весни 1903 р. досяг висоти більше 300 м. Потім протягом року «голка» зруйнувалася.

*Вулкан Кракатау*, Індонезія, 1883 р. Найвідоміше експлозивне виверження відбулося на острові Кракатау, який розташований в західній частині о. Ява. За шість років до виверження в районе почалися землетруси, частота яких поступово зростала до травня 1883 р., коли Кракатау почав викидати вулканічний попіл. Сила виверження росла і сягнула максимуму в серпні 1883 р. Серією гігантських вибухів, які тривали три дні, була знесена частина острова і викинута велика маса пемзи. Хмари, наповнені задушливим вулканічним пилом, затьмарили вдень небо над Джакартою, яка віддалена на 160 км; потім при конденсації пари випав грязьовий дощ. Тонкий вулканічний пил здійнявся вгору на десятки кілометрів, в стратосферу. За два тижні пил рознесло по всій земній кулі. Судячи по 65-метровій товщині пемзи в околицях вулкану, загальна кількість виверженого матеріалу склала біля 20 км2. Пемза випала на площі радіусом 15 км. Взаємодія гарячої лави з морською водою, яка проникла в кальдеру, викликала вибух, який чули в Австралії на відстані 5000 км. Викликані землетрусом цунамі досягли висоти 40 м. Після того як підземний резервуар з насиченою газами лавою в результате вибухів спорожнів, поверхня швидко провалилася, і утворився басейн шириною біля 6 км і глибиною 230 м. В 1923, 1933, 1972 роках фіксувалися нові виверження, але значно меншої потужності.

*Тріщинні виливи Ісландії*. Ісландія розташована безпосередньо на Серединно-Атлантичному хребті. Саме велике з описаних вивержень відбулося в 1783 р. Лава поступала з тріщини довжиною 30 км, і протягом двох місяців під час трьох основних вивержень вилилося біля 12 км3 лави базальтового складу. Рухомі лавові потоки розтіклися на відстань більше 25 км від жерла і затопили територію площею 915 км2. В кінці виверження на тріщині утворилося двадцять невеликих шлакових конусів. Попіл об’ємом біля 3 км3 знищив всі навколишні поля і пасовища.

*Вулкани Камчатки*. Авачинська сопка – діючий вулкан висотою 2751 м, розташований на відстані 30 км від м. Петропавловськ-Камчатський. Вулкан за останні 230 років вивергався 16 разів. Магматичний осередок розміщений на 5–7 км нижче земної поверхні, а виверження відбуваються внаслідок закупорки жерла вулкана застиглою лавою. Коли під напором газів ця пробка вибивається, відбувається наступне виверження. Найпівнічніший постійно діючий камчатський вулкан – Шивелуч висотою 3335 м. Виверження осінню 1964 р. тривало всього біля години, але воно було надзвичайно потужним, вибухового типу, з розпеченими хмарами. Сила вибуху була така, що брили вагою до 3000 т летіли на відстань від 2 до 12 км. На півдні Камчатки розташований вулкан Безіменний висотою трохи більше 3 км. Він вважався згаслим, але 22 вересня 1955 р. несподівано почав вивергатися, і газо-пилові хмари досягли висоти 5–8 км. 30 березня 1956 р. сильний вибух зніс вершину вулкана і понизив його на 300 м, а хмара попелу і газів піднялась в стратосферу на висоту 40 км. Після виверження в кратері Безіменного почав рости купол з в’язких лав, який через 7 років досяг висоти декількох сотень метрів.

**4.3. Класифікація магматичних порід**

Головними хімічними елементами, з яких складаються магматичні породи, є O, Si, Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Ti, H. Вони носять назву *петрогенних* елементів. Мінеральний склад магматичних порід досить різноманітний, проте головних *породотворних* мінералів не так вже й багато. Це кварц, калієві польові шпати, плагіоклази, лейцит, нефелін, піроксени, амфіболи, слюди, олівін. Виділяють ще *акцесорні* мінерали, які присутні в невеликій кількості у вигляді рідкісної, але характерної домішки, наприклад, циркон, хроміт, пірит, піротин та ін., хоча іони можуть бути відсутніми.

Мінерали, збагачені кремнієм і алюмінієм, називаються *сіалічними* (Si, Al), вони мають світле забарвлення. Такими є це польові шпати, кварц, мусковіт. Мінерали, які містять магній і залізо, називаються *мафічними* (Mg, Fe), їх іще називають кольоровими мінералами; вони мають темне забарвлення і до них належать піроксени, амфіболи, біотит, олівін. При відсутності кольорових мінералів порода світла, тобто *лейкократова*, а якщо кольорових мінералів багато, вона темна, тобто *меланократова*.

Мінерали магматичних порід поділяються на первинні і вторинні. *Первинні* утворюються в результаті кристалізації самої магми, а *вторинні* – за рахунок перетворення первинних в наступні етапи перетворення порід при вивітрюванні або метаморфічних процесах.

Магматичні породи класифікують за хімічним складом. За основу взято вміст кремнезему SiO2, який в петрографії називають *кремнекислотою*, і сумарний вміст оксидів Na і K, які в петрографії називають *лугами*. За ступенем кислотності виділяють 4 групи магматичних порід (табл. 4.1). В окрему групу виділяються лужні породи, які характеризуються значним вмістом лугів (до 20 %) і кількістю кремнезему (біля 40–55 %).

Кисла гранітна магма в’язка і зазвичай застигає на глибині. Вилиті аналоги гранітів на поверхні зустрічаються нечасто. Лише в гранітах в великій кількості зустрічається кварц, який помітний неозброєним оком. Інша важлива особливість кислих магм – невелика кількість Mg і Fe, тобто елементів, які характерні для темно забарвлених мінералів. До того ж, магній і залізо значно важчі за Si, Al, K, Na, і в процесі розшарування магматичного розплаву мафічні компоненти опускаються нижче сіалічних.

Фізико-хімічні обстановки, в яких відбувається процес застигання магми на глибині і на поверхні, дуже різні. З цієї причини з магми однакового складу в глибинних і поверхневих умовах утворюються різні породи. Кожній інтрузивній породі відповідає вилита порода, яка називається *ефузивним аналогом*. Вони розрізняються за структурою і текстурою.

*Структура* – це особливості внутрішньої будови породи, зумовлені ступенем кристалічності її речовини, розмірами і характером зростання мінеральних зерен в породі.

*Текстура* – це будова породи, зумовлена взаємним розташуванням і розподілом мінералів або уламкових зерен, які складають породу, а також характером заповнення простору породи мінеральною речовиною.

*Таблиця 4.1.*

***Класифікація магматичних порід***

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Група порід за ступенем кислотності (вміст SiO2, %) | Показник кислотності | Темнобарвні складові | Кількість темно-барвних складових | Інтрузивні (глибинні) | Ефузивні (вилиті) | Загальне забарвлення породи |
| Ультраосновні, менше 40 | олівін (багато) | піроксени | 100 % | дуніт перидотит піроксеніт | пікриткімберліт | чорні або темно-зелені |
| Основні, 40-55 | олівін (дуже мало) | піроксени, рогова обманка | 50 % | габро | базальтдолеритдіабаз | темні |
| Середні, 55-65з плагіоклазамиз КПШ | кварц (до 5 %) | біотит, рогова обманка, піроксени | 15-25 % | діоритсієніт | андезиттрахіт | сірі |
| Кислі, 65-75 | кварц (до 30 %) | біотит, рогова обманка | 5-15 % | граніт | ріолітобсидіанпемза | світлі |
| Лужні, 40-55 і лугів до 20 % | нефелін | лужні піроксени і амфіболи, рідше біотит | до 30 % | нефеліновий сієніт | фоноліт | сірі, темно-сірі |

В магматичних порід відмічаються наступні основні типи структур: повнокристалічна (крупнозерниста, середньозерниста, дрібнозерниста), прихованокристалічна (афанітова), склоподібна, порфірова, миндалекам’яна. Серед текстур в магматичних породах розрізняють масивну, пористу, бульбашкову текстури.

Для всіх інтрузивних порід характерна повнокристалічна структура, так як вистигання магми відбувалося дуже повільно, і завдяки цьому речовина кристалізується повністю. Ефузивні породи повнокристалічну структуру мають рідко. Для ефузивних порід характерні прихованокристалічна, склоподібна, дрібнозерниста, порфірова структури. Це пояснюється тем, що застигання лави відбувається швидко, і вона не встигає розкристалізуватися. Якщо процес кристалізації почався, коли магма ще знаходилась в глибинних умовах, ефузивні породи набувають порфірову структуру. В результаті вторинних процесів ефузивні породи можуть набути и миндалекам’яну структуру.

Текстура інтрузивних порід завжди масивна. Ефузивні породи часто також мають масивну текстуру, але поряд з цим в них часто спостерігається також пориста і бульбашкова текстури.

***Питання для самоперевірки***

1. Назвіть форми залягання інтрузій.

2. Як влаштований вулканічний апарат?

3. Що таке інтрузивні та ефузивні породи?

4. Розкажіть про типи вивержень і нині діючих вулканах.

5. Назвіть продукти вулканічних вивержень.

6. Як класифікують магматичні породи?

7. Чи може колір магматичної породи вказувати на її хімічний склад?

8. Яка магма більш рухома – кисла чи основна?

9. Що таке структура і текстура гірської породи?

10. Як за зовнішнім виглядом відрізнити глибину магматичну породу від вилитої?