

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від 05 вересня 2025 р.
№05

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з навчальної дисципліни «Геологія»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності G16 «Гірництво та нафтогазові технології»
освітньо-професійна програма «Гірництво»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра маркшейдерії

Рекомендовано на засіданні
кафедри гірничих технологій та
будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
25 серпня 2025 р.,
протокол № 8

Розробники:

д.геол.н, проф. кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
ПІДВИСОЦЬКИЙ Віктор,
ст. викладач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
ОСТАФІЙЧУК Неля,
к.т.н., доц. кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
БАШИНСЬКИЙ Сергій

Житомир
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 2

УДК 551

Конспект лекцій з навчальної дисципліни “Геологія” (для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності G16 «Гірництво та нафтогазові технології» освітньо-професійна програма «Гірництво»).

Укладачі – д.геол.н., проф. ПІДВИСОЦЬКИЙ Віктор, ст. викладач ОСТАФІЙЧУК Неля, к.т.н., доц. БАШИНСЬКИЙ Сергій. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2025. – 96 с.

Рецензенти:

к.т.н., доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. ШАМРАЙ Володимир

к.т.н., доцент кафедри маркшейдерії ПАНАСЮК Андрій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G.16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 3

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОЛОГІЮ

1.1. Геологія, об'єкти її досліджень та завдання. Галузі геології, їх зв'язки з іншими науками

Геологія – це наука про Землю, її будову, склад, походження, історію розвитку та процеси, що відбуваються в її надрах і на поверхні.

Об'єкти дослідження геології: Земля в цілому як планета Сонячної системи; земна кора, мантія та ядро; гірські породи (магматичні, осадові, метаморфічні); мінерали; геологічні процеси (вулканізм, тектонічні рухи, вивітрювання, ерозія); родовища корисних копалин; геологічна історія Землі та розвиток життя.

Основними завданнями геології є: вивчення будови та складу земної кори; дослідження геологічних процесів і закономірностей їх розвитку; встановлення віку гірських порід і геологічних подій; пошук, розвідка та оцінка родовищ корисних копалин; прогнозування геологічних небезпек (землетруси, зсуви, вулканічні виверження); забезпечення раціонального використання надр та охорони геологічного середовища.

Геологія є комплексною наукою і включає багато спеціалізованих галузей, серед яких основними є:

Мінералогія – наука, що вивчає мінерали (природні тверді хімічні сполуки), їхній хімічний склад, внутрішню структуру (кристалографію), фізичні властивості, процеси утворення та зміни в земній корі. Вона також досліджує закономірності поширення мінералів, методи їх синтезу та практичне використання. Мінералогія покликана сприяти задоволенню потреб людства у мінеральній сировині та її раціональному використанні.

Петрографія – наука, яка займається описом, класифікацією та вивченням мінерального, хімічного складу, текстури та структури гірських порід. Вона досліджує умови формування, походження (генезис) та поширення порід у земній корі. Часто петрографія розглядається як описова частина ширшої науки – петрології. Петрографія широко використовує мікроскопічні методи дослідження у поляризованому світлі (поляризаційна мікроскопія). Дослідження допомагають у пошуках корисних копалин, інженерно-геологічних роботах та розумінні геологічних процесів.

Літологія – наука, що вивчає осадові гірські породи, їхній склад, будову, походження (генезис) та закономірності просторового розміщення. Вона досліджує процеси утворення осадів (седиментогенез), їх перетворення на породи (діагенез, катагенез) та допомагає пошуку корисних копалин. За кордоном цю науку часто називають седиментологією. Літологія є важливою частиною петрографії, яка фокусується саме на екзогенних (зовнішніх) процесах утворення порід.

Геохімія – наука, яка вивчає хімічний склад Землі та інших планет, закони розподілу, міграції та концентрації хімічних елементів і ізотопів у різних геологічних оболонках (кора, мантія, гідросфера, атмосфера, біосфера) та процесах, таких як формування гірських порід, ґрунтів, природних вод, а також вплив живих організмів на ці процеси. Вона пояснює, чому елементи розташовані саме так, а не інакше, і як вони переміщуються в просторі та часі, використовуючи принципи сучасної хімії та фізики. Геохімія допомагає зрозуміти процеси формування Землі, походження корисних копалин, а також вирішувати екологічні проблеми та питання охорони навколишнього середовища.

Історична геологія – наука, яка вивчає послідовний розвиток Землі, формування її земної кори, зміни фізико-географічних умов та еволюцію органічного світу протягом усієї геологічної історії. Вона реконструює минулі епохи, базуючись на стратиграфії, палеонтології та тектоніці для прогнозування корисних копалин. Історична геологія дозволяє відтворити картину геологічних процесів, що відбувалися мільйони років тому.

Стратиграфія – розділ історичної геології, що вивчає послідовність формування, первинні взаємовідносини та географічне поширення шаруватих осадових, вулканогенних і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 4

метаморфічних гірських порід. Вона визначає відносний геологічний вік порід, встановлюючи, які пласти утворилися раніше, а які пізніше. Стратиграфія є основою для складання геологічних карт і допомагає встановлювати етапи розвитку біосфери.

Палеонтологія – наука, що вивчає вимерлі організми (тварини, рослини, мікроорганізми), їхній зовнішній вигляд, біологічні особливості, спосіб життя та еволюцію на основі викопних решток і слідів життєдіяльності. Вона об'єднує методи біології та геології для реконструкції екосистем минулого та визначення віку гірських порід. Палеонтологія реконструює світ, який існував мільйони років тому, допомагаючи зрозуміти місце людини в історії біосфери.

Тектоніка – наука, що вивчає будову, рухи, деформації та розвиток земної кори і літосфери загалом. Вона досліджує тектонічні процеси, що формують рельєф, спричиняють землетруси та вулканізм, а також залягання гірських порід. Важлива для пошуку корисних копалин, вивчення землетрусів та причин виникнення рельєфу.

Геоморфологія – наука, що вивчає рельєф земної поверхні, його зовнішній вигляд (морфологію), походження (генезис), вік, історію розвитку та сучасну динаміку. Вона досліджує як сушу, так і дно океанів, взаємодію зовнішніх та внутрішніх процесів, а також прогнозує зміни рельєфу під впливом природи та людини. Геоморфологія займається класифікацією та описом форм земної поверхні, аналізує ендегенні та екзогенні геологічні процеси, також вона використовується для пошуку корисних копалин, інженерного проєктування (будівництво доріг, споруд) та екологічного моніторингу.

Геофізика – це комплекс наук, що вивчає фізичні властивості Землі, атмосферу, гідросферу та процеси в її надрах, застосовуючи методи фізики для дослідження внутрішньої будови та пошуку корисних копалин. Вона використовує сейсмічні, магнітні, електричні та гравітаційні поля для "просвічування" надр без буріння. Геофізика дозволяє прогнозувати землетруси, вивчати структуру планети та проводити інженерно-геологічні дослідження.

Інженерна геологія – це наука і практичний напрям, що вивчає верхні горизонти земної кори (грунти, гірські породи) та їх взаємодію з інженерною діяльністю людини (будівництво, гідротехнічні споруди) для оцінки стійкості, безпеки та раціонального використання природних ресурсів, досліджуючи склад, властивості, динаміку геологічного середовища та прогножуючи можливі негативні процеси (зсуви, карст).

Гідрогеологія – що вивчає походження, умови залягання, склад, динаміку та поширення підземних вод у земній корі. Вона досліджує взаємодію води з гірськими породами, її фізичні та хімічні властивості, а також розробляє методи пошуку, використання, охорони підземних вод від забруднення та виснаження.

Геологія тісно пов'язана з такими науками, як: фізика → геофізика, сейсмологія; хімія → геохімія, мінералогія; біологія → палеонтологія; географія → геоморфологія; математика, інформатика → моделювання ділянок земної кори.

1.2. Основні поняття і терміни геології

Мінерал – це природні тверді неорганічні речовини з чітко визначеним хімічним складом та кристалічною структурою, що утворюються внаслідок геологічних процесів у земній корі.

Гірська порода – це природні агрегати однорідних або різних мінералів, що виникли за певних геологічних умов у земній корі або на її поверхні, більш чи менш стійкі за складом, які утворюють самостійні геологічні тіла.

Руда – це природне мінеральне утворення, що містить метали або їх сполуки у кількостях, достатніх для економічно вигідного промислового видобутку та переробки. Вона є основою для отримання металів (залізо, мідь, золото тощо) та деяких видів неметалічної сировини.

Корисна копалина – мінеральні утворення, гірські породи та тверді, рідкі або газоподібні речовини земної кори, які видобувають з надр чи поверхні Землі та ефективно використовують у господарській діяльності безпосередньо або після попередньої обробки (будівництві, промисловості, як паливо тощо).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 5

Родовище корисних копалин – це накопичення мінеральної речовини на певній площі в земній корі, що утворилось під впливом геологічних процесів, яке якісно та кількісно задовольняє вимогам промисловості при наявному стані техніки і в наявних економіко-географічних умовах.

Мінеральні ресурси – це сукупність запасів корисних копалин в надрах району, країни, групи країн, континенту, світу в цілому, яка підраховується з урахуванням існуючих кондицій на корисні копалини і досягнутого рівня їх переробки.

Магматизм – це сукупність геологічних процесів, пов'язаних із утворенням магми в надрах Землі (мантії або земній корі), її переміщенням, взаємодією з твердими породами та застиганням. Він включає вихід магми на поверхню (вулканізм) та її застигання в глибинах (інтрузивний магматизм), будучи ключовим фактором формування земної кори.

Магма – це природний, переважно силікатний, гарячий рідкий розплав, що утворюється в надрах Землі (у нижній частині земної кори або у верхній мантії) під дією високих температур і тиску. Вона містить розчинені гази та рідкі компоненти, а при застиганні утворює магматичні гірські породи. При виверженні на поверхню магма втрачає гази і стає лавою.

Метаморфізм – процес твердофазної зміни мінерального складу, структури та текстури гірських порід (осадових, магматичних або раніше метаморфізованих) під впливом високої температури, тиску та хімічно активних флюїдів у надрах земної кори. Це перетворення відбувається без розплавлення породи вихідної (материнської породи).

Тектонічні рухи – це механічні переміщення земної кори та верхньої мантії, зумовлені внутрішніми силами Землі, що спричиняють деформацію, розриви гірських порід та формування рельєфу.

Вивітрювання – це процес руйнування та зміни гірських порід і мінералів на поверхні Землі під впливом атмосфери, води, температури, хімічних речовин та живих організмів, що призводить до їх розпаду на дрібніші уламки (пісок, глину) та перетворення на нові матеріали.

Седиментація – це процес осідання або спливання частинок (твердих, рідких, газових) у рідкому чи газоподібному середовищі під дією гравітації або відцентрових сил.

Діагенез – це сукупність фізико-хімічних та біохімічних процесів, що перетворюють пухкі морські чи континентальні осади на осадові гірські породи.

Осадоутворення – це складний геологічний процес накопичення мінеральних та органічних речовин, що випадають із водного чи повітряного середовища, з подальшим їх ущільненням та перетворенням на гірські породи.

Літогенез – це сукупність природних геологічних процесів, що призводять до утворення та подальших перетворень осадових гірських порід.

Літосфера – це тверда, зовнішня оболонка Землі, що складається з земної кори та верхньої, твердої частини мантії (до астеносфери), і є рухливою, розбитою на великі літосферні плити, що рухаються та взаємодіють, формуючи рельєф та викликаючи землетруси і вулканізм.

Земна кора – це найтонша, верхня тверда оболонка Землі, що входить до складу літосфери і складається з гірських порід та мінералів.

Надра землі – це частина земної кори, розташована під поверхнею суші та дном водоймищ, що простягається до глибин, доступних для геологічного вивчення та освоєння.

1.3. Історія та етапи розвитку геологічних знань. Розвиток геологічних знань в Україні

Формування геологічних знань бере початок у межах натурфілософських уявлень стародавніх цивілізацій. У працях Aristotle та Theophrastus простежуються перші спроби пояснення походження мінералів, гірських порід і викопних решток. Античні мислителі розглядали Землю як динамічну систему, проте їхні уявлення залишалися переважно спекулятивними.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 6

У середньовіччі геологічні знання розвивалися в межах алхімії, гірничої справи та практичної мінералогії. Значний внесок у систематизацію знань про корисні копалини зробив Georgius Agricola, автор праці *De Re Metallica* (1556), яка заклала основи наукової мінералогії та гірничої геології.

У XVII-XVIII ст. геологія почала виокремлюватися як самостійна наука. Вирішальне значення мало формування двох концептуальних підходів: нептунізм (А. Вернер) – визнання водного походження більшості порід; плутонізм (James Hutton) – обґрунтування магматичного походження частини гірських порід та ідеї глибинних процесів.

James Hutton сформулював принцип актуалізму (уніформізму), згідно з яким сучасні геологічні процеси є ключем до розуміння минулого Землі. Подальший розвиток стратиграфії пов'язаний із діяльністю William Smith, який створив першу детальну геологічну карту Англії та довів можливість визначення віку порід за викопними організмами.

XIX ст. стало періодом інтенсивної диференціації геологічних дисциплін: стратиграфія, палеонтологія, тектоніка, петрографія, історична геологія.

Розробляється геохронологічна шкала, формується уявлення про тривалу геологічну історію Землі. Наприкінці століття активно розвивається геофізика та мікроскопічна петрографія.

XX ст. ознаменувалося революційними відкриттями: гіпотеза дрейфу материків Alfred Wegener; формування теорії літосферних плит; розвиток ізотопної геохронології; становлення інженерної та екологічної геології.

Сучасна геологія інтегрує дані супутникових технологій, геоінформаційних систем (GIS), сейсморозвідки та глибинного буріння, що дозволяє моделювати геодинамічні процеси з високою точністю.

Перші відомості про геологічні об'єкти на території України пов'язані з господарським освоєнням надр – видобутком солі (Дрогобич, Солотвино), залізних руд (Криворіжжя), будівельних матеріалів. Знання мали емпіричний характер і передавалися у формі ремісничих традицій.

Інституціоналізація геологічних досліджень в Україні пов'язана з діяльністю університетських центрів: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Львівська політехніка

У цей період здійснюються систематичні геологічні зйомки території України, досліджуються: Донецький кам'яновугільний басейн; Криворізький залізорудний басейн; нафтогазоносні структури Передкарпаття.

Важливу роль відіграв Володимир Вернадський, який заклав основи геохімії та вчення про біосферу, що мало фундаментальне значення для розвитку теоретичної геології.

У XX ст. геологічна наука в Україні розвивалася в межах системи Національна академія наук України (заснована 1918 р.). Було створено Інститут геологічних наук, розгорнуто масштабні геологорозвідувальні роботи.

Основні напрями: вивчення Українського щита; пошуки нафти і газу в Дніпровсько-Донецькій западині; дослідження Чорноморського шельфу; розвиток гідрогеології та інженерної геології. Цей період характеризується широким використанням геофізичних методів і буріння глибоких свердловин.

Після здобуття незалежності (1991 р.) геологічна галузь України функціонує в умовах ринкової економіки та інтеграції до світового наукового простору.

Пріоритетні напрями: раціональне використання мінерально-сировинної бази; енергетична безпека (газ, нафта, уран); екологічна геологія; геоінформаційні технології; дослідження геодинамічних процесів у зонах техногенного навантаження.

Сучасна українська геологія поєднує фундаментальні дослідження з прикладними завданнями сталого розвитку, що відповідає глобальним тенденціям розвитку наук про Землю.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 7

Історія геологічних знань демонструє поступовий перехід від натурфілософських уявлень до комплексної міждисциплінарної науки. Світовий розвиток геології проходив через етапи становлення базових концепцій (актуалізм, стратиграфія), формування теорії літосферних плит та впровадження високотехнологічних методів дослідження.

В Україні геологічна наука розвивалася в тісному зв'язку з потребами господарського освоєння надр, інституціоналізацією наукових центрів та інтеграцією у світову наукову спільноту. Сьогодні вона є стратегічно важливою галуззю, що забезпечує ресурсну, екологічну та енергетичну безпеку держави.

Питання для самоперевірки

1. Що вивчає геологія як наука?
2. Які основні об'єкти дослідження геології?
3. Які головні розділи геології та що саме вони досліджують?
4. Яке місце геології серед природничих наук?
5. З якими дисциплінами пов'язана геологія?
6. Що таке літосфера та які її основні складові?
7. В чому полягає суть принципу історизму (актуалізму) в геології?
8. Яке практичне значення геології для господарської діяльності людини?
9. Які основні методи геологічних досліджень використовуються на сучасному етапі?
10. Яких видатних українських вчених-дослідників Ви можете назвати?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 8

2. БУДОВА ЗЕМЛІ

2.1. Земля в космічному просторі

Земля як планета входить в склад Сонячної системи. Діаметр Сонячної системи до орбіти Плутона сягає $5,9 \cdot 10^9$ км. Саме ж Сонце є зіркою середнього розміру з діаметром $1,39 \cdot 10^6$ км. Температура на його поверхні визначена астрономами приблизно в 5600°C , а в надрах – 20000000°C . Майже вся сонячна енергія, яка досягає Землі, приходить у вигляді електромагнітного випромінювання. Земна атмосфера для деяких довжин хвиль непрозора, але теплове випромінювання і видиме світло вільно проникають через неї.

Енергія, яка виділяється Сонцем, залишається практично незмінною: варіації складають, ймовірно, лише невеликі відсотки. Життя на Землі може зберігатися в діапазоні температур від мінус 100 до плюс 100°C . Існування безперервно еволюціонованого ряду викопних форм життя, який прослідковується по скам'янілостях майже на 3 млрд. років, безперечний доказ постійності температури Сонця протягом тривалого часу.

Вік Сонця оцінюється приблизно в 5 млрд. років. На Землю постійно попадають шматочки неземної речовини – метеорити і метеоритний пил, вивчення яких дозволяє судити про будову космічних тіл, вік Сонячної системи, походження Землі. Щоденно на Землю випадають сотні тон метеоритного пилу. На суші його виявити практично неможливо, зате в глибоководних відкладах океанів і в сніжно-крижаному покриві Антарктиди метеоритний пил помітний. Знахідки метеоритів дуже рідкісні, і вони цінні в науковому відношенні. Самий крупний з відомих метеоритів важить 59 т, він знайдений на південному заході Африки.

Іноді на Землю падають тіла набагато крупніші, ніж звичайні метеорити. При ударі крупних космічних тіл об Землю утворюються *астроблеми* – великі вирви на зразок місячних кратерів розміром від сотень метрів до десятків кілометрів в діаметрі. Глибина таких вирв складає десятки і сотні метрів. Добре вивчені наслідки падіння на Землю астероїда діаметром біля 10 км, яке відбулося приблизно 65 млн. років назад [7]. На підході до Землі він розвалився на декілька уламків, які утворили астроблеми по всій планеті. Це – Чиксулуб в Мексиці (діаметр 180 км), Кара (60 км) і Усть-Кара (25 км) на Полярному Уралі, Менсон (35 км) в штаті Айова в США, Кам'янка (25 км) і Гусівка (1 км) на Донбасі. Пил і пара, викинуті в атмосферу з кратерів, які утворилися при вибуху уламків, на багато років затемнили Сонце і викликали різке довготривале похолодання. Але, мабуть, найстрашнішим лихом були кислотні дощі. В Мексиці існували соленосні відклади великої потужності, і при утворенні кратеру Чиксулуб випарувалась велика кількість ангідриту CaSO_4 . На Землю випав дощ із сірчаної кислоти, в середньому 1200 г кислоти на кожний квадратний кілометр поверхні планети. Таке поєднання несприятливих умов спричинило загибель рослин і тварин на суші та у верхніх шарах океанічних вод до глибини 200 м.

Земля – одна з 9 планет, які обертаються навколо Сонця (рис. 1.1). Перерахуємо їх в порядку віддалення від Сонця: Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Перші чотири планети кам'яні, решта газові. Орбіти планет за формою близькі до кругових і лежать майже в одній площині.

Окрім планет, навколо Сонця рухаються 33 супутники планет, біля 50 тисяч дрібних твердих астероїдів і безліч метеоритів, – все це і утворює Сонячну систему. До Сонячної системи також належать комети – туманні об'єкти із світлим ядром в центрі та з більш або менш розвиненим хвостом. Весь об'єм комети практично заповнений розрідженим газом. Обрити комет мають дуже великий ексцентриситет, вони вилітають далеко за орбіту Плутона. Період їх обертання навколо Сонця складає багато десятків або сотень років. Сама знаменита для землян комета Галлея, яку можна спостерігати один раз в 79 років, коли вона пролітає поблизу орбіти Землі.

Маса Сонця складає 99,8 % загальної маси Сонячної системи, а маса Юпітера – найбільшої з планет – всього біля 0,1 %. Тому Сонце являє собою центр тяжіння для всіх тіл, однак планети

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 9

і їх супутники володіють достатньою орбітальною швидкістю, щоб не впасти на Сонце під дією його гравітаційного тяжіння.

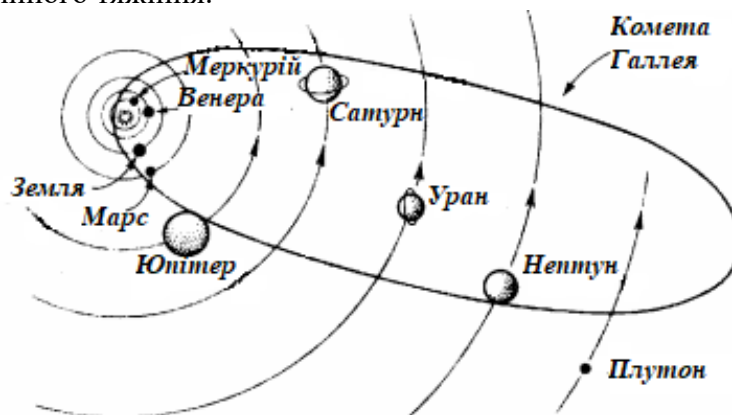


Рис.2.1. Будова Сонячної системи

Земля – найбільша з чотирьох кам'яних планет, близьких до Сонця. Її відстань від Сонця біля 150 млн. км. Швидкість руху по орбіті 29,7 км/с, повний оборот по орбіті вона створює за 365,26 діб. Період обертання складає 24 години. В результаті цього обертання виникли невелике екваторіальне здуття і полярний стиск, так, що діаметр в екваторіальному перерізі на 43 км більший діаметра, який з'єднує полюси обертання. Форма Землі називається *геоїд*.

2.2. Геосфери Землі

Земля має зональну будову (рис. 2.2). Оболонки Землі виділені за швидкостями розповсюдження сейсмічних хвиль при землетрусах і при штучних вибухах. Середня густина Землі 5,52 г/см³.

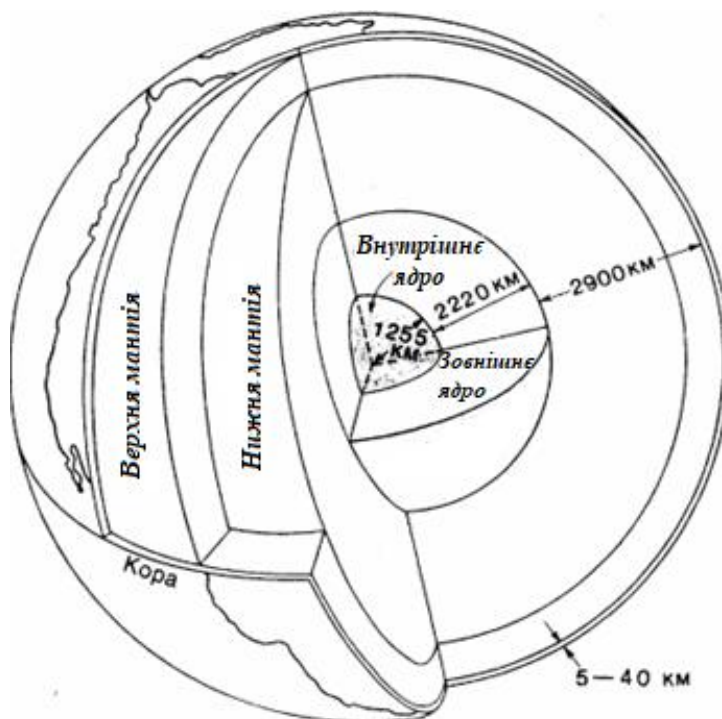


Рис. 2.2. Внутрішня будова Землі

Земне ядро. Тиск в центр Землі сягає 3,5 млн. атмосфер. Об'єм земного ядра складає 16,2 % об'єму Землі, а маса – 32 % всієї маси Землі. Є припущення, що внутрішнє ядро радіусом 1255 км тверде і має густину біля 13 г/см³, що, мабуть, відповідає стану металічного заліза при цьому тиску. Густина речовини у зовнішньому ядрі 9,9 – 12,5 г/см³, і воно знаходиться в рідкому стані. Товщина зовнішнього ядра рівна 2220 км.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 10

Сучасні спеціалісти вважають, що земне ядро майже на 90 % являє собою залізо з домішками кисню, сірки, вуглецю і водню, причому внутрішнє ядро має залізо-нікелевий склад, що повністю відповідає складу багатьох метеоритів.

Мантія Землі являє собою силікатну оболонку товщиною 2900 км між ядром і підшовою літосфери. Маса мантії складає 67,8 % загальної маси Землі. Досить важливим елементом в будові мантії є зона, яка підстиляє підшову літосфери. Фізично вона являє собою поверхню переходу зверху до низу від твердих порід до частково розплавленої мантіїної речовини, яка знаходиться в пластичному стані і складає астеносферу. Верхня межа мантії і нижня межа земної кори розділені поверхнею Мохоровичича. На цій межі різко збільшується швидкість сейсмічних хвиль, а густина речовини зростає з 2,8 до 3,3 г/см³.

За сучасними уявленнями, мантія має ультраосновний склад і є джерелом землетрусів, вулканічних явищ і горотвірних процесів.

Земна кора має потужність в середньому 40 км. Розрізняють океанічний і континентальний типи кори. *Океанічна кора* молода, товщиною 5–8 км, має двошарову будову, складається з 300–700 м глибоководних відкладів зверху і базальтів знизу. Розростання океанічного дна відбувається по серединно-океанічних хребтах за рахунок інтенсивної вулканічної діяльності (рис. 2.3).



Рис.2.3. Розростання океанічного дна

В тих місцях, де океанічна кора засувається під континент, виникають глибоководні жолоби. Їх протяжність може досягати 1000 км і більше, а ширина 200–300 км. Такі ділянки земної кори називають геосинкліналями; в них накопичуються товщі відкладів потужністю від 6 до 20 км. Стадія накопичення відкладів може тривати десятки і сотні мільйонів років. Потім настає орогенічна стадія (стадія утворення гір), під час якої товщі порід деформуються з утворенням складок і розривів, зазнають метаморфізм і прориваються інтрузіями. В орогенічну стадію відбувається підняття території, потім слідує розмив і поновлюється накопичення відкладів, часто уже в неморській обстановці.

Континентальна кора складається з трьох шарів (рис. 2.4). Верхній осадовий шар – це переважно піщано-глинисті відклади і карбонати мілководних морських басейнів. Шар відсутній на древніх щитах і досягає потужності 15–20 км в крайових прогинах платформ. Під осадовим залягають два шари кристалічних порід, між якими проходить слабо виражений розділ. Швидкість сейсмічних хвиль у верхньому шарі відповідає тій швидкості, яка характерна для граніту, а в нижньому – для габро або базальту. Тому верхню частину земної кори називають гранітним шаром, а нижню – базальтовим. Відмінністю континентальної кори від океанічної є наявність в ній гранітного шару.

Під високими горами потужність кори збільшена за рахунок гранітного шару, і чим вищі гори, тим товще кора. Наприклад, під Гімалаями потужність земної кори максимальна і сягає 70 км.

Важливою обставиною, яка відрізняє земну кору від інших внутрішніх геосфер, є наявність в ній підвищеного вмісту радіоактивних ізотопів урану, торію, калію, причому їх найбільша концентрація відзначена для гранітного шару континентальної кори. В океанічній корі радіоактивних елементів дуже мало.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 11

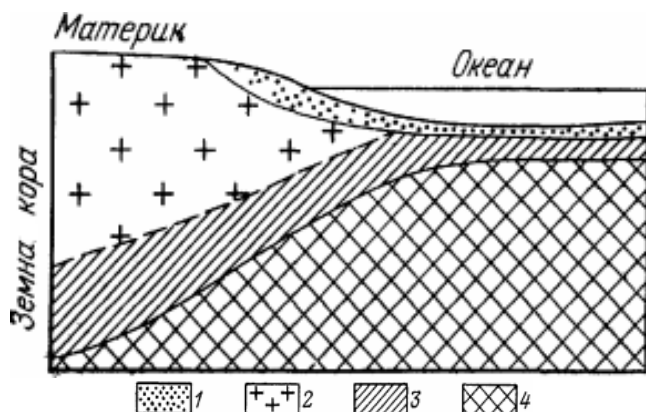


Рис. 2.4. Схема будови континентальної і океанічної кори

- 1 – осадовий шар;
2 – гранітний шар;
3 – базальтовий шар;
4 – мантія

Літосфера – це кам'яна оболонка Землі, яка поєднує земну кору і підкорову частину верхньої мантії (див. рис. 1.3). Характерною ознакою літосфери є те, що в неї входять породи в твердому кристалічному стані, і вона володіє твердістю і міцністю. Розташована під літосферою пластична оболонка мантії – *астеносфера* не володіє міцністю і може текти навіть під дією дуже малих надлишкових тисків.

На початку XX століття А. Вегенер висунув гіпотезу дрейфу материків, яка послужила початком розробки принципово нової геологічної теорії тектоніки плит, яка описує формування континентів і океанів на Землі. Поштовхом для створення гіпотези виявилась вражаюча геометрична подібність обрисів узбережь Африки і Південної Америки, але далі гіпотеза отримала підтвердження при палеонтологічних, мінералогічних і геолого-структурних дослідженнях.

Суть теорії тектоніки плит складається в наступному. Біля 200 млн. років тому назад всі існуючі нині материки були згруповані в єдиний супер континент – Пангею. Вона складалася з двох великих частин: північної – Лавразії, яка включала в себе Європу, Азію (без Індосанту), Північну Америку, і південної – Гондвани, яка містила Південну Америку, Африку, Антарктиду, Австралію, Індостан. Ці дві частини Пангеї були розділені глибокою затокою океану Тетіса. Потім Пангея розпалася на окремі плити, які «роз'їхалися» по астеносфері і дали початок сучасним материкам. Зараз у верхній оболонці Землі вчені виділяють сім великих плит, сім плит середнього розміру і безліч дрібних. Всі плити під впливом конвективних течій в мантії переміщуються одна відносно одної, тому їх межі чітко маркуються зонами підвищеної сейсмічності.

Розрізняють три види переміщення плит.

1) Плити ковзають відносно одна одної. На їх межах відбувається активна сейсмічна діяльність.

2) Плити рухаються в різні сторони. При цьому в корі утворюється система глибинних розломів (рифтова долина), по яких виливається магла і утворюється нова океанічна кора.

3) Плити рухаються назустріч одна одній і стикаються. Океанічна плита при цьому «пірнає» під континентальну і поглинається мантією. Якщо стикаються континентальні плити, то відбувається зминання їх крайніх частин або одна плита наповзає на іншу, і утворюються гори.

Космічні і геофізичні спостереження дозволили розрахувати швидкість віддалення Австралії від Антарктиди – 7 см/рік, Південної Америки від Африки – 4 см/рік, Північної Америки від Європи – 2,3 см/рік. Червоне море розширюється на 1,5 см за рік. Індостан стикається з Євразією з швидкістю 5 см за рік, і в місці їх зчленування ростуть Гімалайські гори з швидкістю 1 см за рік.

Атмосфера – це повітряна оболонка, яка оточує Землю. 78% її складає азот, 21 % кисень, 0,94 % аргон, 0,03 % вуглекислий газ та інше – суміш інертних газів та інших з'єднань. Оскільки атмосфера легко піддається стиску, половина її маси знаходиться нижче рівня 5,5 км. Маса атмосфери складає менше однієї мільйонної маси твердої Землі, але її вплив

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 12

надзвичайно великий. Атмосфера підтримує різні форми життя на Землі і виконує інші важливі функції. Вона діє як термічний щит, який відбиває або поглинає більшу частину радіації, яка поступає від Сонця, і захищає Землю від надмірного ультрафіолетового випромінювання. В атмосфері згорають метеорити. Завдяки атмосфері відбувається кругообіг води в природі. Важливим агентом перенесення пилу і піску є вітер. Окрім того, вітер – рухома сила при утворенні хвиль і прибережних течій, які також дають великий геологічний ефект. Атмосфера поділяється на природні шари (рис. 2.5), які визначаються температурою і тиском.

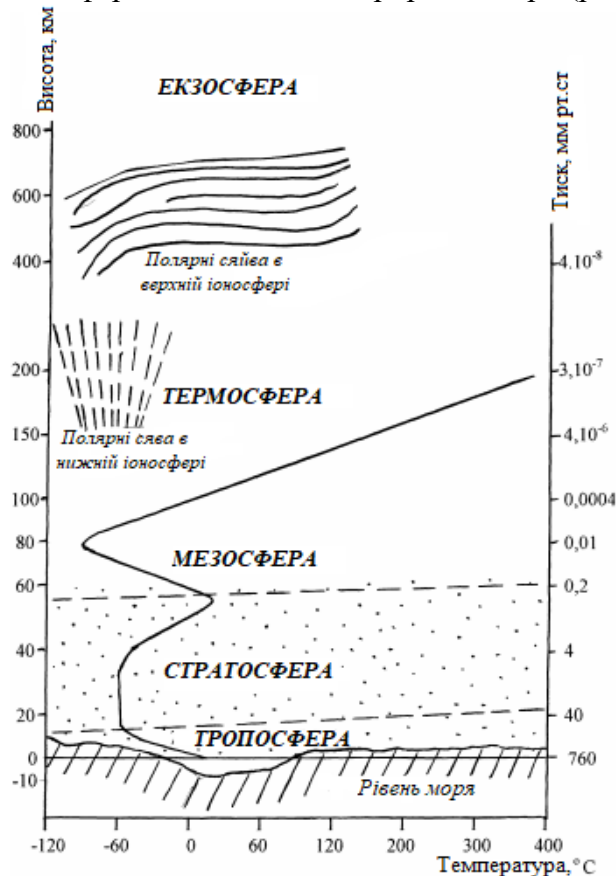


Рис. 2.5. Вертикальний розріз атмосфери

Після сильних вулканічних вивержень вулканічний пил може місяцями або роками триматися в стратосфері, забарвлюючи сходи і заходи Сонця в яскраві кольори. Велика кількість вулканічного пилу в стратосфері понижує сонячну радіацію, яка досягає до Землі, і викликає похолодання клімату. Існує припущення, що початок льодовикових періодів був викликаний інтенсивними вулканічними виверженнями.

Мезосфера, термосфера і екзосфера характерні тим, що в їх складі переважають іонізовані гази, і тому ці оболонки об'єднують в іоносферу. Висота атмосфери досягає більше 2000 км.

Гідросфера – водна оболонка Землі. Вона поділяється на океаносферу, води суходолу і льодовиків. Кількість води в океаносфері складає 1370 млн. км³, води суходолу 4 млн. км³, материкових льодів 16–20 млн. км³.

Гідросфера займає три четверті поверхні суші. Температура води в поверхневому шарі океанів коливається від мінус 3 до плюс 45 °С, а на дні океанів від мінус 1,3 до плюс 3 °С.

Середня глибина сучасних океанів 3,8 км, найбільша глибина виміряна в Маріанській впадині і складає 11022 м. В Світовому океані міститься в 60 раз більше діоксиду вуглецю CO₂, ніж в атмосфері, зате кисню в океані майже в 150 раз менше, ніж в атмосфері. Середня солоність морської води складає 35 г/л. Солі представлені переважно хлоридами, сульфатами і карбонатами натрію, калію і кальцію, але присутні також йод, фтор, фосфор, рубідій, цезій, золото та інші елементи.

Тропосфера – область конвекції, яка перемішує маси повітря; поблизу полюсів висота тропосфери складає 6 км, біля екватора – до 18 км. Пил і водяна пара зосереджені переважно в тропосфері, і хмари утворюються в цій зоні. В тропосфері температура в середніх широтах зменшується на 1 °С на кожні 160 м висоти. Така тенденція зберігається аж до висоти 10–13 км, де починається зона майже постійної температури, яка коливається від -50 до -55 °С. Ця холодна ізотермічна зона є основою стратосфери.

Стратосфера являє собою область холодного чистого розрідженого повітря при відсутності конвекції, верхня її межа розташована на висоті 55–60 км. В стратосфері спостерігається повільне підвищення температури з висотою, що пояснюється присутністю озону, який утворюється під впливом ультрафіолетових променів; в цьому шарі дуже мало зважених часток. Іноді на висоті 20–30 км видно перламутрові хмари, які складаються з кристаликів льоду.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 13

Світло проникає у воду до глибини 200 м, і тут зосереджена практично вся морська фауна і флора. Глибоководні дослідження, проведені в останні роки, дозволили встановити наявність горизонтальних і вертикальних течій в океанах, які перемішують водні маси і роблять їх придатними для життя різних організмів. Гідросфера відіграє важливу роль в проявах багатьох геологічних процесів, особливо в поверхневій зоні земної кори. Під дією гідросфери відбувається інтенсивне руйнування гірських порід, їх переміщення та перевідкладення.

Біосфера. Особливу оболонку Землі, яка складається з живих організмів рослинного і тваринного походження, являє собою біосфера. В усій товщі океанічних вод відмічене існування форм життя. З глибиною склад біоценозів суттєво об'єднується, але деякі види пристосувалися та існують і на багатокілометровій глибині. Область розповсюдження біосфери обмежується в атмосфері озоновим шаром (приблизно до 50 км над поверхнею планети), вище якого відомі на Землі форми життя неможливі без спеціальних засобів захисту, як це здійснюється при космічних польотах за межі атмосфери та на інші планети.

Водорості океанів і рослинність на суші продукують кисень на планеті. Фауна і флора здійснюють великий вплив на склад атмосфери, перерозподіл вуглецю, водню, кисню, кальцію і фосфору в природі. Завдяки їм людство має сьогодні в своєму розпорядженні джерела енергії у вигляді горючих сланців, бурого і кам'яного вугілля, нафти і газу.

Хімія Землі. Хімічні аналізи показали, що більше ніж на 98 % маса земної кори складається лише з 8 елементів (рис. 2.6). Решту складають приблизно ще 10 елементів. На частку інших елементів припадає 0,353 %. Слід відзначити, що у різних авторів частка тих чи інших елементів у земній корі неоднакова, але відрізняється не суттєво. Якщо брати хімічний склад (гіпотетичний) Землі в цілому, то більше як на 98 % вона складається теж із восьми елементів, але співвідношення їх не таке, як у літосфері.

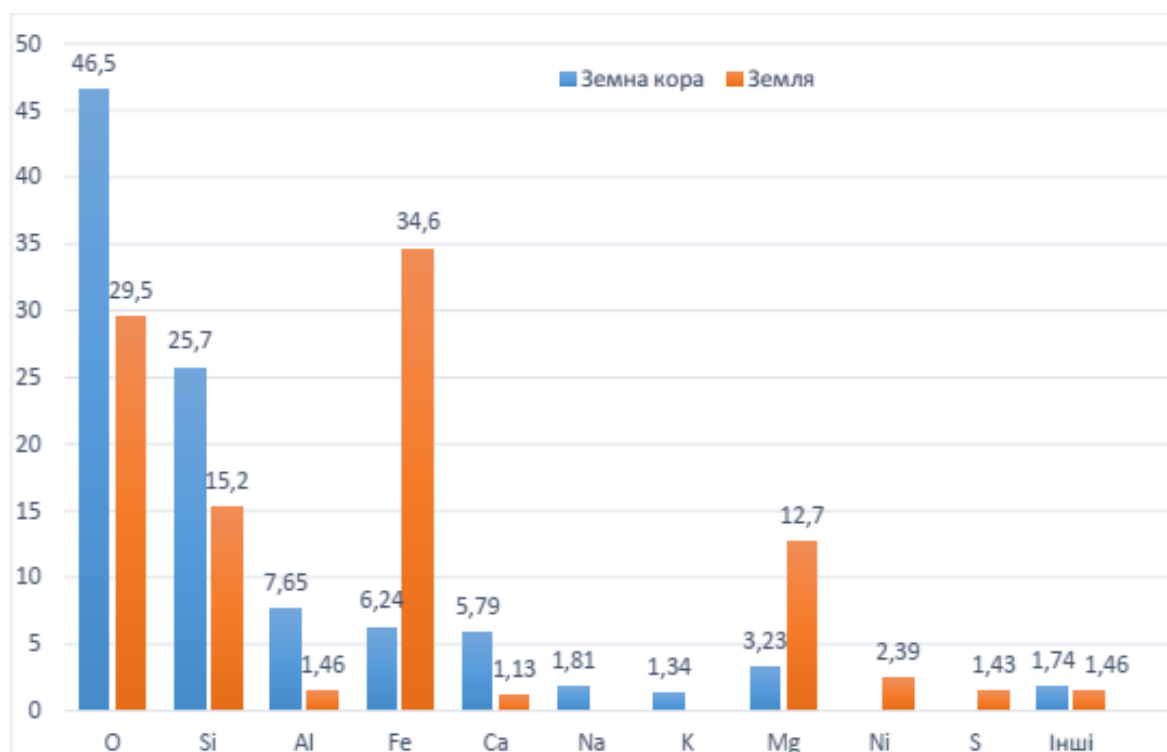


Рис. 2.6. Хімічний склад земної кори та Землі (гіпотетичний)

Поля Землі. Земля має своє теплове, електричне, гравітаційне поля. Іще Земля оточена магнітним полем, яке охоплює великий простір. Це геомагнітне поле дуже подібне на поле, яке створюється простим двополюсним магнітом. Воно служить Землі захистом від часток високої енергії, які летять з великою швидкістю з космічного простору. Поле відчуває сильні варіації; злегка змінюється в масштабі днів або років і його середнє значення, а в масштабі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 14

мільйонів років ці зміни виявляються дуже великими. Встановлено, що магнітні полюси Землі в історії геологічного розвитку зазнавали інверсію. При цьому орієнтування металовмісних мінералів в процесі утворення порід змінювалась, і ці зміни прослідковуються по всій планеті. Вченими розроблена геохронологічна палеомагнітна шкала, яка дозволяє проводити глобальні співставлення геологічних утворень в межах океанів і материків Землі.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть планети Сонячної системи.
2. Що таке метеорити і як їх вивчають?
3. Назвіть внутрішні оболонки Землі.
4. Розкажіть теорію тектоніки плит?
5. Яку будову має земна кора?
6. Назвіть зовнішні оболонки Землі.
7. Розкажіть про будову атмосфери.
8. Назвіть фізичні поля Землі.
9. Який хімічний склад земної кори?
10. Які явища формують сучасний вигляд Землі?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 15
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

3. ОСНОВИ МІНЕРАЛОГІЇ ТА КРИСТАЛОГРАФІЇ

3.1. Кристалічна структура

Мінерали – це природні неорганічні тверді речовини, які володіють характерною кристалічною структурою.

Мінерал має постійний хімічний склад. Наприклад, галіт (звичайна кухонна сіль) має хімічну формулу NaCl ; його кристали прямокутні, подібні на кубики або сірникову коробку, і подальше подрібнення кристалів галіту дає такі ж кубики, лише більш дрібні. Ця властивість свідчить про кристалічну структуру мінералів і є найбільш характерною рисою. Найбільший кристал в світі – кристал берилу, який був знайдений на Мадагаскарі, має масу 380 тон, довжину 18 м і ширину 3,5 м в поперечнику.

Особливості будови кристалічної ґратки мінералів встановлюють за допомогою рентгенівських методів. На рисунку 3.1 зображено розташування атомів вуглецю в кристалічних ґратках алмазу і графіту.

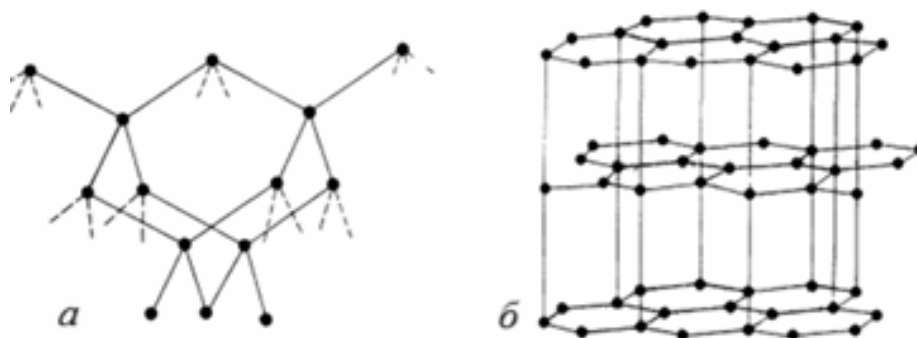


Рис. 3.1. Приклади кристалічних ґраток мінералів
а – алмаз; б – графіт

Обидва мінерали мають однаковий хімічний склад – вуглець. Але алмаз має дуже високу твердість завдяки своїй структурі, а графіт м'який, тому що в нього зв'язок атомів між площинами в кристалічній ґратці слабкий.

Зовнішнім вираженням внутрішньої структури мінералу служать *кристали*. Це геометрично правильні тверді тіла, обмежені природними плоскими поверхнями, або *гранями*.

Симетрія – основна властивість кристалів. В кристалографії існує термін вісі симетрії. *Вісь симетрії* – пряма лінія, при повороті навколо якої на певний кут симетрична фігура займе в просторі те ж положення, що вона займала до повороту, але на місце одних її частин перемістяться інші такі ж частини. Вісі симетрії, що зустрічаються в кристалах, позначають L_2 , L_3 , L_4 , L_6 . Кут повороту, при якому елементи фігури співпадають, складає при цьому 180° , 120° , 90° і 60° відповідно. При такому розташуванні вузлів плоска сітка кристалічної ґратки побудована без просвітів, що призводить до стійкості структури. На рис. 3.2 зображено типи плоских сіток багатокутників з вісями симетрії різного порядку.

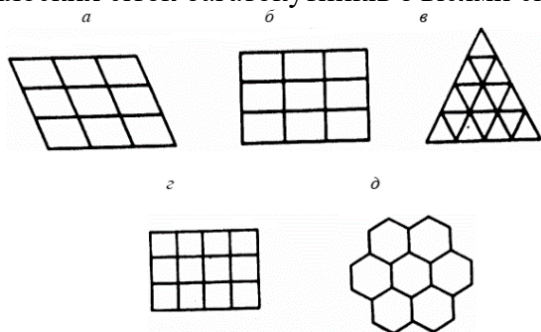


Рис. 3.2 Плоскі сітки багатокутників
Вісі симетрії:

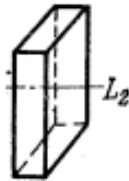
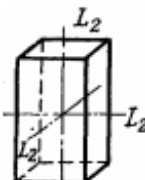
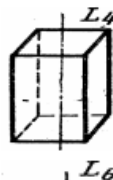
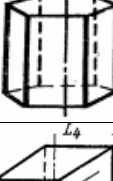
- а – першого порядку;*
- б – другого порядку;*
- в – третього порядку;*
- г – четвертого порядку;*
- д – шостого порядку*

В кристалічних багатокутниках присутні лише вісі симетрії другого, третього, четвертого і шостого порядків. Вісь першого порядку практично не визначає симетрії кристалу, а вісь симетрії п'ятого і вище шостого порядку в кристалах не існує.

Вивчення форм, які утворюються гранями кристалів, і кутів між гранями дозволило створити класифікацію кристалів, поділивши їх на сім сингоній (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Кристалографічні сингонії

Сингонія	Типовий вигляд ґратки	Характерні особливості	Типові мінерали
Триклінна		три нерівні вісі, похило розташовані одна до одної	плагіоклаз
Моноклінна		три нерівні вісі, дві з яких перпендикулярні одна до одної, а третя похила	гіпс, ортоклаз, рогова обманка
Ромбічна		три вісі однакової довжини перетинаються під прямим кутом	барит, топаз, самородна сірка
Тригональна		три вісі рівної довжини, кути між ними не прямі	кальцит, кварц, турмалін
Тетрагональна		три взаємно перпендикулярні вісі, дві з яких однакової довжини	халькопірит, везувіан
Гексагональна		три рівні вісі перетинаються під кутом 120° в одній площині, а четверта вісь до цієї площини розташована перпендикулярно	апатит, берил
Кубічна		три вісі однакової довжини, перетинаються під прямими кутами	галіт, пірит, галеніт, гранат, алмаз

Велику кількість мінералів можна визначити, поглянувши на кристали (рис. 3.4). На приклад, везувіан можна впізнати за своєрідною формою кристалів, в гранатів і піриту прекрасні гарно огранені кристали кубічної сингонії, а кварц утворює характерні друзи.

Слід згадати про друзи, конкреції і секреції (рис.3.5), що являють собою особливі форми кристалізації мінеральної речовини (характерні концентрично-зональні утворення).

Друзи – це зростки кристалів, які прикріплені одним кінцем до спільної основи. Друзи можуть утворюватися кристалами одного (кварц) або декількох різних мінералів (галеніт, сфалерит, кальцит). Зростки дрібних кристалів, які розміщуються на плоскій поверхні часто називаються *ціткою*.

Конкреції ростуть від центру до периферії, а *секреції* від периферії до центру.

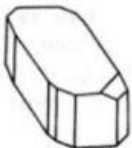
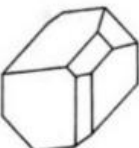
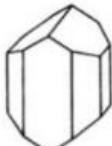
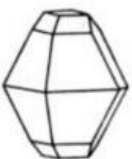
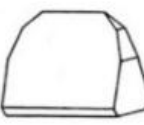
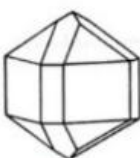
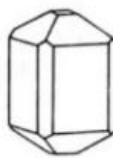
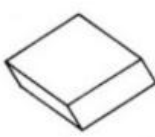
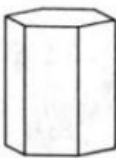
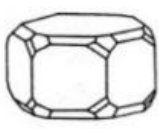
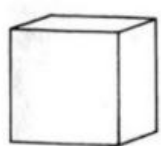
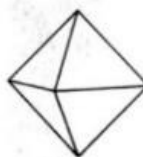
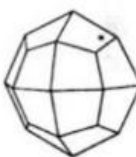
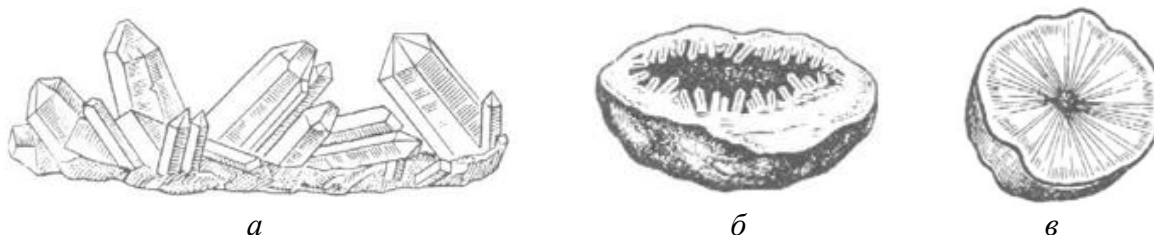
ТРИКЛІННА					
Моноклінна					
Ромбічна					
Тетрагональна					
Тригональна					
Гексагональна					
Кубічна					

Рис. 3.4. Сингонії та форми кристалів деяких мінералів



а

б

в

Рис. 3.5. Мінеральні агрегати:
а – друза; б – секреція; в – конкреція

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 18

Деякі речовини можуть існувати в декількох кристалічних фазах. Такого роду структури називають *поліморфними модифікаціями*. Найяскравіший приклад – поліморфні перетворення вуглецю. При температурі 1000 °С алмаз легко переходить в графіт. В той же час перехід графіту в алмаз може бути здійснено лише при температурах вище 3000 °С і тисках до 10⁸ Па.

Габітус кристалів – цей термін служить для визначення характерної форми, в якій мінерал, як правило, кристалізується. Знаючи звичайний зовнішній вигляд кристалів будь-якого мінералу, можна визначити его візуально. У багатьох мінералів спостерігаються закономірне зростання кристалів по визначених гранях – *двійники*.

3.2. Хімічна класифікація мінералів

Всі мінерали поділяються на п'ять основних груп: 1) самородні елементи; 2) сульфідів; 3) галогенідів; 4) оксидів; 5) солі кисневих кислот. Приведемо коротку характеристику представників кожної групи.

Самородні елементи. Мінерали цього типу являють собою прості речовини, які складаються з одного хімічного елементу (табл. 3.2). Сюди входить невелика кількість мінералів, які мало зустрічаються в природі, але мають значне практичне значення. Самородні елементи стійкі в поверхневих умовах, на повітрі вони не окислюються, і тому зустрічаються в чистому виді.

Таблиця 3.2

Самородні елементи

Назва мінералу	Хімічна формула	Основне значення
Алмаз	C	Дорогоцінний камінь
Графіт	C	Теплоізоляційна сировина
Сірка	S	Хімічна сировина
Золото	Au	Благородний метал
Срібло	Ag	
Платина	Pt	

Сульфідів – ця група об'єднує більше 250 мінералів. В сульфідів металічний блиск, велика питома вага, чорна або кольорова риска. Багато мінералів мають важливе промислове значення. В хімічному відношенні сульфідів являють собою солі сірководневої кислоти (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Мінерали групи сульфідів

Назва мінералу	Хімічна формула	Основне значення
Галеніт	PbS	Свинцева руда
Сфалерит	ZnS	Цинкова руда
Халькопірит	CuFeS ₂	Мідна руда
Пірит	FeS ₂	Хімічна сировина
Борніт	Cu ₅ FeS ₄	Мідна руда
Кіновар	HgS	Руда на ртуть
Молібденіт	MoS ₂	Молібденова руда
Антимоніт	Sb ₂ S ₃	Руда на стибій
Арсенопірит	FeAsS	Руда на миш'як

Галогенідів (галоїдів). З хімічної точки зору мінерали цієї групи являють собою солі кислот HCl, HF, HBr, HI (табл. 3.4). Більшість з них мають невелику твердість, малу питому вагу, скляний блиск. Мінерали групи хлоридів (кам'яна і калійна сіль) добре розчиняються у воді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 19

Таблиця 3.4

Галогеніди

Назва мінералу	Хімічна формула	Основне значення
Галіт	NaCl	Хімічна сировина
Сильвін	KCl	
Карналіт	KMgCl ₃ ·6H ₂ O	Хімічна та агрохімічна сировина
Флюорит	CaF ₂	
		Оптична, хімічна, флюсова сировина

Оксиди 3 хімічної точки зору, оксиди являють собою сполуки елементів з киснем. Оксиди широко розповсюджені в природі та часто мають важливе промислове значення (табл. 3.5). Один з найбільш розповсюджених мінералів на Землі, кварц, належить до цієї групи.

Таблиця 3.5

Мінерали групи оксидів

Назва мінералу	Хімічна формула	Основне значення
Кварц	SiO ₂	Породотвірний мінерал, п'єзооптична, абразивна, ювелірна сировина
Магнетит	Fe ₃ O ₄	
Гематит	Fe ₂ O ₃	Залізна руда
Хроміт	FeCr ₂ O ₃	
Льменіт	FeTiO ₃	Хромова руда, металургійна і теплоізоляційна сировина
Корунд	Al ₂ O ₃	Титанова руда
Каситерит	SnO ₂	Абразивна сировина
		Руда на олово

Солі кисневих кислот в хімічному відношенні є сполуками кисневмісних кислот. Це найбільш багаточисельний тип мінералів, в склад яких входять карбонати, сульфати, фосфати, молібдати, ванадати, силікати та ін. (табл. 3.6).

Одна лише група польових шпатів складає біля 60 % маси земної кори. Приблизно 60 % їх міститься у вивержених гірських породах, у метаморфічних – близько 30 %, у осадових до 10-11 %. За хімічним складом – це алюмосилікати натрію, кальцію, калію, барію, як ізоморфні домішки містять рубідій, свинець, стронцій тощо. Польові шпати використовуються у скляній, паперовій та інших галузях промисловості; деякі з цих мінералів застосовуються як облицювальний матеріал та виробне каміння.

Польові шпати розділяють на 3 групи: калієво-натрієві (лужні – ортоклази, мікроклін та ін.), кальцієво-натрієві (плагіоклази), калієво-барієві або гіалофани (дуже рідкісні).

Таблиця 3.6

Солі кисневих кислот

Назва мінералу	Хімічна формула	Основне значення
Карбонати		
Кальцит	CaCO ₃	Породотвірний мінерал
Магnezит	MgCO ₃	
Доломіт	(Ca,Mg)CO ₃	Металургійна і теплоізоляційна сировина
Сидерит	FeCO ₃	
Родохрозит	MnCO ₃	Породотвірний мінерал
Малахіт	Cu ₂ (OH) 2CO ₃	
		Залізна руда
		Руда на манган, виробне каміння
		Виробна сировина і кольорові камені

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 20

Сульфати		
Гіпс	CaSO ₄ ·2H ₂ O	В'язучий матеріал
Ангідрит	CaSO ₄	Виробна сировина
Барит	BaSO ₄	Хімічна сировина
Вольфрамати		
Вольфраміт	(Fe,Mn)WO ₄	Руда на вольфрам
Шеєліт	CaWO ₄	
Фосфати		
Апатит	Ca ₅ [(PO ₄) ₃ (OH,Cl,F)]	Агрохімічна сировина
Бірюза	CuAl ₆ [(OH) ₂ PO ₄] ₂ ·4H ₂ O	Дорогоцінний камінь
Силікати		
Олівін	(Mg,Fe) ₂ [SiO ₄]	Породотвірний мінерал
Топаз	Al ₂ [F ₂ SiO ₄]	Дорогоцінний камінь
Кіаніт (дістен)	Al ₂ [O ₂ SiO ₄]	Металургійна сировина
Сподумен	LiAl[Si ₂ O ₆]	Літєва руда
Мусковіт	KAl ₂ [(OH,F) ₂ AlSi ₃ O ₁₀]	Технічна сировина, породотвірний мінерал
Біотит	K(Mg,Fe) ₃ [(OH,F) ₂ AlSi ₃ O ₁₀]	
Польові шпати:		
Альбіт	Na ₂ [AlSi ₃ O ₈]	Породотвірний мінерал, флюсова і скло-керамічна сировина
Ортоклаз	K ₂ [AlSi ₃ O ₈]	
Анортит	Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]	

3.3. Фізичні властивості мінералів

Мінерали володіють великою кількістю різноманітних фізичних властивостей, які дозволяють проводити їх діагностику, тобто визначення. До фізичних властивостей, які використовуються для швидкої діагностики, відносять блиск, твердість, колір, колір риски, спайність, злам, густину і багато інших.

Деякі мінерали володіють однією настільки яскраво вираженою характеристикою, що вона одразу дозволяє визначити даний зразок. Наприклад, магнітна стрілка реагує на магнетит; корунд залишає подряпину на будь-якому мінералі (крім алмаза, але алмази не зберігають навіть в звичайних мінералогічних музеях, не кажучи вже про навчальні колекції); білий шовковистий азбест легко розщеплюється на тонкі волокна; золото має надзвичайно велику густину; чорний непрозорий гематит залишає вишневу риску на пластинці неглазурованого фарфору; гіпс можна подряпати нігтем; графіт пише на папері; ісландський шпат володіє подвійним світлозаломленням; чароїт має неповторний бузковий колір; слюди легко розчіплюються на тонкі пластинки; в родоніті часто видно дендрити з оксидів марганцю. Щоб діагностувати кальцит, можна розбити зразок молотком (рис. 3.6) і він розколеться на кусочки, грани в яких розташовані під визначеними кутами. Здатність мінералу розколюватися по визначених площинах називається *спайністю*.

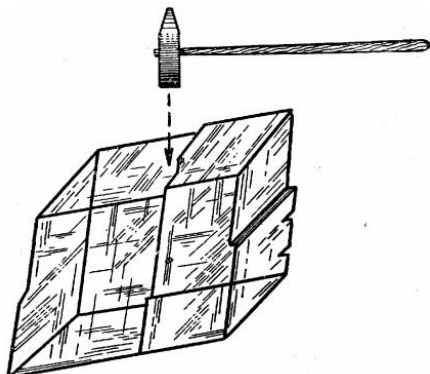


Рис. 3.6. Визначення напрямку спайності в кальциту

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 21

3.4. Геологічні процеси утворення мінералів

Процеси утворення мінералів поділяються на ендегенні, які проходять в надрах Землі, і екзогенні, відбуваються на поверхні.

Велике практичне значення мають *парагенетичні асоціації* – закономірні об'єднання одночасно утворених мінералів, які виникли протягом однієї стадії мінералізації. Це означає, що при знахідці одного мінералу досить ймовірно знахідки його парагенетичного супутника. Класичний приклад такого роду – сумісне утворення алмазу і піропу. Алмаз блистить всіма кольорами веселки лише на сонці; без сонячного світла він подібний до звичайного скла і в розсіпці його не видно. Зате піроп (різновид гранату) гарно помітний, він яскраво-червоного кольору; зерна піропу зустрічаються в сотні разів частіше алмаза. Знахідки піропів – сприятливий признак при пошуках алмазів.

В довідниках по визначенню мінералів зазвичай вказують, які парагенетичні асоціації характерні для даного мінералу; такі відомості полегшують діагностику. Використовується також поняття негативного (забороненого) парагенезису, що вказує на неможливість сумісного утворення при певних умовах визначених поєднань двох або декількох мінералів, наприклад, кварцу і нефеліну, діопсиду і кордієриту та ін.

Ендегенні(або гіпогенні, глибинні) процеси утворення мінералів проходять в надрах Землі та протікають в умовах високих тисків, температур і дії гарячих флюїдів (водних розчинів і газів).

Магматичний процес протікає безпосередньо в магматичному розплаві при його застиганні. Спочатку кристалізуються тугоплавкі, а потім легкоплавкі мінерали. Вони розподіляються в розплаві за питомою вагою. Важкі опускаються до низу, а легкі піднімаються і концентруються в верхніх частинах магматичного масиву. Магматичне походження мають практично важливі мінерали– руди хрому, нікелю, міді, заліза, платина, апатит та ін. Найбільше в світі родовище поліметалічних сульфідних руд, яке має магматичне походження, розташоване в районі Норильська.

Пегматитовий процес пов'язаний з кристалізацією залишкового магматичного розплаву, що збагачений леткими сполуками.

Пегматити – крупнозернисті та гігантозернисті тіла переважно жильної і лінзоподібної форми; для них характерні слюда, турмалін, берил, сподумен, танталіт, колумбіт, мінерали рідких земель. Пегматити надзвичайно цікаві в практичному відношенні. Вони є єдиним джерелом слюди – мусковіту, джерелом рідкісних металів – літію, берилію, олова, цезію, танталу і ніобію, рідких земель, а також керамічної та п'єзооптичної сировини (п'єзокварц) та ін. Пегматитові жили можуть досягати декількох кілометрів в довжину і декількох десятків метрів потужності. Найбільші в світі кристали видобуті саме з пегматитів. В пегматитах на Слюдянці в районі Байкалу були знайдені кристали мусковіту масою в 1 т; пластини біотиту можуть сягати 7 м² (Норвегія); кристали сподумену – мінералу, що містить літій, досягають 14 м в довжину (Південна Дакота, США); в пегматитах Волині видобуті найбільші в світі кристали топазу масою до 117 кг.

Пневматолітовий тип утворення мінералів пов'язаний з газоподібними і леткими речовинами, які виділяються з магми. Мінерали утворюються як за рахунок безпосереднього виділення з газів (возгони), так і за рахунок взаємодії з навколишніми породами. Вулканічні гази в великих кількостях надходять в атмосферу при виверженнях. Про кількість газів, які виділяються, можна уявити з наступних даних. В долині Десяти Тисяч Димів на Алясці фумароли Катман виділили за один рік 1 250 000 т HCl і 200 000 т HF [1]. Один з основних конусів Етни при виверженні виділяв стільки водяної пари, що при її конденсації можна було б отримати 20 млн. л води за добу.

Промислове значення мінералів вулканічного походження досить обмежене. Це в першу чергу самородна сірка (яка іноді містить селен). Невеликі родовища самородної сірки відомі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 22

на Камчатці і Курильських островах, в Японії, Чилі, Італії. В Італії також видобувають природну борну кислоту – сасолін $B(OH)_3$.

Гідротермальний процес пов'язаний з гарячими водними розчинами, які піднімаються від магматичних осередків по різного роду тріщинах і розломах земної кори. По мірі руху гідротерм до поверхні температура і тиск знижуються, і відбувається процес виділення розчинених в них речовин у вигляді жил. Найбільш сприятливі умови для прояву гідротермальних процесів створюються на малих і середніх глибинах (до 3–5 км від поверхні). Причина руху гідротерм – різниця тисків. Високотемпературні (450–300 °C) мінеральні тіла розташовуються ближче до материнської інтрузії, в той час як низькотемпературні (нижче 200 °C) більш віддалені. Це призводить до зонального розташування продуктів гідротермального процесу відносно до тієї інтрузії, з якої вони утворилися. Гідротермальне походження мають більшість руд кольорових, рідкісних і радіоактивних металів, а також різні неметалічні корисні копалини. Гідротермальне утворення мінералів також проявляється в кінці пегматитового процесу.

Метаморфічні процеси проходять в надрах земної кори без переплавлення вихідної речовини. Обов'язковими факторами є високий тиск і температура. При регіональному метаморфізмі загальний хімічний склад порід зазвичай мало змінюється, а мінеральні, структурні і текстурні зміни зумовлені в основному фізичними умовами під час перекристалізації. Але процес може проходити також з привнесенням або видаленням деяких речовин, які переміщуються у вигляді іонів разом з газами або рідинами. В такому випадку хімічний склад початкових мінералів змінюється.

Екзогенні процеси утворення мінералів. Процеси **вивітрювання** виражаються в механічному руйнуванні гірських порід і хімічному розкладанні мінералів. Фізичне вивітрювання не призводить до утворення нових мінералів, але воно сприяє диспергуванню вихідних порід, а це полегшує циркуляцію води і вуглекислого газу, які призводять до хімічного перетворення речовини. При **хімічному** вивітрюванні нестійкі на поверхні Землі мінерали зазнають хімічної зміни і перетворюються на інші мінерали, стійкі в поверхневих умовах. **Органічне** вивітрювання проходить при участі органічних кислот і продуктів життєдіяльності організмів; особливо велика роль бактерій.

Осадкові процеси пов'язані з відкладанням розчинених у воді мінеральних речовин. Ці процеси проходять головним чином в озерах і морських басейнах.

Органогенні, або біогенні, процеси – це процеси утворення мінералів за рахунок залишків живих організмів і продуктів їх життєдіяльності. Наприклад, бурштин – затверділа смола хвойних дерев, а перли продукують морські молюски.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть кларки найрозповсюдженіших хімічних елементів.
2. Чим відрізняються емпіричні та структурні формули мінералів?
3. Що таке ізоморфізм?
4. Назвіть вісі симетрії, які зустрічаються в кристалах.
5. Що таке кристалографічні сингонії?
6. Назвіть ендегенні процеси утворення мінералів.
7. Назвіть екзогенні процеси утворення мінералів.
8. На якому принципі побудована класифікація мінералів?
9. Мінерали якого типу найбільш розповсюджені в земній корі?
10. Які властивості мінералів використовують для візуальної діагностики?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 23

4. ЧАС В ГЕОЛОГІЇ

4.1. Етапи еволюції Землі

У науковій періодизації історію планети поділяють на великі часові інтервали – еони, ери, періоди та епохи, які відображають якісні зміни в її будові, кліматі та геодинаміці. Вивчення відносного віку гірських порід дозволило європейським геологам вже в XV ст. розташувати виділені підрозділи у вигляді шкали з найбільш древніми підрозділами в основі і послідовно все більш молодими підрозділами вище.

Раніше класифікації включали три головних підрозділи: первинну, вторинну і третинну ери; набагато пізніше до них була добавлена четвертинна (сучасна) ера. Потім три перших підрозділи назвали інакше: палеозойська ера – древнє життя; мезозойська ера – середнє життя; кайнозойська ера – нове життя.

Четвертинна ера сучасного життя зберегла свою історичну назву, перейшовши в розряд четвертинного періоду.

Пізніше виділили також: археозойську еру – початок життя; протерозойську еру – протожиття, або первинне життя.

Перераховані ери стали поділяти на періоди, періоди на епохи і більш дрібні вікові одиниці. Зараз розподіл докембрію, де знайдено лише примітивні водорості, в основному, місцеві, тоді як більш молоді одиниці (від кембрію до сучасних відкладів, об'єднаних загальною назвою фанерозой) мають загальносвітове застосування.

На підставі загальноприйнятих міжнародних одиниць стратиграфії та відносної геохронології створено зведену шкалу геологічного часу – геохронологічну таблицю, де кожному відрізку часу відповідає свій комплекс порід, що утворилися в цей час.

Кожній таксонометричній одиниці шкали присвоєно свої літерні та цифрові індекси (табл. 4.1) і строго визначений колір для будь-якої геологічної карти світу (рис. 4.1, табл. 4.1).

Всі системи і яруси отримали свої назви або від місцевостей, де вони були вперше встановлені, або за характерними літологічними особливостями. Наприклад, девонська система названа по графству Девоншир в Англії, пермська – по місту Перм, крейдова система отримала свою назву завдяки типовій для неї породі – крейді; амгінський ярус названий по річці Амга в Східному Сибірі, де він вперше встановлений.

Межі між стратиграфічними підрозділами обговорюються і приймаються на міжнародних стратиграфічних нарадах.

Окрім названих стратиграфічних одиниць, виділяють ще і місцеві, літологічно доволі однорідні відклади. Вони мають реальне, фізично виражене обмеження в шаруватих товщах. Їх об'єми незмінні незалежно від різних точок зору на їх геологічний вік.

Такі літостратиграфічні одиниці зручно використовувати в повсякденній практичній роботі при геологічній зйомці, пошуках і розвідці родовищ корисних копалин, при розчленуванні і співставленні розрізів по свердловинах. Реальність меж між ними очевидна, а реальність хроно- і біостратиграфічних в деякій мірі умовна, і їх ще потрібно доводити. Місцеві одиниці носять назви: серія, свита, пачка, шар.

Світа – основна одиниця з місцевих стратиграфічних підрозділів, з якою мають справу в геології. *Свитою* називається сукупність відкладів, які утворилися в даному регіоні у визначених фізико-географічних умовах і займають в ньому визначене положення.

Зазвичай стратиграфічний об'єм свити відповідає значній частині ярусу, іноді майже цілому ярусу або навіть декільком ярусам. Світа поділяється на підсвити (нижню, середню і верхню). Зазвичай свиті дають географічну назву тієї місцевості, де її вперше встановили або де вона має найбільш характерний розріз, наприклад: березівська (встановлена біля с. Березівка), джангодська (виділили на р. Джангода) світи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 24

Таблиця 4.1

Геохронологічна шкала Землі

Ера	Період, початок (млн. років тому)	Епохи горотворення	Корисні копалини	Розвиток життя
Кайнозой KZ (67 млн. р.-дотепер)	четвертинний (антропоген) 2,4	альпійська	буре вугілля, торф, кам'яна сіль, піски, руди алюмінію, морена	панування квіткових рослин, птахів, ссавців, поява людини
	неоген, 2,5			
	палеоген, 66			
Мезозой MZ (67-240 млн. років тому)	крейда, 145	мезозойська	крейда, фосфорити, нафта, горючі сланці, руди золота, міді	панування голонасінних, динозаври, перші птахи і ссавці
	юра, 201			
	тріас, 252			
Палеозой PZ (240-570 млн. років тому)	перм, 299	герцинська	кам'яне вугілля, нафта, піски, глини, вапняки	мохи, папороті, риби, земноводні, велетенські комахи
	карбон, 359			
	девон, 419			
	силур, 444	каледонська	піски, вапняки, глини, солі	життя у воді, водорості, медузи, молюски, ракоподібні
	ордовик, 485			
	кембрій, 541			
Протерозой PR (2 млрд. років тому)	-	байкальська	граніти, базальти, лабрадорити, залізні та уранові руди	бактерії, водорості, гриби, одноклітинні тварини
Архей AR (2-4 млрд. років тому)	-	-	граніти, кварцити, кристалічні сланці	зародження життя на мілководді
Гадей (4-4,6 млрд. років тому)	-	-	циркон, основні та ультраосновні вулканогенні породи	утворення Землі та Місяця

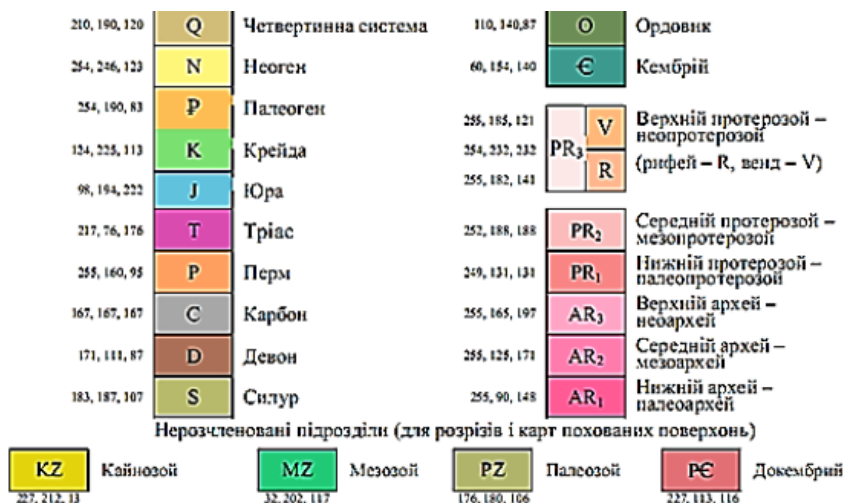


Рис. 1.4. Основні кольори розфарбовування стратиграфічних підрозділів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 25

Еволюція Землі – це тривалий і багатокомпонентний процес фізико-хімічних, геологічних та геодинамічних змін, що охоплює приблизно 4,6 млрд років.

1. Формування Землі (Гадейський еон 4,6-4,0 млрд р. т.). Початковий етап розвитку Землі пов'язаний із формуванням Сонячної системи з протопланетної туманності. Унаслідок акреції космічної речовини виникла протоземля, яка перебувала у розплавленому стані. Важливими процесами цього періоду були: гравітаційна диференціація речовини – формування ядра, мантії та первинної кори; інтенсивне метеоритне бомбардування, що суттєво впливало на тепловий баланс планети; формування Місяця (ймовірно внаслідок зіткнення Землі з протопланетою Тейя); дегазація надр, у результаті якої утворилася первинна атмосфера (переважно з водяної пари, вуглекислого газу, метану, аміаку).

Наприкінці гадею відбулося охолодження поверхні та формування перших стабільних ділянок земної кори.

2. Архей (4,0-2,5 млрд р. т.) характеризується стабілізацією літосфери та формуванням перших континентальних масивів – кратонів. Основні особливості етапу: активна вулканічна діяльність; формування первинних океанів; розвиток протоплитної тектоніки; поступове зменшення інтенсивності космічного бомбардування.

Кора Землі в цей час була тоншою, ніж сучасна, а тепловий потік з надр – значно вищим. Атмосфера залишалася безкисневою.

3. Протерозой (2,5 млрд-541 млн р. т.) – період суттєвої геологічної та геохімічної стабілізації планети. У цей час: відбулося накопичення кисню в атмосфері (Велика киснева подія); сформувалися великі континентальні платформи; неодноразово виникали й розпадалися суперконтиненти (наприклад, Родинія); відбувалися глобальні зледеніння (гіпотеза «Земля-сніжка»).

Наприкінці протерозою літосфера набула відносно сучасної структури, а тектонічні процеси набули рис, близьких до сучасної плитної тектоніки.

4. Фанерозой (541 млн р. т. – сучасність) поділяється на три великі ери: палеозойську, мезозойську та кайнозойську. Цей еон характеризується відносною стабільністю основних геодинамічних процесів, однак відзначається значними змінами в конфігурації материків, кліматі та рівні Світового океану.

В палеозойську еру (541-252 млн. р. т.) відбувалося: формування суперконтиненту Пангея; активні горотворчі процеси (каледонська та герцинська складчастість); значні коливання рівня моря; масове пермське вимирання наприкінці ери.

В мезозойську еру (252-66 млн р. т.) відбувалися: розпад Пангеї на Лавразію та Гондвану; формування сучасних океанічних басейнів; активізація магматизму; крейдове масове вимирання.

В кайнозойську еру (66 млн р. тому – сучасність) відбулося остаточне формування сучасної конфігурації материків; формування молодих гірських систем (альпійська складчастість); поступове охолодження клімату та розвиток льодовикових періодів; формування сучасного рельєфу, річкових систем і океанічних течій.

5. Сучасний геологічний етап характеризується: активною тектонікою літосферних плит; вулканізмом і сейсмічною активністю; антропогенним впливом на геосистеми; змінами клімату глобального масштабу. Деякі дослідники виокремлюють нову умовну епоху – антропоцен, підкреслюючи роль людської діяльності як геологічного чинника.

Еволюція Землі відбувалася через послідовну зміну стадій: від розплавленої протопланети до складної геосистеми з диференційованими оболонками — літосферою, гідросферою, атмосферою та біосферою. Провідними чинниками цього процесу були гравітаційна диференціація, тектоніка плит, магматизм, зміни клімату та космічні впливи. Усі ці етапи сформували сучасний вигляд планети та її геодинамічні особливості.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G.16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 26

4.2. Розвиток життя на Землі

Розвиток життя на Землі – це складний і тривалий процес біологічної еволюції, що охоплює понад 3,5 млрд років. Він характеризується поступовим ускладненням організації живих систем, зростанням біорізноманіття та формуванням глобальної біосфери. У науковому вимірі історію життя розглядають у межах геохронологічної шкали, виділяючи докембрійський і фанерозойський етапи.

1. Походження життя (архейський еон, понад 3,5 млрд років тому)

Перші форми життя виникли в умовах первинної гідросфери. Існує кілька гіпотез абіогенезу, які пояснюють перехід від неживої матерії до перших біологічних структур (коацерватна гіпотеза, теорія «первинного бульйону», гідротермальна гіпотеза).

Найдавнішими організмами були прокаріоти – бактерії та археї. Вони мали просту клітинну будову без оформленого ядра та внутрішніх мембранних органел. Життя в археї було виключно одноклітинним і анаеробним.

Важливою подією стало виникнення фотосинтезу в ціанобактерій, що спричинило накопичення молекулярного кисню в атмосфері (Велика киснева подія близько 2,4 млрд років тому). Це призвело до радикальної перебудови біосфери та появи аеробних форм життя.

2. Виникнення еукаріотів і багатоклітинності (протерозойський еон)

У протерозої сформувалися перші еукаріотичні клітини. Їх походження пояснюється ендосимбіотичною теорією, відповідно до якої деякі органели (мітохондрії, хлоропласти) виникли внаслідок симбіозу між прокаріотичними організмами.

Поява еукаріотів стала еволюційним проривом, оскільки забезпечила: складнішу клітинну організацію; розвиток статевого процесу; зростання генетичної різноманітності.

Наприкінці протерозою з'явилися перші багатоклітинні організми – представники едіакарської біоти, що стали передумовою подальшої біологічної диверсифікації.

3. Кембрійський вибух і формування основних типів організмів (палеозой)

На початку фанерозою відбулася одна з ключових подій в історії життя – «кембрійський вибух». Протягом відносно короткого геологічного часу з'явилася більшість сучасних типів тварин. Сформувалися складні екосистеми з розвиненими трофічними зв'язками.

У палеозойську еру відбулися такі еволюційні події: розвиток хребетних (від безщелепних риб до перших амфібій); вихід рослин на суходіл; поява комах і перших наземних хребетних; формування насінних рослин.

Наприкінці палеозою (пермський період) відбулося найбільше масове вимирання в історії Землі, яке знищило значну частину морських і наземних видів.

4. Ера рептилій і поява птахів та ссавців (мезозой)

У мезозойську еру домінували плазуни, зокрема динозаври. У цей період: з'явилися перші ссавці; сформувалися перші птахи; активно еволюціонували голонасінні та згодом покритонасінні рослини.

Наприкінці крейдового періоду відбулося масове вимирання, пов'язане з падінням великого астероїда та масштабними вулканічними процесами. Зникнення динозаврів створило екологічні ніші для швидкого розвитку ссавців.

5. Розвиток ссавців і поява людини (кайнозой)

Кайнозойська ера характеризується інтенсивною адаптивною радіацією ссавців і птахів. Сформувалися сучасні екосистеми, поширилися квіткові рослини.

У неогені та антропогені з'явилися примати, а згодом – рід *Номо*. Біологічна еволюція людини відбувалася під впливом природного добору, соціальних факторів і культурного розвитку. Сучасний вид – *Номо sapiens* став потужним геологічним і біосферним чинником.

Розвиток життя на Землі має кілька фундаментальних закономірностей:

1. Ускладнення організації – від одноклітинних форм до багатоклітинних організмів із високим рівнем спеціалізації.

2. Нерівномірність темпів еволюції – чергування стабільних періодів із біологічними «вибухами» та масовими вимираннями.

3. Адаптація до змін середовища – тісний взаємозв'язок між геологічними процесами та біологічною еволюцією.

4. Природний добір як провідний механізм еволюції, концептуально обґрунтований Чарльз Дарвін.

Сучасна синтетична теорія еволюції поєднує положення дарвінізму з досягненнями генетики, молекулярної біології, екології та палеонтології.

Розвиток життя на Землі є безперервним процесом, що відображає взаємодію біологічних систем із геологічним і кліматичним середовищем. Від найпростіших прокаріотичних клітин до складних організмів і людської цивілізації – еволюція життя демонструє поступове ускладнення, адаптацію та інтеграцію живих систем у глобальну біосферу планети.

4.3. Викопна фауна і флора

Породи фанерозою більш або менш містять в собі органічні залишки. Наука, яка вивчає древні рослини, називається *палеоботанікою*, древніх тварин – *палеонтологією*. Всі організми класифікують на типи, класи, ряди, родини, види.

Міжнародна стратиграфічна шкала побудована за палеонтологічними даними. Виділяють так звані керівні форми, тобто такі рештки, за якими можна точно встановити вік. На рис. 4.2 показано основні групи фауни, за якими визначають вік порід. Наприклад, трилобіти, як клас, жили від кембрію до пермі.

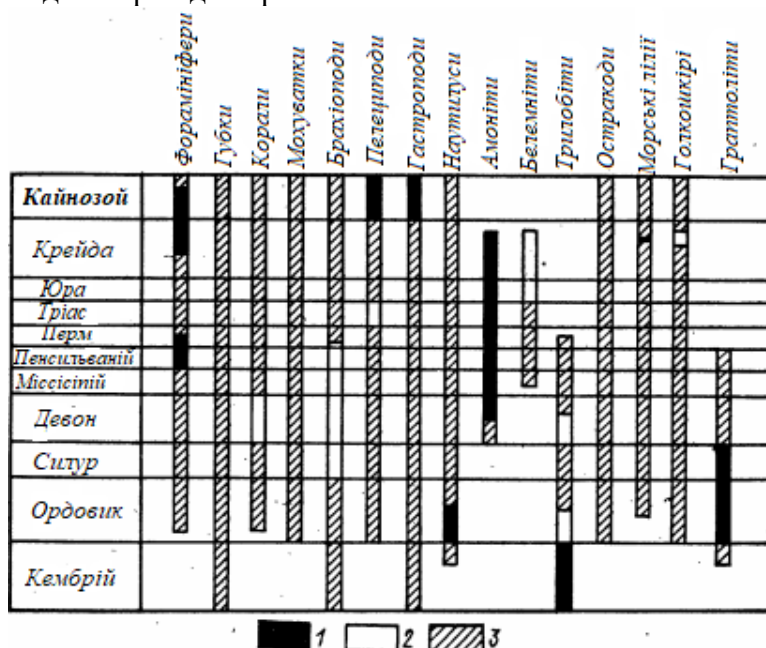


Рис. 4.2. Відносне хроностратиграфічне значення основних груп морських безхребетних протягом геологічного часу
Групи:
1 – важливі для планетарних хроностратиграфічних кореляцій;
2 – застосовуються для регіональних кореляцій,
3 – іноді використовуються для місцевих кореляцій.

Власне кажучи, палеозой саме і виділений в окрему стратиграфічну групу через те, що в цих відкладах зустрічається певний комплекс викопної фауни, в тому числі і трилобіти. Знайти залишки цих тварин в мезозої або кайнозої неможливо, тому що вони вимерли наприкінці палеозойської ери. Бувають, правда, рідкісні винятки, коли фауна перевідкладена: древні породи руйнувалися, а їх вміст потрапив в молоді утворення. Але в таких випадках збереженість залишків дуже погана, і вони знаходяться разом з іншими, більш молодими викопними.

Ще один яскравий приклад вузького стратиграфічного розповсюдження – *грантоліти*. Це підтип геміхордових, який жив від середнього кембрію до раннього карбону. Ордовицькі і силурійські відклади дуже гарно розмежовуються по грантолітах. *Амоніти* – головна фауна в датуванні віку мезозойських порід.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 28

Вид – основна одиниця, якою оперують палеонтологи. За видами виділяють зони, самі дрібні стратиграфічні підрозділи міжнародної шкали. Вид має родові і видові латинські назви, після яких вказується латинською прізвище автора, який вперше встановив цей вид. Наприклад, *Rugulina nux Lutova* – вид *nux* роду форамініфер *Rugulina*; вид вперше встановила палеонтолог Лутова.

Морські тварини поділяють на *нектон* – вільно плаваючі (риби, кальмари, медузи), *планктон* – «висячі» у воді (діатомові водорості, радіолярії, форамініфери) і *бентос* – які повзають і прикріплені до дна (двостулкові, корали, губки). Для глобальних співставлень особливо важливий нектон, для палеогеографічних побудов – бентос.

Одновіковість відкладів різних кліматичних зон, віддалених одні від одних на тисячі кілометрів, встановлюють за допомогою послідовного співставлення ареалів проживання викопної фауни. Велике значення для розмежування і співставлення відкладів на різних континентах має спорово-пилковий аналіз, тому що спори і пилок рослин розноситься вітрами практично по всій земній кулі.

Скам'янілості, за винятком рифових відкладів і черепашників, знаходяться у вигляді окремих включень в шарі. Тому надзвичайно важливо усвідомити, наскільки випадкові знахідки мушель в керні свердловин; особливо рідкісні цілі екземпляри гарного збереження. Цінність таких знахідок для науки і практики неможливо переоцінити. Мушлі з керну свердловин не можна чіпати до прибуття спеціаліста, щоб не переплутати місце їх знахідки або, що іще гірше, втратити їх.

При відборі фауни з керна свердловин кожний зразок акуратно замотують в м'яку вату, щоб при транспортуванні мушля не розбилася, завертають в папір і двічі маркують: одну етикетку кладуть всередину згортка, а на обкладинці зовні підпис повторюють. На етикетці вказують дату, номер свердловини, інтервал відбору керна і глибину, з якої взяли зразок.

Для датування відкладів по керну свердловин першорядне значення має *мікрофауна* – дрібні від часток міліметра до 1, рідше 2 мм маленькі черепашки, які не видно неозброєним оком, а побачити їх можна лише під мікроскопом. Це в основному остракоди і форамініфери. Зустрічаються в породах вони порівняно частіше, ніж крупні черепашки двостулкових молюсків, брахіоподів, амонітів, трилобітів. Іноді їх кількість може сягати десятків тисяч екземплярів на 100 г породи. Тому мікропалеонтологія отримала інтенсивний розвиток саме в зв'язку з бурінням свердловин.

4.4. Вік гірських порід

Геологічний вік – це час, який пройшов з моменту будь-якої геологічної події в історії Землі до нашого часу, наприклад, час утворення осадових гірських порід, виверження розплавленої магми, життя організмів. В геології розрізняють абсолютний і відносний вік.

Шкала абсолютної геохронології – шкала, в якій основні рубежі геологічної історії виражені в астрономічних одиницях часу – роках. Для визначення віку застосовуються декілька різних методів, заснованих на явищі радіоактивного розпаду. На рис. 8.1 зображена крива розпаду радіоактивних елементів. Половина радіоактивної речовини $1/2 N$ розпадається за період T ; через проміжок часу $2T$ залишається $1/4 N$ вихідної речовини; через проміжок $3T$ залишається $1/8 N$ і т. д. Час T , за який розпадається половина вихідної радіоактивної речовини, називається періодом напіврозпаду.

В геохронології використовуються ізотопи уруна, торію, рубідію, калію, вуглецю і водню (табл. 4.2). Названі ізотопи нестабільні. Для того щоб визначити вік, необхідно знайти співвідношення ваги новоствореного елемента до ваги материнського елемента. Вважається, що можлива похибка в більшості випадків не перевищує декількох відсотків. Радіоактивні елементи відіграють роль атомного годинника, який почав відлік з моменту кристалізації мінералу. Жоден з довгоживучих ізотопів, які використовуються в практиці, не встиг зникнути повністю.

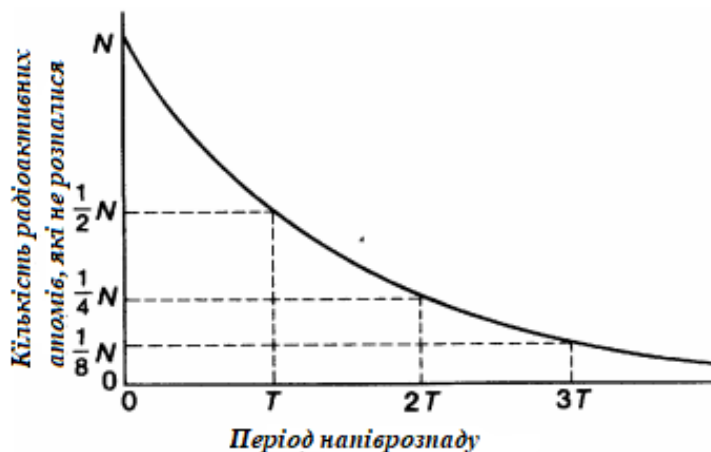


Рис. 4.3. Крива розпаду радіоактивних елементів
Таблиця 4.2

Періоди напіврозпаду радіоактивних елементів

Материнський ізотоп	Кінцевий продукт	Період напіврозпаду, млрд. років
U^{238}	Pb^{206}	4,468
U^{235}	Pb^{207}	0,7038
Th^{232}	Pb^{208}	14,008
Rb^{87}	Sr^{87}	48,8
K^{40}	Ar^{40}	1,30
	Ca^{40}	
C^{14}	N^{14}	всього 5730 років
H^3	H^2	всього 12,5 років

Тритій використовують для вивчення швидкості руху підземних вод, швидкості перемішування морської води або визначення віку не дуже старих шарів сніжних полів.

Радіо-вуглецевий метод оснований на припущенні, що відношення C^{14}/C^{12} в повітрі залишається постійним. З його допомогою можна визначати час, обмежений приблизно восьмикратною тривалістю напіврозпаду, тобто сучасна техніка дозволяє визначити цим методом вік в діапазоні до 100 тис. років. Метод можна застосовувати до деревини, деревного вугілля, торфу, кісток тварин та інших матеріалів, що багаті на вуглець, включаючи вуглецевмісні організми, які витягають з поверхневих вод розчинений в них вуглець. Радіо-вуглецевий метод головний в археології.

Калій-аргоновий метод. Калієвмісні мінерали широко розповсюджені в земній корі, і цей метод підходить для більшості порід. Головна проблема калій-аргонового метода полягає у витоку аргону з місця його утворення, особливо в результаті прогріву порід за рахунок занурення їх на глибину або впровадження неподалік інтрузій. В цьому випадку отриманий вік порід може відповідати не часу виникнення породи, а лише терміну, який пройшов після цієї термальної події, тобто коли знову пішов K/Ar-годинник. Метод можна застосовувати до порід з віком принаймні від 100 тисяч до мільярдів років. Більшою мірою, ніж інші методи, він послужив для калібрування шкали геологічного часу

Рубідій-стронцієвий метод можна використовувати для датування подій більш древніх 1 млрд. лет, але головна проблема в наявності рубідію у вихідному матеріалі, оскільки елемент дуже рідкісний.

Уран-свинцевий, торій-свинцевий та ізотопно-свинцевий методи придатні для широкого діапазону часу, приблизно від 100 млн. років до більш ніж 5 млрд. років. Це дуже важливі методи для визначення віку метеоритів і самих древніх порід на Землі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 30

Для деяких спеціальних цілей застосовуються й інші ізотопи; існуючі методи весь час вдосконалюються за рахунок введення нових прийомів дослідження.

За даними на сьогоднішній день, достовірний вік найбільш древніх порід земної кулі, визначений названими методами, сягає 3,8 млрд. років. Для багатьох метеоритів вік визначений в 4,55 млрд. років, для місячних порід – як 4,7 млрд. років. Тому вік Сонячної системи, включаючи Землю, може оцінюватися, ймовірно, в 5 млрд. років.

В практиці польових робіт ізотопний вік гірських порід, виражений в роках, зазвичай менше цікавить геологів, ніж відносний вік геологічних тіл, оцінюваний такими поняттями, "молодше", "древніше", "одночасно". Цей вік, встановлюваний прямими спостереженнями співвідношення геологічних тіл в їх природному положенні, розглядається геологічною дисципліною *стратиграфією*. Об'єктом стратиграфії є не вся земна кора, а лише нормальні пласти товщі, які складені осадовими, вулканогенними і метаморфічними породами. В цій дисципліні прийняті свої припущення, названі принципами.

1) **Принцип актуалізму**. Сили, нині діючі як на земній поверхні, так і під нею, можуть бути тотожні за родом і ступенем з тими, які в віддалені епохи проводили геологічні зміни.

2) **Принцип неповноти геологічного літопису**. В геологічних напластуваннях відображена, ймовірно, лише менша частина геологічної історії, а більша частина часу приходить на перерви. Поряд з крупними перервами, які фіксуються незгодами, важливу роль в неповноті геологічного літопису належить дрібним перервам, обумовлених пульсаційним характером і переривчастістю самого процесу накопичення відкладів.

Все фактично ясно вказує нам на те, що кожна область земної кулі переживала багаторазові вертикальні коливання поверхні, які захоплювали великі простори. Отже товщі порід, достатньо потужні і великі, щоб зберегтися від наступного руйнування, могли утворитися лише там, де було багато принесених відкладів і де глибина моря була незначна. Але потужні товщі відкладів не можуть накопичуватися в мілководній прибережній області. Значить, дно моря має не досить швидко опускатися. В проміжні епохи підняття накопичені відклади руйнувалися і служили джерелом матеріалу вже для інших порід. Окрім крупних перерв, які відділяють товщі порід одні від одних, існують дрібні, так звані внутрішньо-формаційні перерви.

Також і скам'янілості, що знаходяться в породах, являють собою лише незначний відсоток організмів, які населяли Землю в минулі геологічні епохи. Наприклад, м'які організми типу сучасних медуз не зберігаються.

3) **Принцип послідовності утворення геологічних тіл (закон напластування)**. Згідно закону напластування: послідовність залягання шарів в розрізі, який нормально залягає, відповідає історичній послідовності їх утворення (рис. 4.4). Інше формулювання закону виглядає наступним чином: з двох суміжних тіл першим утворилося те, яке є підстиляючим або залишає свій відбиток на тілі іншого. Це формулювання враховує просторові співвідношення шарів у випадку зминання в складки і перекинутого залягання шарів.

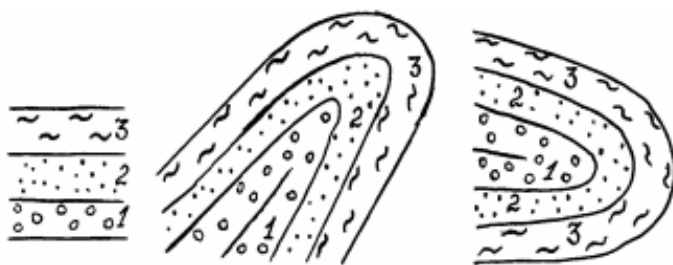


Рис. 4.4. Послідовність утворення геологічних тіл
1 – самий древній шар;
2 – проміжний шар;
3 – самий молодий шар

4) **Принцип вікової міграції граничних поверхонь геологічних тіл**. В кожному шарі синхронними можна вважати лише ті відклади, які відкладалися вздовж зон накопичення відкладів, що існували в кожний даний момент, тобто відклади, які розподілилися вздовж берегової лінії. На рисунку 4.5 показано, що в різні моменти часу біля берега відкладаються

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 31

галечники, далі від берега накопичуються піски, а лише потім – глини. В результаті формуються три різні шари, але площини їх напластування утворилися протягом тривалих проміжків часу.

Зазвичай різновічність окремого шару часто не можна встановити практично, і тому воно не завжди має суттєве значення для стратиграфії. В такому випадку ним нехтують. Але різновічність осадових комплексів, які складаються з великої кількості шарів, необхідно враховувати. Іншими словами, межі поверхонь геологічних тіл змінюються в часі. Літологічна єдність не є критерієм хронологічної одночасності.

5) **Принцип фаціальної неоднорідності одновікових відкладів.** Фації – це типи відкладів, які сформувалися в різних ситуаціях накопичення відкладів (прибережні, мілководні, глибоководні, руслові, дельтові, озерні, болотні та ін.). Оскільки в якийсь момент часу існує безліч різних умов утворення порід, то одновікові відклади, неоднорідні (див. рис. 4.5).

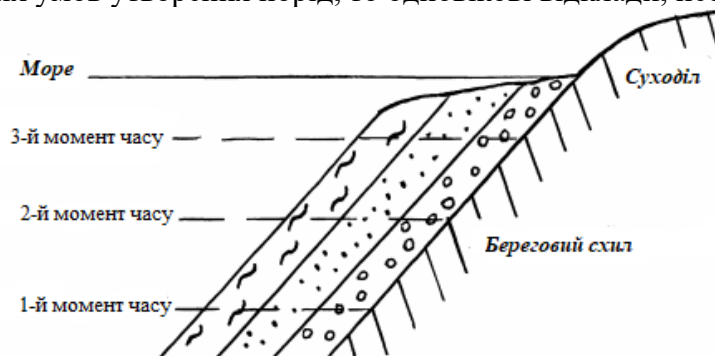


Рис. 4.5. Різновікові утворення геологічних шарів

6) **Принцип біостратиграфічного розчленування і кореляції.** Відклади, які містять однакову фауну і флору, геологічно одновікові. Мається на увазі, що відклади можна розрізняти і зіставляти по заключених у них залишках організмів. Вископні фауни і флори слідує одні за одними у визначеному, певно виясненому порядку.

Питання для самоперевірки

1. Які основні фізико-хімічні процеси супроводжували формування Землі на ранньому етапі її існування (гадейський еон)?
2. Поясніть сутність Великої кисневої події та її значення для подальшої еволюції біосфери.
3. Які причини та наслідки кембрійського вибуху в історії розвитку життя?
4. Які фактори спричинили масові вимирання в історії Землі та як вони впливали на подальший розвиток життя?
5. У чому полягає еволюційне значення появи еукаріотичних клітин і багатоклітинних організмів?
6. У чому полягає відмінність між відносним і абсолютним віком гірських порід, та які методи застосовуються для їх визначення?
7. Сформулюйте основні принципи стратиграфії та поясніть їх значення для встановлення відносного віку порід.
8. На яких фізичних закономірностях ґрунтуються радіометричні методи датування та які ізотопні системи найчастіше використовуються в геохронології?
9. Які чинники можуть впливати на точність визначення абсолютного віку гірських порід?
10. Як результати визначення віку гірських порід використовуються для реконструкції геологічної історії території та еволюції Землі в цілому?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 32

5. ЕНДОГЕННІ ПРОЦЕСИ

5.1. Магматизм

Вулканічні виверження – одні з найбільш руйнівних і страшних явищ природи. Вони спостерігалися і реєструвалися протягом століть. Термін вулканізм походить від слова «вулкан» – 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 °C. Магматичний розплав, який виливається, зазвичай має температуру 1200–1400 °C.

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 ефузивні тіла. Форми інтрузивних утворень зображені на рис. 5.1, будова вулканічного апарату – на рис. 5.2.

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 *лаколиту* 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.

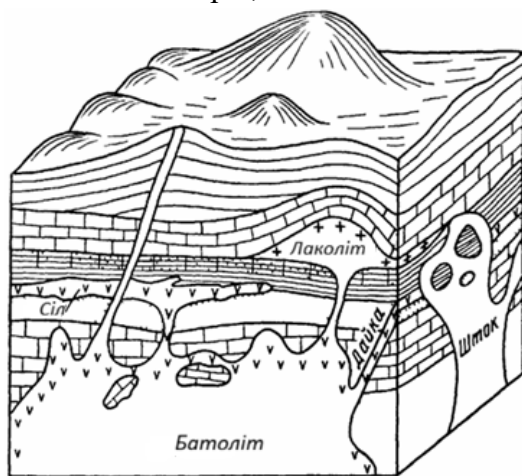
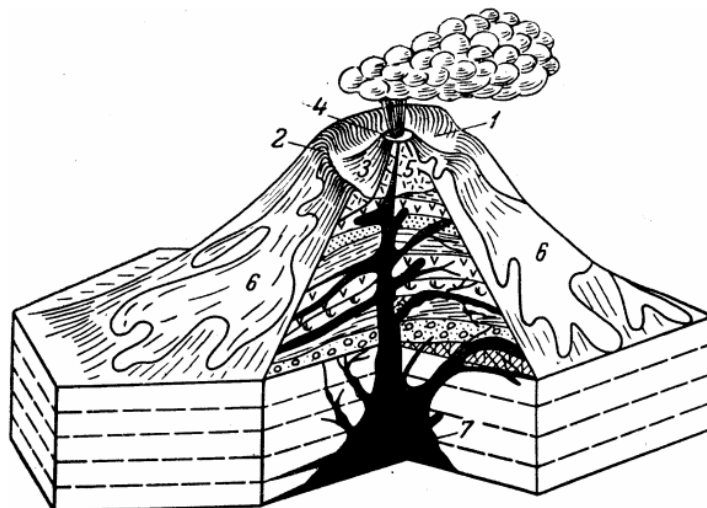


Рис. 5.1. Форми залягання інтрузій

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 33

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.



1 – кальдера;
2 – сома;
3 – конус;
4 – кратер;
5 – жерло;
6 – лавовий потік;
7 – лавовий осередок
Рис. 5.2. Схема будови вулканічного апарату

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. Ще 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 піднімалися вище рівня моря, але деякі були вулканічними островами, які тепер занурилися внаслідок рухів земної кори.

5.2. Продукти і типи вулканічних вивержень, приклади вулканічної діяльності

75-90 % газоподібних компонентів, які виділяються при виверженнях вулканів, складає водяна пара. Ще 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 підніжжя вулканів в періоди між інтенсивними виверженнями виринають водяна пара та інші розігріті гази з температурою від 100 до 650 °С. З газів шляхом возгонки утворюються самородна сірка, хлориди металів, сульфід 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.

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 34

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 досягає всього лише декілька десятків метрів за добу. В результаті 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.

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.

Вулканологи виділяють шість основних типів вивержень вулканів, які характеризуються своєрідним протіканням процесу виверження (рис. 5.3).

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».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 35

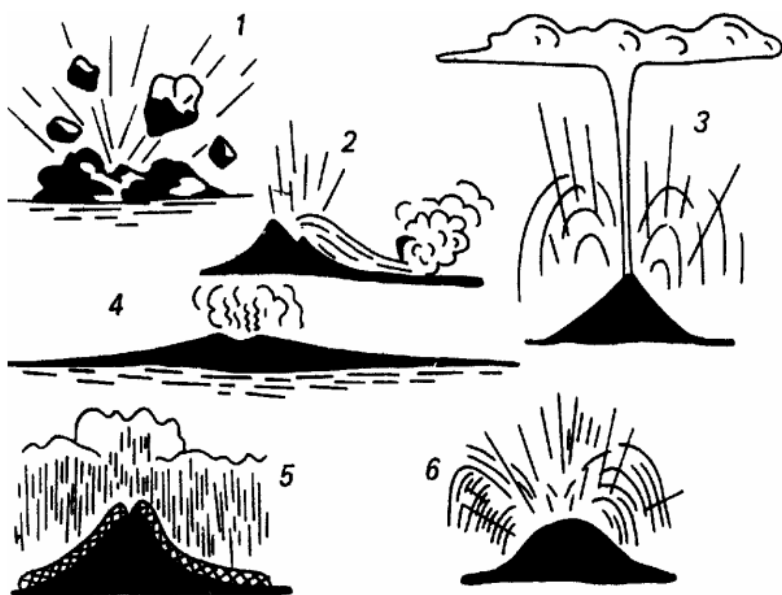


Рис. 5.3. Типи вивержень вулканів

- 1 – катмайський;
- 2 – пелейський;
- 3 – плініанський;
- 4 – гавайський;
- 5 – стромболіанський;
- 6 – вулканський

Приведем приклади вивержень деяких вулканів.

Вулкан Парікутін, 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 виверженнями 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 піднімається 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 щільністю 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 районі 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 36

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 результаті 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.

5.3. Типи метаморфізму

Метаморфізм – це фізичне і хімічне перетворення гірських порід в глибинах Землі в умовах високих температур, тисків і циркуляції флюїдів (вода, вуглекислий газ, гарячі розчини з Na, Ca, F, B, S). Особливість метаморфічних процесів полягає в тому, що вони відбуваються без розплавлення порід. Якщо порода перепплавляється, то утворюється магма, з якої вже утворюються магматичні породи. Там, де метаморфізм відбувається повністю, мінеральні асоціації стають дуже простими, і хімічні елементи в породах реорганізуються в невелику кількість мінералів (найчастіше від двох до шести).

Метаморфічними гірськими породами називають породи, які підлягли зміні під дією високих тисків, температури, а також хімічних речовин, які входять в склад магми, розпечених газів і гарячих водних розчинів.

Існує багато типів метаморфізму, але основні типи – це термальний, регіональний, контактний і гідротермальний. Породи можуть одночасно або послідовно підлягати декільком типам перетворень. В деяких випадках переробка буває настільки глибокою, що неможливо з впевненістю встановити характер первинних порід.

Термальний і регіональний типи метаморфізму призводять до утворення сланцюватих порід.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 37
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

Термальний метаморфізм. Загальне нагрівання порід, які занурені на великі глибини, викликає перекристалізацію. При геотермічному градієнті, рівному 3°C на 100 м по вертикалі, температура на глибині 10 км досягне приблизно 300°C , тобто вона достатня, щоб почалися зміни. На глибині 20 км температура, ймовірно, досягає вже 600°C , що цілком достатньо для протікання метаморфічних реакцій.

При збільшенні температури за рахунок колишніх мінералів утворюються нові, наприклад, з глинистих мінералів утворюється хлорит; коли вугілля втрачає воду і леткі гази, утворюється антрацит. В ряді порід деякі кристали збільшуються в розмірах за рахунок більш дрібних кристалів такого ж складу, як це відбувається при формуванні крупнокристалічного мармуру з тонкозернистого вапняку. При помірному нагріванні перекристалізація особливо легко проходить в глинах, вугіллі, вулканічному склі, вапняках і солях.

Регіональний метаморфізм (або динамометаморфізм). Цей термін включає в себе зміни, викликані дуже високими тисками і температурами на великих площах земної кори, а також тектонічними рухами, причиною яких є сильний орієнтований тиск. В часі і просторі він пов'язаний з інтенсивною складчастістю потужних товщ осадових порід. Формуються нові листові і лускуваті мінерали, площини яких розташовуються перпендикулярно тиску; виникають різні *сланці* і *гнейси*. В інших випадках виникають голчасті і видовжені кристали з орієнтуванням паралельно існуючому тиску.

Контактовий і гідротермальний типи метаморфізму призводять до утворення несланцюватих порід.

Контактовий метаморфізм проходить поблизу магматичних інтрузій, і головними його факторами є висока температура і тиск гарячих флюїдів, які виділяються. Цей вид метаморфізму чітко зональний, поблизу контакту зміни найбільш повні, а в міру віддалення від контакту – часткові. Утворюються різноманітні *роговики*. Ширина ореолів змінених зон залежить від об'єму впровадженої магми і може бути від декількох метрів до сотень метрів.

Якщо процес відбувається при участі газів, то виникають різні *скарни*, і цей тип метаморфізму називають **контактово-метасоматичним**.

Гідротермальні зміни. Причиною метаморфізму цього типу є гарячі магматичні води або підземні води, які нагрілися і стали активними завдяки інтрузії магми. Польовий шпат переходить в м'яку крейдоподібну масу слюдистого мінералу серициту або каолінової глини; рогова обманка перетворюється в хлорит, олівін – в серпентин.

Гідротермальний метаморфізм зазвичай супроводжується привнесенням в виносом речовини, при цьому утворюються *грейзени*. Звичайним явищем є заміщення, яке супроводжується накопиченням руд металів (рис. 5.4).

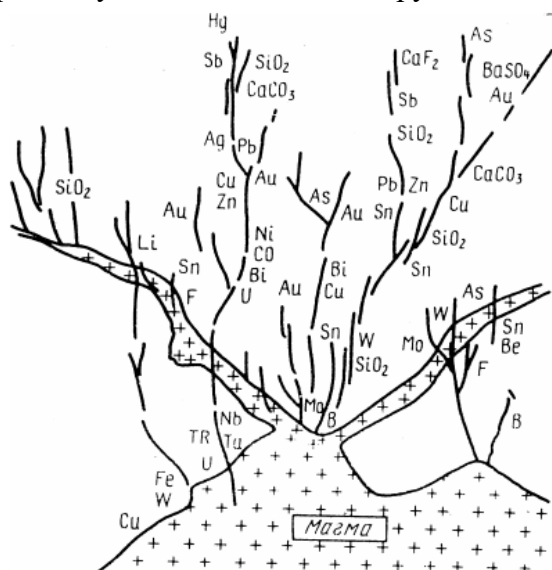


Рис. 5.4. Зональність зруденіння відносно магматичного осередку

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 38

Безпосередньо близько до магматичного масиву утворюються високотемпературні руди вольфраму, урану, танталу, ніобію і рідкісноземельних елементів. По мері віддалення від магматичного осередку температура розчинів зменшується, і на віддаленні від нього утворюються самі легкоплавкі сполуки ртуті, сурми, миш'яку. Контактково-метасоматичні і гідротермальні зміни часто проходять сумісно і доповнюють одні одних.

5.4. Тектонічні рухи земної кори

Рухи земної кори, у результаті яких змінюється висотне положення поверхні та гірських порід, які її складають, умови і форми залягання, відбувається утворення нових форм рельєфу, називають *тектонічним*. Геодезичні вимірювання показують, що вся поверхня Землі перебуває в безперервному тектонічному русі. Ці рухи спричиняються силами, які діють у земній корі і, головним чином, у мантиї. Вони призводять до деформацій порід, що складають кору, трансгресії і регресії моря, підняття одних ділянок земної кори й опускання інших, поруч із ними розташованих.

У земній корі виникають сейсмічні явища, утворюється складчастість, проявляється магматизм на глибині та вулканізм на поверхні. Розрізняють тектоніку минулих геологічних епох і сучасну – четвертинного віку (неотектоніку).

Тектонічні рухи різноманітні за формою прояву, за глибиною зародження, за механізмом і причинами виникнення.

Тектонічні рухи поділяють на вертикальні (радіальні) і горизонтальні (тангенціальні). Вони взаємно пов'язані і переходять один вид в інший.

Вертикальні коливальні рухи при прояві та зміні напрямку призводять до зміни обрисів берегових ліній, басейнів, озер, змінюють напрямок геологічної діяльності, що призводить до загасання або відновлення таких екзогенних процесів і явищ, як утворення терас, підтоплення підвалів річок, підболочування, утворення ярів, порушення динамічної рівноваги рельєфу, накопичення потужних товщ четвертинних відкладів або їхнє глибоке розмивання.

Горизонтальні рухи призводять до гороутворення, виникнення складчастих (плікативних) і розривних (диз'юнктивних) дислокацій, прояву магматизму, вулканізму та сейсмічної активності.

Гороутворювальні процеси відбувалися весь період формування літосфери. З ними пов'язані й *дислокації* – порушення первинного залягання шарів. Розрізняють плікативні та диз'юнктивні дислокації.

Плікативні (складчасті) дислокації – це зміна положення шару без розриву його суцільності. Форми плікативних дислокацій: монокліналь, флексура, складки (рис. 2.1). Залежно від положення вісей складок розрізняють складки прямі, косі, похилі, лежачі тощо.

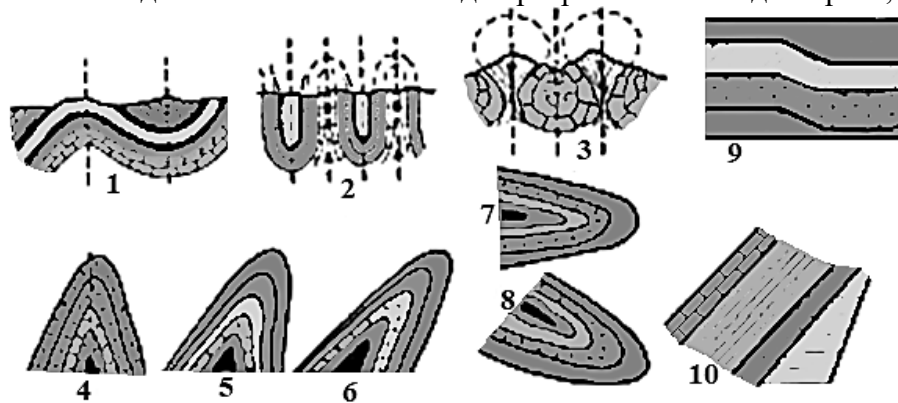


Рис. 5.5. Види складок

- 1 – повна (нормальна);
- 2 – ізокліналь;
- 3 – скриня;
- 4 – пряма;
- 5 – коса;
- 6 – похила;
- 7 – лежача;
- 8 – перекинута;
- 9 – флексура;
- 10 – монокліналь

Елементи складок (рис. 5.6):

- ядро – породи, що складають центральну частину складки;
- замок – частина складки в місці перегину шарів (у плані - замикання);
- крила – частини складок, що примикають до замку;

- осьова площина (ОП) – поверхня, що проходить через точки перегину шарів;
- шарнір – лінія перетину ОП із поверхнею одного з шарів.

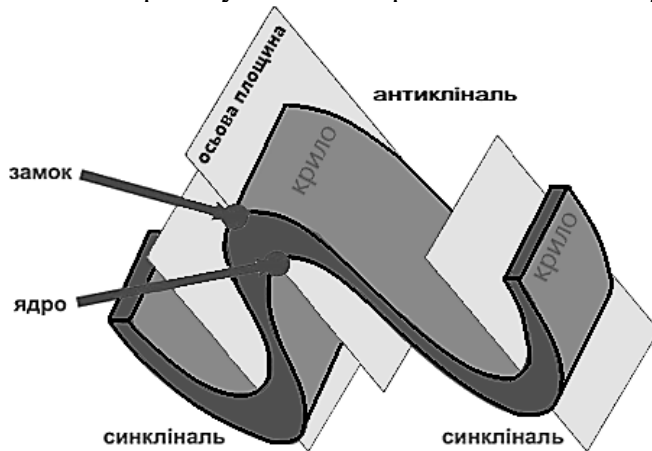


Рис. 5.6. Антиклінальна і синклінальна складки та їх елементи

На початку утворення диз'юнктивних (розривних) дислокацій, відбувається розрив шару, а потім одна частина зміщується відносно іншої.

Види розривних дислокацій (рис. 5.7):

- *скид* – порушення, у якого площина розриву нахилена убік висячого крила;
- якщо площина розриву підсунута під висяче крило, утворюється *підкид*;
- *насув* – це дислокація з розривом пластів і насуванням одного крила на інше по горизонтальній або пологістій стосовно горизонту площині (у скидах переміщення відбувається по більш крутій, ближче до вертикальної, площині). Насув з великим горизонтальним переміщенням називається покривом або *шар'яжем*;
- *горсти* утворюються скидами або підкидами, центральні частини яких (блоки) підняті. При їх розмиві центральна частина буде складене більш древніми породами, ніж крайові. Горсти формують великі ділянки земної кори, наприклад, у них лежать великі африканські озера (Ньяса, Танганьїка, Альберта, Рудольфа), Червоне море, озеро Байкал.
- *грабени*, навпаки, складені в центрі відносно молодими породами, а у крайових частинах – більш древніми. Грабен під назвою Дніпровсько-Донецька западина охоплює усю східну Україну. З ним пов'язані основні родовища нафти і газу регіону.;
- *розсувами* називаються розриви зі зміщеннями. Вони відбуваються перпендикулярно до поверхні відриву при розсуванні частин пласта у різні (протилежні) сторони;
- *зсуви* – переміщення з розривом у горизонтальному напрямку.

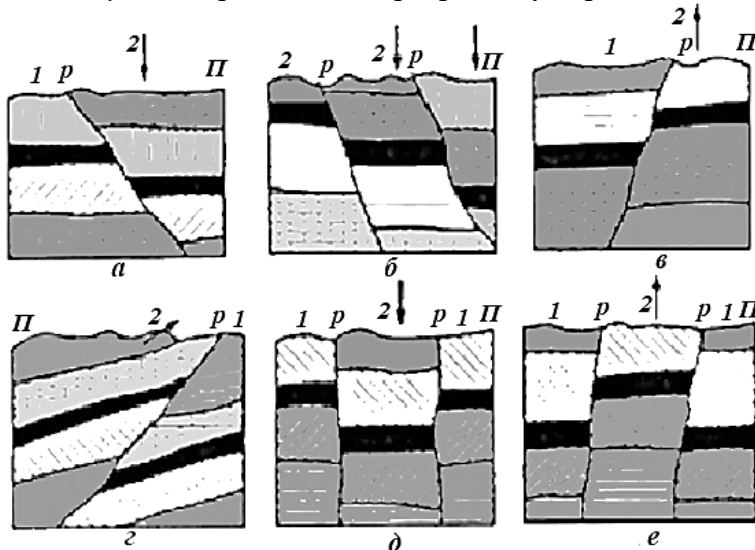


Рис. 5.7. Розривні дислокації:

- а – скид;
б – ступінчастий скид;
в – підкид;
г – насув;
д – грабен;
е – горст;
1 – нерухома частина товщі;
2 – зміщена частина;
П – поверхня Землі;
р – площина розриву шарів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 40

В районах розвитку дислокацій в ядрах складок породи сильно зім'яті, а в склепіннях – висока тріщинуватість. При моноклінальному заляганні в основі можуть бути породи різної міцності та стисливості. У зонах розломів при розривних дислокаціях породи зім'яті і з часом по них процеси вивітрювання проникають на велику глибину, крім того ці зони накопичують атмосферні опади й утворюють водоносні горизонти.

5.5 Сейсмічні явища

Потужний прояв внутрішніх сил Землі, який виражений коливаннями земної поверхні під час проходження сейсмічних хвиль від підземного джерела енергії, називають *землетрусом*.

Існують три типи сейсмічних хвиль:

- **повздовжні хвилі** – стискають і розтягують породу, створюючи в ній напругу в напрямку поширення хвиль. Вони проходять зі швидкістю звуку через тверді та рідкі середовища;
- **поперечні хвилі** – зсувають частинки речовини в сторони під прямим кутом до напрямку руху хвилі зі швидкістю близько 4,5 км/с. Вони поширюються тільки в твердих середовищах;
- **поверхневі хвилі** мають період коливання більший, ніж хвилі повздовжні та поперечні. Їх називають хвилями тяжіння.

Для вловлювання та реєстрації пружних хвиль користуються спеціальними приладами – *сейсмографами*

Ділянка Землі, де раптово, вибухоподібно виділяється потенційна енергія, називається *гіпоцентром*, а його проєкція на поверхню Землі – *епіцентром* (рис. 5.8). Навколо епіцентру розташовується область найбільших руйнувань – *плейстосейстова область*. Лінії, що з'єднують пункти з однаковою інтенсивністю коливань (у балах) називають *ізосейстами*.

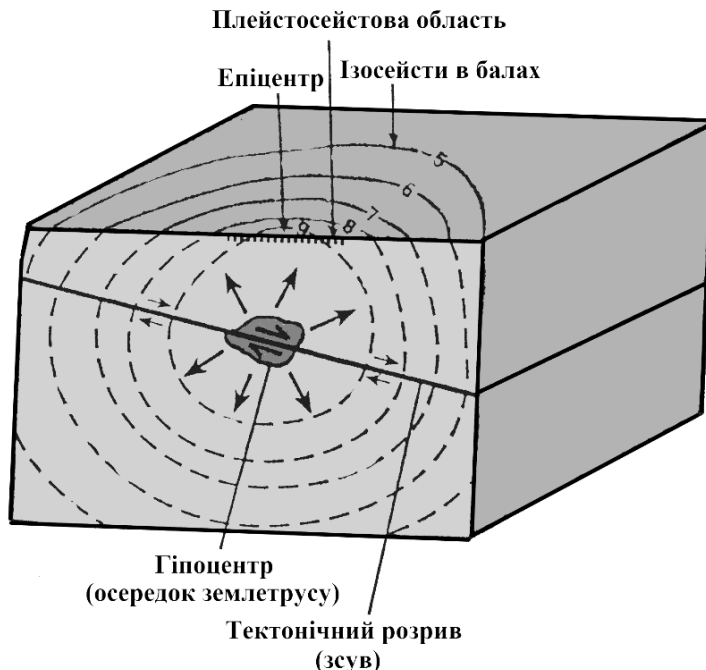


Рис. 5.8. Гіпоцентр та епіцентр землетрусу

Відстань між гіпоцентром та епіцентром є глибиною сейсмічного осередку. За глибиною сейсмічного осередку землетрусу поділяють на поверхневі (до 10 км), нормальні (10-75 км), глибокі (75-300 км) і дуже глибокі (300-700 км).

Гіпоцентр може зміщуватися за глибиною при повторенні землетрусів. Гіпоцентр називають центром як точкою землетрусу суто умовно, оскільки це найчастіше розрив по тріщині і залежно від енергії розриву величина і нахил такої тріщини різні.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 41

Від гіпоцентру хвилі, поступово згасаючи, розходяться на відстані до кількох тисяч кілометрів. Дальність поширення багато в чому залежить від геологічної будови району та від пружності та щільності породи. Переходячи з більш щільного пружного середовища в менш щільне і пружне або навпаки, сейсмічні хвилі зазнають відбиття і заломлення, що записується на сейсмограмі і дає змогу позначати межі шарів порід різних за складом, щільністю, вологістю, а потім, використовуючи еталони, побудувати геологічний розріз.

Залежно від причин землетрусів їх поділяють на ендегенні (тектонічні), екзогенні (обвальні), вулканічні та антропогенні, які пов'язані з діяльністю людини (вибухи, підземні випробування, аварії на великих ГЕС, тощо). Найбільш небезпечними є тектонічні, оскільки їхня енергія, що виділяється під час землетрусу, дуже значна.

Оцінка сили землетрусів проводиться за шкалами магнітуд (М) і бальності (J).

За шкалою магнітуд, відомою під назвою шкали Ріхтера, магнітуда будь-якого землетрусу визначається як десятковий логарифм максимальної амплітуди сейсмічної хвилі (вираженої в мікронах), записаної стандартним сейсмографом на відстані 100 км від епіцентру.

Відомі максимальні значення магнітуд $M = 8,5-9$. Магнітуда – це розрахункова величина, відносна характеристика сейсмічного осередку, яка використовується для оцінки загальної енергії, що виділялася в осередку. Магнітуда найбільших землетрусів відповідає виділенню енергії в 1017-1018 Дж.

Інтенсивність прояву землетрусів на поверхні землі (здригання поверхні) визначається за шкалами сейсмічної інтенсивності й оцінюється в умовних одиницях – балах. В Україні, як і більшості країн світу використовують 12-бальну Міжнародну сейсмічну шкалу MSK-64.

Для всієї території країни залежно від геологічної будови і тектоніки виділено райони сейсмічної небезпеки різної бальності. Ці райони приурочені до гірських систем – це Крим і Карпати. На сейсмічній карті позначено області та зони, для кожної з яких вказано можливу потенційну сейсмічну небезпеку в балах від 6 до 9. Вона встановлена для середніх геологічних умов, які можуть бути різними. Тому на територіях, що застоюються, у сейсмічно небезпечних районах запроваджується мікросейсморайонування.

Інтенсивність землетрусу в балах, зазначених на карті сейсмічного районування, у цьому разі може бути скоригована на $\pm(1-2)$ бали залежно від місцевих тектонічних умов, геоморфології, ґрунтових і гідрогеологічних умов, а також від типу споруд.

Будівництво в сейсмічно небезпечних районах ведуть з урахуванням вимог будівельних норм і правил, затверджених для цих районів. Слід мати на увазі, що під час землетрусів можливі великі сходи селів, виникнення сейсмічних зсувів і зсувів і обвалів, явища розрідження дрібнозернистих і тонкозернистих водонасичених пісків, перехід їх у стан пливунів.

При виникненні землетрусів на морському дні (моретрясіння) утворюються гігантські хвилі, які, обрушуючись на берег, завдають великих руйнувань.

5.6. Глобальна тектоніка Землі (тектоніка плит)

Існує доволі багато науково-обґрунтованих припущень (тектонічні гіпотези) щодо причин руху і деформації земної кори, які створюють її структури. Однак питання про причини тектонічних деформацій досі не можна вважати остаточно вирішеними. Найбільшою популярністю користується гіпотеза "нової глобальної тектоніки", запропонована в 60-70-ті роки ХХ ст. Х. Хессом. "Нова глобальна тектоніка" передбачає існування підкіркових конвекційних течій і спирається на дані палеомагнетизму та результати буріння морського дна. Згідно "нової глобальної тектоніки", порівняно "тендітна" літосфера, яка підстиляється пластичною астеносферою, розділена на жорсткі плити, що відокремлені одна від одної тектонічними розривами. Плити включають материки і частини океанів і відчують відносно один одного розсув (спрединг) з утворенням рифтових зон, а потім океанів; переміщення (субдукція) із зануренням однієї плити під іншу (рис. 5.9) або утворюються трансформні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05-05.02/2/G16.00.1/Б/ОК10-2025 Арк 96 / 42
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

розломи. Це тривало діючі правосторонні або лівосторонні зсуви, які в процесі утворення або руйнування кори участі не беруть. Тут переважають зсувні та розривні дислокації.

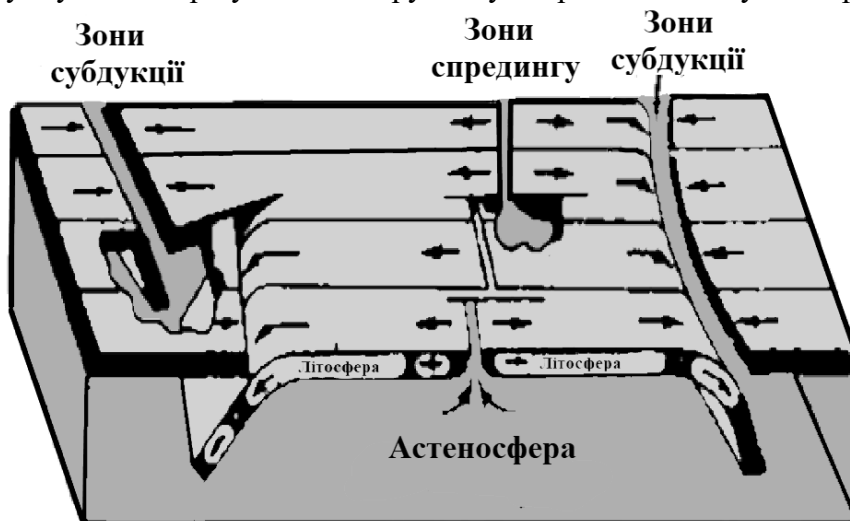


Рис. 5.9. Динаміка зародження (спредингу) і поглинання (субдукції) літосфери

На сьогоднішній день у верхній оболонці Землі виділяють 7 великих плит (рис. 5.10): Тихоокеанська, Євразійська, Індо-Австралійська, Антарктична, Африканська, Північноамериканська, Південноамериканська.

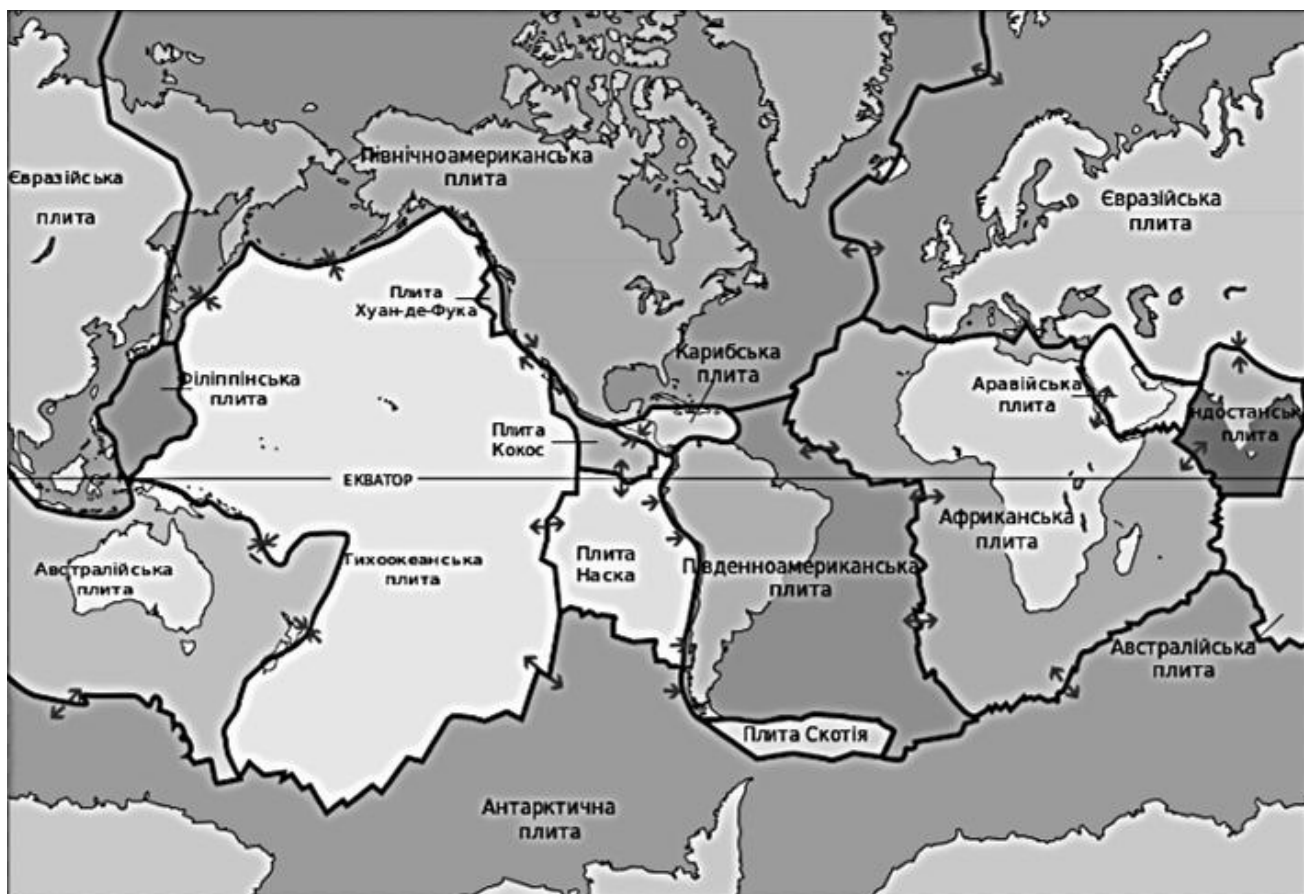


Рис. 5.10. Основні літосферні плити

У межах великих плит виділяють середні та дрібні плити або блоки. Усі плити переміщуються одна відносно одної, тому їхні межі чітко маркуються зонами підвищеної сейсмічності.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 43

Питання для самоперевірки

1. Яка магма більш рухома – кисла чи основна?
2. Які існують типи магматичних тіл та умови їх формування?
3. Як влаштований вулканічний апарат?
4. Розкажіть про типи вивержень і нині діючі вулкани.
5. Назвіть продукти вулканічних вивержень
6. Що таке метаморфізм і як він проходить?
7. Назвіть типи метаморфізму.
8. Розкрийте причини виникнення землетрусів та поясніть їхній зв'язок із тектонічними структурами.
9. Охарактеризуйте основні положення теорії літосферних плит та її значення для пояснення тектонічних рухів.
10. Які внутрішні джерела енергії Землі зумовлюють розвиток ендегенних процесів?

6. ЕКЗОГЕННІ ПРОЦЕСИ

6.1. Процеси та явища

Екзогенні процеси (процеси зовнішньої динаміки Землі) є результатом геологічної діяльності вітру, льоду, моря, текучих вод. Їхня головна рушійна сила – енергія сонця, процеси гравітації та магнетизму, взаємодія геосфер.

Таблиця 6.1

Групи геологічних процесів і види явищ

Процеси	Явища
Діяльність поверхневих вод (морів, озер, водосховищ, річок і тимчасових потоків)	Підмивання і руйнування берегів морів, озер і водосховищ. Підмивання і руйнування річкових берегів. Розмивання схилів – яружно-балкові явища
Паводки на гірських річках	Селі
Діяльність поверхневих і підземних вод	Заболочені території, карст, пливуні, суфозійні явища
Діяльність гравітаційних сил	Зсуви, обвали
Діяльність вітру	Розвівання та навівання
Промерзання і відтавання гірських порід	Термокарст, морозні здимання
Дія внутрішніх сил у гірських породах	Сейсмічні явища, дислокації
Інженерна діяльність людини	Руйнування і знищення корисних площ під час розробки родовищ твердих корисних копалин. Осідання поверхні землі при значних відкачуваннях підземних вод, нафти і газу. Затоплення і підтоплення територій. Вторинне засолення гірських порід при зрошенні територій.

6.2 Процеси вивітрювання

Під *вивітрюванням* розуміють руйнування гірських порід під впливом коливання температури, кисню, вуглекислоти, які містяться в повітрі та у воді, а також різних органічних речовин, що утворюються за життя рослин або під час їхнього відмирання та розкладання.

Найактивніше вивітрювання протікає поблизу поверхні Землі, де гірські породи перебувають під безпосереднім впливом інсоляції атмосфери, гідросфери та біосфери.

Розрізняють наступні типи вивітрювання: фізичне, хімічне, органогенне.

Фізичне вивітрювання спричиняє руйнування і подрібнення гірських порід на окремі кучасті уламки різної величини. У вертикальному розрізі виокремлюють кілька підзон вивітреного матеріалу (рис. 6.1), які відрізняються між собою різним ступенем дроблення гірських порід. Безпосередньо над невивітреною гірською породою розташовується грубоуламкова, або брилова підзона, яка зверху змінюється дрібноуламковою, або щебеневою підзоною, а вище розташовується зона дрібнішого і тоншого подрібнення.

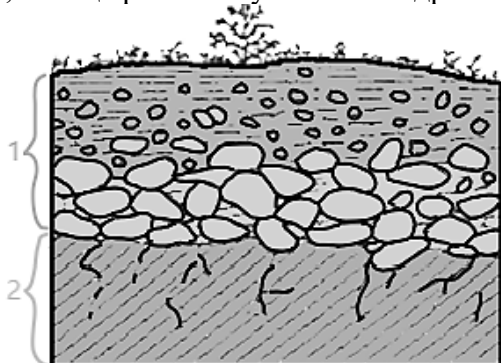


Рис. 6.1. Схема вивітрювання ґрунтових гірських порід

1 – кора вивітрювання;

2 – корінна порода (порода, не зачеплена вивітрюванням)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 45

Фізичний тип вивітрювання характерний для високогірних областей і районів із різко континентальним кліматом.

Хімічне та органічне вивітрювання. У цих випадках елементи породоутворювальних мінералів вступають у реакції з елементами довкілля й унаслідок реакції окиснення, гідратації, розчинення та гідролізу утворюються вторинні мінеральні утворення, більш стійкі в новому середовищі.

У природі всі види вивітрювання майже завжди проходять одночасно з переважанням того чи іншого типу, залежно від геологічних, географічних і кліматичних умов.

Зруйнований матеріал частково виноситься водними і повітряними потоками, а породу, що залишилася на місці руйнування, називають *елювієм*. Нижня межа елювію зазвичай не повторює денну поверхню. Утворюються виступи вивітрілої породи вглиб свіжої породи у вигляді воронок, язиків і клинів. Спостерігаються на ділянках зміни порід різної стійкості або тріщинуватості. Виступи звітріння, які спрямовані донизу, називають кишнями. У результаті вивітрювання порід з часом на поверхні масиву накопичуються потужні товщі елювіальних порід, які утворюють *кору вивітрювання*.

Процеси вивітрювання активно розвиваються у відкритих будівельних котлованах, траншеях, при тривалому будівництві. Вивітрюванню піддаються і будівельні конструкції, тому їх необхідно покривати захисними плівками та розчинами.

6.3 Геологічна діяльність вітру

Одним із чинників утворення рельєфу суходолу є вітер. Особливо інтенсивно його діяльність проявляється в пустелях і напівпустелях, що займають близько 20 % поверхні континентів. Цьому сприяють різкі добові коливання температури, що викликають активні процеси фізичного вивітрювання, випаровування, які багато в чому перевищують кількість атмосферних опадів, що випадають, за відсутності або розрідженості рослинного покриву. Крім того, активна робота вітру проявляється в непокритих узбережжях морів і деяких великих річок.

Усі процеси, які зумовлені діяльністю вітру, називаються *еоловими*. Еоловими називаються і континентальні відклади, які утворюються під час вітрової акумуляції, та відповідні форми рельєфу: бархани, дюни, горби, тощо.

Вітер – це рух повітря в атмосфері, майже паралельний земній поверхні. Виникає вітер внаслідок нерівномірного горизонтального розподілу тиску, який, своєю чергою, зумовлений нерівністю температур в атмосфері. Характеризується вітер швидкістю та напрямком.

Діяльність вітру складається з процесів *дефляції* (видування та розвівання), *корозії* (обточування), перенесення та акумуляції (накопичення). Це складний єдиний процес. Можна говорити лише про те, що в одних місцях переважають одні види діяльності вітру, в інших місцях – інші.

Дефляція – виникає внаслідок впливу механічної сили вітру. Від породи видуваються, тобто відриваються і несуться частинки. Найяскравіше цей процес проявляється в районах, які складені пухкими та м'якими породами. Вітер видуває котловани, борозни й траншеї в солончаках, пиловатих суглинках, пісках, в ораному шарі. Видування або дефляція значно посилюється після порушення дернового покриву, вирубки чагарників і дерев. Механічна сила вітру створює вітрове навантаження на будівлі та споруди, що необхідно враховувати під час проєктування та будівництва.

Корозія – переносючи пісок і постійно б'ючи піщинками по скельних виступах, вітер обточує, стирає їх, висвердлює різні отвори. Найбільша кількість піску, гнаного вітром, спостерігається в нижніх, приземних шарах повітряного потоку саме тут і відбувається максимальна корозія. Сильні й часті удари піску підточують скелі в основі. У результаті корозії та дефляції виникають скелі – останці, нерідко зустрічаються грибоподібні форми. У неоднорідних породах, що складаються з мінералів різної стійкості під ударами піщинок, які

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05-05.02/2/G16.00.1/Б/ОК10-2025 Арк 96 / 46
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

отримують обертальний рух, висвердлюються невеликі отвори – комірочки. Так виникають комірчасті скельні поверхні.

Розміри уламків, що переносяться вітром, залежать від швидкості вітру. Так при швидкості 10 м/с діаметр частинок, що переносяться, до 1 мм, а за швидкості 20 м/с уже 4-5 мм, і водночас іде перекидання частинок діаметром до 2-3 см. Відстань, на яку переноситься піщаний матеріал, залежить не лише від швидкості вітру, а й від сили висхідних потоків повітря.

Одночасно з дефляцією і перенесенням частинок вітром відбувається й акумуляція, у результаті якої утворюються особливі типи континентальних еолових відкладів.

Піщані еолові відклади зазвичай поширені в безпосередній близькості від областей дефляції, на більш далекі відстані переносяться вітром пилюваті частинки, які при накопиченні утворюють еолові ліси.

Еолові піски добре обкатані, відсортовані (до 80-90 % діаметр піщинок 0,25-0,05 мм), у складі переважають кварц та інші стійкі мінерали. У пустелях і напівпустелях еолові відклади представлені головним чином *барханами* (рис. 6.2.а) – це рухлива піщана форма рельєфу, поперечна до напрямку вітру. Утворюється біля невеликих перешкод, потім зростає за рахунок принесеного піщаного матеріалу. Бархан являє собою асиметричний пагорб заввишки від 1-10 м, до 150 м (у поперечнику до 250 м) з повним підвітряним схилом і підвітряним схилом, який обсипається, що утворює гострий гребінь на стику. Крутизна схилу від 28° до 38°.

Дюни – це піщані пагорби, що виникають унаслідок діяльності вітру на піщаних берегах морів, річок, озер. Дюни рухаються за панівним напрямком вітру в бік суходолу (рис. 6.2.б). Формуються з піщаного матеріалу, який доставляється діяльністю води на узбережжя морів, озер, річок. На берегах морів і озер склад дюн більш одноманітний, тоді як на річкових берегах він залежить від порід, що складають водозбірні площі.

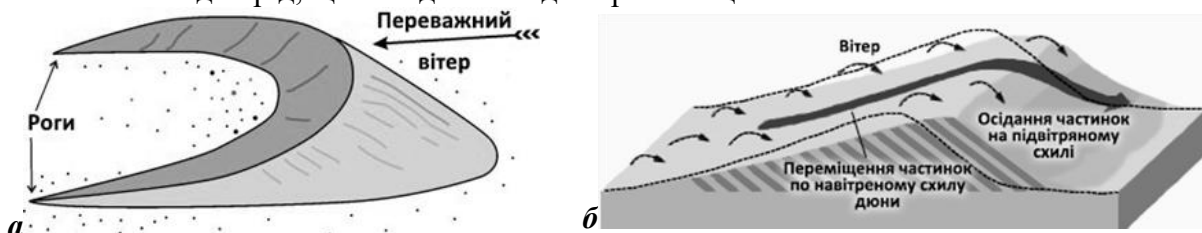


Рис. 6.2. Бархан (а) і дюна (б)

Дюни утворюються на різних широтах незалежно від кліматичних умов. Висота дюн від 15 до 30 м., іноді до 75-100 м.

Дюни, наступаючи на узбережжя, заносять великі площі, канали, дороги, оазиси, вони завдають великої шкоди, і боротися з рухомими пісками важко і малоефективно. Рухомі піски дюн і барханів, просадочні властивості еолових лісів ускладнюють будівництво та експлуатацію споруд у районах їхнього розвитку, потрібні спеціальні заходи щодо закріплення ґрунтів і значні фінансові витрати.

6.4 Геологічна діяльність текучих вод

Під час руху води по поверхні землі відбувається змив – зсув цівками дощу або талими водами дрібних частинок ґрунту. Якщо змив відбувається без фіксування руху води – це *площинна ерозія*, яка веде до виполажування місцевості. Продукти змиву – *делювіальні відклади*, які накопичуються в пониженні схилів та представлені суглинками, рідше глинами або пісками, і містять грубі уламки. Потужність делювію збільшується до основи схилу. Стійкість схилу з делювієм до зсуву залежить від крутизни похованого рельєфу і наявності водоносного горизонту.

Під час будівництва делювіальні відклади, як правило, прорізають фундаментами, а основою споруд служать корінні породи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G.16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 47

Лінійна або глибинна ерозія – це вертикальний розмив. Виникає в породах, які легко розмиваються. Винос делювію йде до базису ерозії, тобто до поверхні, на рівні якої потік втрачає живу силу. Розмив іде регресивно – від гирла до верхів'я. Спочатку це невеликі вимоїни, які з часом переходять у вибоїни з крутими стінками – *яри* (рис. 6.3).

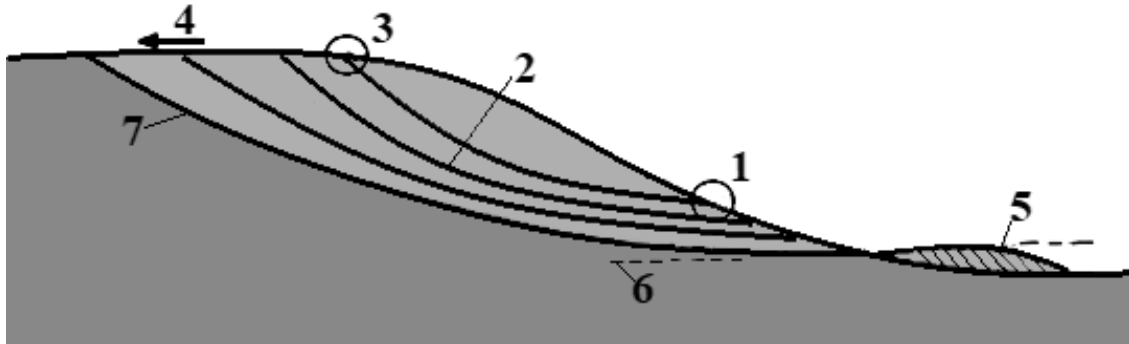


Рис. 6.3. Поздовжній профіль яру

1 – гирло; 2 – ложе; 3 – вершина; 4 – напрямок розвитку яру;
5 – конус виносу; 6 – базис ерозії; 7 – максимальна глибина яру

Яри завдають великої шкоди, оскільки вони повністю руйнують ґрунтовий шар, розчленовують великі масиви на дрібні ділянки, ускладнюють їхню конфігурацію, перехоплюють дороги, а виноси з ярів (яружний делювій) – заносить корисні площі, замулюють ставки і річки. Під час розв'язання питань будівництва в районах розвитку ярів необхідно розробляти протиерозійні заходи, враховувати всю водозбірну площу. За природного розвитку ярів його круті схили поступово вигладжуються, заростають і яр перетворюється на балку (рис. 6.4).

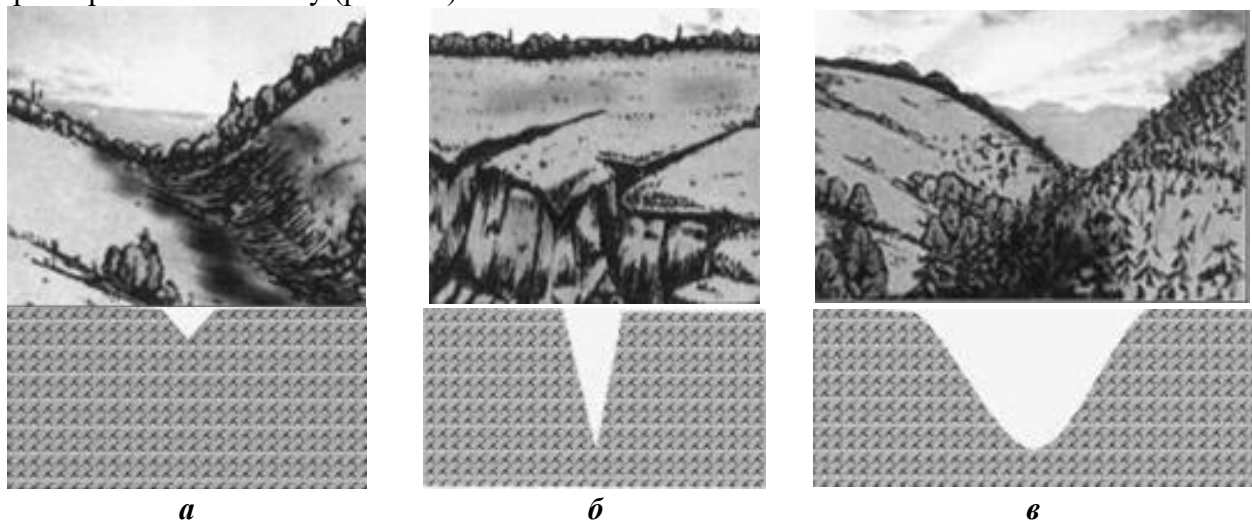


Рис. 3.4. Стадії розвитку яру

а – вимоїна; б – яр; в – балка

Інженерно-геологічні яри зароджуються і розвиваються внаслідок інженерно-господарської діяльності людини, коли яри використовуються для скидання промислових вод або стоків поверхневих вод за неправильного планування території. Такі яри завжди зберігають круті борти, підвищені швидкості розвитку та розгалуження. Заходи боротьби з утворенням ярів на забудованих територіях мають бути своєчасними та ефективними.

6.5 Геологічна діяльність річок

Річка – це водний потік, що протікає в долині і характеризується досить великим розміром (від кількох кім до тисяч км). За характером стоку розрізняють річки постійні та періодичні; за характером живлення вони можуть бути дощового, снігового, льодовикового, підземного та змішаного живлення; за умовами формування – річки рівнинні, гірські, болотні,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 48

карстові. Розрізняють *витік* річки – місце, звідки річка витікає, і *гирло* – місце, де вона закінчується. Воно може бути при впадінні в кінцеву водойму або іншу річку. У посушливій зоні річки іноді закінчуються сліпим гирлом. Виділяють головні річки, що приймають інші притоки, які відносно головної річки вважаються притоками першого порядку, які впадають у притоки першого порядку, іменуються притоками другого порядку тощо. Сукупність усіх приток головної річки становить *річкову систему*.

Кожна річка характеризується довжиною, шириною, глибиною, витратою води, твердим стоком (наносами) і хімізмом води. Лінія падіння річища від витoku до гирла називається поздовжнім профілем. Геологічна діяльність річки залежить від енергії потоку і проявляється у вигляді руйнування порід (ерозія), перенесення продуктів руйнування (транспортування) і відкладення осадків (аккумуляція). Річкові відклади називають *алювієм*. Продукти руйнування переносяться річками в розчиненому вигляді, у зваженому стані, а також волочінням по дну.

Енергія (жива сила) потоку залежить від кількості води у річці та швидкості потоку, яка, своєю чергою, залежить від ухилу дна річки.

У результаті ерозії та аккумуляції річка поступово виробляє долину з плавним поздовжнім профілем по довжині свого річища і поступовим виполажуванням ухилів вниз за течією. Цей профіль називають *профілем рівноваги*. Положення профілю рівноваги визначається *базисом ерозії* – це рівень басейну, в який впадає річка і який визначає глибину донної ерозії по всій її довжині. Розробка поздовжнього профілю йде від базису ерозії в напрямку до витоків річки за законом регресивної ерозії. Після розроблення профілю рівноваги положення річища в нижній течії наближається до горизонтального, глибинна ерозія майже повністю припиняється, закінчується період активного розвитку річки, настає її старіння, коли в широко розробленій долині русло річки часто змінює своє положення, залишаючи замулені ділянки старого річища (*стариці*).

Залежно від геологічного розвитку району та ходу тектонічних рухів земної кори змінюється подальший хід розвитку річки. При вертикальних підняттях знову посилюється донна ерозія, річище поглиблюється і залишає раніше принесений матеріал у вигляді поздовжніх терас. Річка формує нову заплаву і повторює всі стадії свого розвитку. Опускання місцевості несе за собою зміну ерозії аккумуляцією, раніше утворені тераси перекриваються більш молодим алювієм. Річка поступово втрачає живу силу.

Перша тераса, що височіє над рівнем води, називається *заплатною*. Зазвичай вона затоплюється водою в паводок. Вище по борту долини розташовуються *надзаплатні* тераси. Чим ближче тераси до русла річки, тим вони молодші за часом накопичення алювію. Розрізняють тераси аккумулятивні (вкладені та притулені), ерозійні та змішані (рис. 6.5).

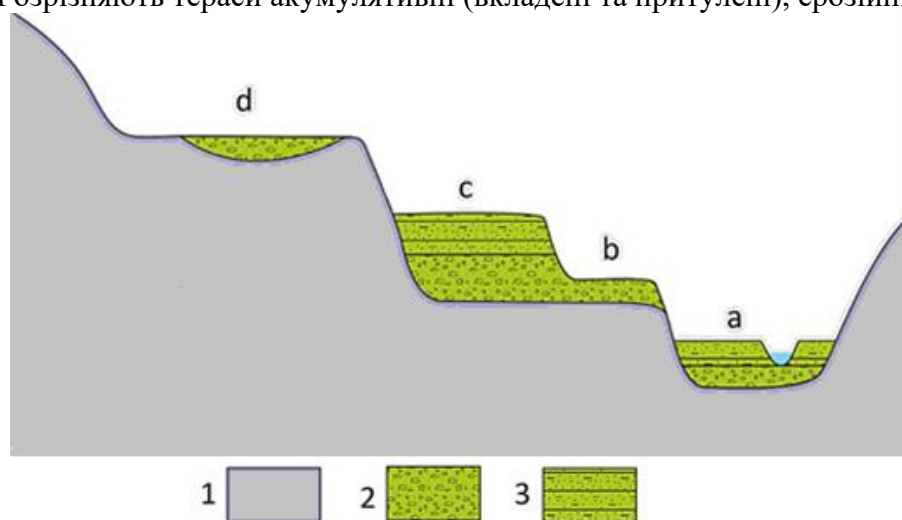


Рис. 6.5. Приклади генетичних видів річкових терас
a – заплава;
b – цокольна (перша надзаплатна) тераса;
c – аккумулятивна (друга надзаплатна) тераса;
d – ерозійна (третья надзаплатна) тераса;
1 – корінні породи;
2 – русловий алювій;
3 – заплатний алювій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 49

Якщо кількість терас правого і лівого борту однакова – долина симетрична, якщо ні – асиметрична. Поширення і співвідношення терас різних типів та їхня кількість визначається історією геологічного розвитку району.

За характером осадків і місцем їх накопичення річкові відклади поділяються на наступні види:

- дельтові – представлені піщано-глинистими осадками;
- руслові – це піски, галечники, у верхів'ї – більші уламки й валуни, що складають острови, перекати, мілини;
- заплавні – відклади представлені супісками, суглинками, пилюватими пісками різного складу, нерідко з органічним включенням;
- старичні – відклади містять мулисті піски з великим вмістом органічної речовини.

Під час будівництва слід проводити вишукування в межах кожного елемента долини. Розвідувальні виробки за глибиною повинні розкривати всю потужність алювіальних відкладів терас, заплави, річища. При цьому узагальнені показники інженерно-геологічних (будівельних) властивостей ґрунтів як основ споруд та узагальнення досвіду будівництва слід проводити тільки в межах кожного елемента, бо вони мають кожен свій гранулометричний склад, структуру, щільність, вологість, обводненість та інші показники, формування яких відбувалося в різних геологічних умовах.

6.6 Геологічна діяльність моря

Велика геологічна роль Світового океану, що займає нині 36 млн км², або понад 70 % поверхні земної кулі. В океанах і морях зосереджено близько 1,4 млрд. км³ води. Уся ця маса перебуває в безперервному русі та взаємодії з гірськими породами дна і берегових зон і виробляють величезну руйнівну і творчу (аккумулятивну) роботу. Різноманітний уламковий і розчинений матеріал, який принесений із суші річками і отриманий в результаті руйнівної роботи моря зрештою осідає на дні водойм, утворюючи морські осадки.

Світовий океан не раз змінював свої кордони. Уся поверхня сучасного суходолу в геологічному минулому неодноразово заливалася його водами, на дні формувалися потужні товщі осадків, які згодом перетворилися на осадові породи, що часто містять корисні копалини, нафту, горючі речовини.

Руйнівна робота моря (рис. 6.6) активно проявляється в береговій зоні, до якої належить безпосередньо берег і прибережна смуга морського дна. Під час великих штормів хвилі вдаряють об берег із силою, що досягає 30-38 т/м² в океанах і до 15 т/м² у внутрішніх морях.

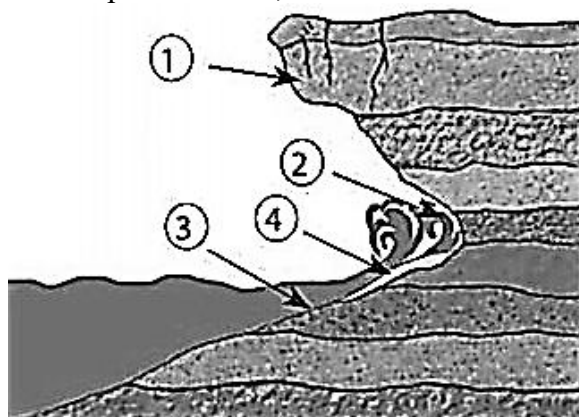


Рис. 6.6. Механізм абразійного процесу

- 1 – кліф (берегове урвище);
2 – хвильприбійна ніша;
3 – бенч (підводна абразійна тераса);
4 – пляж (аккумулятивна тераса)

Руйнівна робота моря називається *абразією*. Особливо інтенсивно руйнуються береги, які складені осадовими породами, в меншій – магматичними породами. Швидкість розмиву морського берега на різних ділянках різна, наприклад, на Балтійському морі – 0,5 мм/рік, на Ла-Манші – 2 мм/рік, в провінції Медок (Франція) – до 35 мм/рік. У результаті утворюються підводні морські тераси, які слабо нахилені до моря. Вузька смуга між підводною терасою і береговим уступом називається пляжем. Швидкість абразії залежить від сили удару хвилі,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 50

міцності порід берега й умов їхнього залягання. При падінні шарів до моря абразія йде повільніше, при падінні в бік берега, за інших рівних умов руйнування берега відбувається швидше.

Весь матеріал (принесений, розчинений, обвалений) море переносить, сортує і знову відкладає (акумулює) в певних фаціальних умовах: мілководній (літоральна зона) і глибоководній зонах.

У літоральній зоні, межі якої визначаються максимальним припливом і мінімальним відливом, накопичується самий крупний матеріал. Материковий схил позначається навколо материків і островів поясом завширшки 60-70 км з глибиною від 20 м до 200-300 м. Тут ближче до берега накопичуються піски, далі глини, мули, хімічні та органічні осадки. Під час наступу моря на суходіл (трансгресії) і відступі (регресія моря) фаціальні зони зміщуються і в результаті накопичуються потужні шаруваті товщі морських відкладів.

Під час інженерно-геологічної оцінки морських відкладів як основи будівлі та споруди звертають увагу на засоленість порід. Для трас трубопроводів, автомобільних і залізничних доріг проблемою є захист берегів від абразії. У цих випадках для погашення ударної сили хвилі влаштовують хвилеломи, а для захисту берега зберігають або додатково збільшують ширину пляжів.

6.7 Геологічна діяльність озер і боліт

Водойми на поверхні материків, які не мають сполучення з морями та океанами, називають *озерами*. Вони мають поглиблену центральну область, де не розвивається прибережна рослинність. Озера розташовуються на різних абсолютних висотах (Мертве озеро -392 м, озеро Тибету +5000 м). Розміри – від десятих часток до десятків сотень кілометрів (озеро Байкал - 31 тис. км², Каспійське озеро – 395 тис. км²). Загальна площа озер на Землі приблизно 2,7 млн. км² (1,8 % суходолу). Глибина озер – від десятків сантиметрів (озеро Ельтон – 80 см) до кількох сотень метрів (озеро Байкал – 1741 м). За режимом їх ділять на проточні, що живляться річками і віддають води в інші озера або річки (Ладозьке, Онезьке) і безстічні, які живляться річковим стоком, але витрата тільки на випаровування (Каспій, Арал, Іссик-Куль). Режим визначає і мінералізацію води: прісні, солонуваті та солоні.

Западини, зайняті озерами, мають різноманітне походження: тектонічне – озера в западинах тектонічного походження; ерозійне – озера в котлованах розмиву; карстове – озера в заповнених водою карстових воронках; гребельне і запрудне – озера утворюються внаслідок обвалів, сходження селів, загатовування річок, відсіпання дамб.

Геологічна робота озер проявляється в абразії (руйнуванні) берегів унаслідок діяльності хвиль, що наганяються вітром, переробці уламкового матеріалу і накопичення його у вигляді озерного алювію. Уздовж узбережжя формуються пляжі, навіваються дюни, утворюються вали матеріалу при впадінні в озера річок. Дюнна частина озер заповнюється глинистими осадами, на дні сольових озер відкладаються солі. Дрібні озера поступово заростають і можуть переходити в болото.

Приливні явища в озерах малі. Абразія берегів відбувається більш інтенсивно під впливом тектонічних процесів – підйомів або опускань. Коли рівень води в озері різко змінюється, на штучно створених озерах (водосховищах) процеси абразії найактивніше проявляються в перші роки наповнення і частково перевищують запланований відступ берегової лінії в десятки разів. Заходи боротьби з абразією на берегах озер включають їх закріплення, збільшення природних пляжів або їх штучне відсіпання, накидання великих з/б елементів для зменшення сили ударної хвилі тощо.

Болота – це надмірно зволожена ділянка суходолу з шаром торфу, вкрита своєрідною рослинністю, різною в окремих кліматичних зонах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 51

Торфом називають органічний ґрунт, що утворився внаслідок природного відмирання та неповного розкладання рослин в умовах підвищеної вологості та за нестачі кисню й утриманні 50 % (за масою) і більше органічної речовини.

Ґрунт заторфований – пісок і глинистий ґрунт, що містить у своєму складі в сухому наважуванні від 10 до 50 % (за масою) торфу.

Болотом називають ділянку за потужності торфу понад 0,5 метрів, за меншої потужності торфу ділянку називають заболоченими землями. Розрізняють болота верхові та низинні (рис. 6.7). *Верхові* болота розташовуються на рівних вододільних просторах або на високих терасах, живляться переважно за рахунок атмосферних опадів, торф бідний на мінеральні речовини. *Низинні* болота розташовуються в долинах річок, на узбережжях озер і морів, утворюються внаслідок заростання озер і стариць, вкриті трав'янистою рослинністю, мають мінеральне живлення, торф тут добре розкладається.

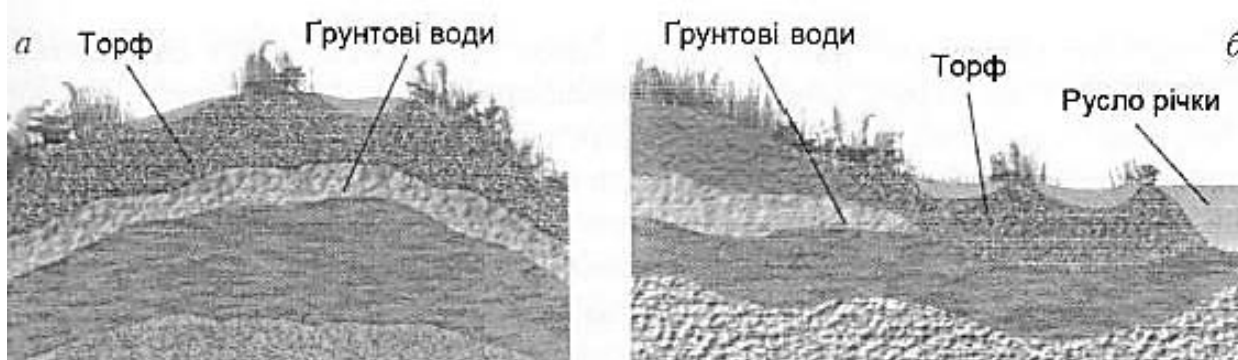


Рис. 6.7. Типи боліт

а – верхове; б – низинне

Болотні утворення відносять до слабких, сильно і нерівномірно стисливих ґрунтів. Будівництво ведуть у складних інженерно-геологічних умовах. Масове цивільне і промислове будівництво на заболочених територіях зазвичай проводять після їх осушення, а іноді – після планування відсіпанням або наливом глинистих, піщаних, гравійно-галечникових або щебневих порід. Труби по болоту прокладають у траншеях за часткового або повного виторфовування.

Інженерно-геологічна оцінка території залежить від типу болота або заболоченої території. Завжди потрібні спеціальні методи досліджень визначення потужності торфу ступеня його розкладання, ступеня зольності та агресивності води. Без урахування особливостей будівництва можливі аварійні ситуації.

6.8. Геологічна діяльність льодовиків

Льодовики – це рухомі природні скупчення льоду атмосферного походження на денній поверхні, які рухаються і утворюються з твердих атмосферних опадів вище снігової межі. Сніговою межею (лінією) називається висота, на якій річний прихід твердих атмосферних опадів дорівнює їхній річній витраті, або за рік снігу випадає стільки, скільки його тоне. Нижче цієї межі накопичення снігу неможливе. Вище лінії снігу лід не тоне, а тільки накопичується. Висота снігової лінії та інтенсивність заledenіння залежить від географічної широти, місцевого клімату, географії місцевості та саморозвитку льодовика. На південному сході Гренландії висота лінії снігу опускається до рівня моря, на Землі Франца Йосипа – вона на висоті від 50 до 300 м, біля Полярного кола вже 1000 м, в Альпах 2700-2800 м, на Гімалаях 5500-6000 м, у горах екваторіальної Африки 5000-6000 м,

Товщина льоду може бути від 10-20 м до кількох кілометрів. Так Атлантичний крижаний покрив має потужність 4,3 км.

Запас води в льодовиках оцінюється в 27 млн км³ і дорівнює обсягу стоку всіх річок Землі за 700 років.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 52

Льодовики поділяються на три типи:

1. Гірські льодовики утворюються високо в горах і розташовуються або на вершинах, або в ущелинах, западинах, різних заглибленнях. Лід утворюється за рахунок перекристалізації снігу, він має здатність до пластичної течії, утворюючи потоки у вигляді язиків. Гірські льодовики бувають висячі та карстові.

2. Низовинні (материкові) льодовикові покриви. У них лід розтікається від льодорозділів до периферії. Такі льодовики характерні для Гренландії, Антарктиди.

3. Шельфові льодовики – у них лід рухається від берега до моря. При відриву від основного масиву в море спливають айсберги, які, потрапляючи в теплі води, поступово тануть.

Акумуляція снігу в горах супроводжується протилежними процесами – розвантаженням снігових областей. Воно відбувається двома шляхами:

- а) падінням снігових лавин;
- б) перетворенням снігу на лід.

Лавини – обвали снігу, що зісковзує з гірських схилів і захоплюють на своєму шляху нові снігові маси. Утворюються на схилах, крутизна яких понад 15°. Потужність удару лавини досягає 100 т/м².

Якщо під снігом похований весь рельєф, сніг накопичується і переходить у фірн, а потім у льодовиковий лід. Фірн – це маса, що складається з великих зерен, які спресовуються в кристалічну масу глетчерного льоду.

Під тиском маса набуває пластичних властивостей. Нижні шари льоду ніби виповзають з-під вище розміщеного фірну і починають свій рух від областей живлення до областей стоку по пониженнях у рельєфі.

При цьому льодовик виконує велику роботу з руйнування, перенесення і накопичення уламкового матеріалу. За великої потужності льоду створюються величезні тиски на підльодовикове ложе і борти долини і льодовик руйнує породи, виробляючи льодовикову долину. Руйнівна робота значно посилюється завдяки уламкам гірських порід, які захоплює льодовик під час свого руху в його придонні частини. Льодовики, насичені уламковим матеріалом, стирають, полірують, борознять поверхню підстилаючих і вміщуючих твердих скельних порід. На поверхнях залишаються подряпини, штрихи, борозни (льодовикові шрами). У результаті згладжування скель виникають своєрідні форми (баранячі лоби). Поєднанням різних форм впливу льодовиків утворюються "кучеряві скелі".

Під час свого руху льодовики переносять величезну кількість різноманітного уламкового матеріалу – від тонких частинок до великих валунів. Весь уламковий матеріал, який потрапляє в тіло льодовика, переноситься і відкладається ним, називають *мореною* (рис. 6.8).

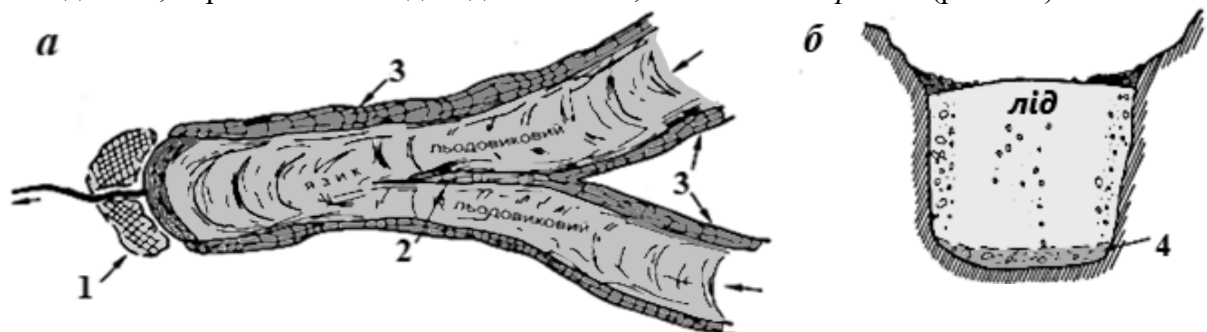


Рис. 6.8. Морени гірського льодовика

а – язик льодовика в поперечному розрізі; *б* – язик льодовика в плані;

1 – кінцева; *2* – серединна; *3* – бокова; *4* – донна

Морени бувають різні, одні з них перебувають у русі і переміщуються разом із тілом льодовика, інші – вже відкладені.

Крім рухомих виділяють морени:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 53

- бічні – у вигляді витягнутих валів або гряд уздовж льодовикового язика;
- кінцеві – гряди мореного матеріалу біля кромки льодовика, що тане. Вони мають дугоподібну форму в плані та висоту від кількох метрів до 30-40 м;

У теплу пору йде більш інтенсивне танення льоду і водні потоки приносять у прильодовикові озера матеріал, що складається з піску, пилуватих і глинистих частинок. У холодну пору потоки слабшають і приносять тільки тонкі глинисті частинки. У результаті утворюються озерно-льодовикові (лімногляціальні) стрічкові глини з дуже тонким перешаровуванням пісків і глини.

Під час танення льодовика утворюються постійні потоки вод, які розмивають донну та кінцеву морени. Вода підхоплює матеріал морен, які розмиваються, виносить за межі льодовика і відкладає в певній послідовності. Такі водно-льодовикові відклади називають флювіогляціальними (рис. 6.9).

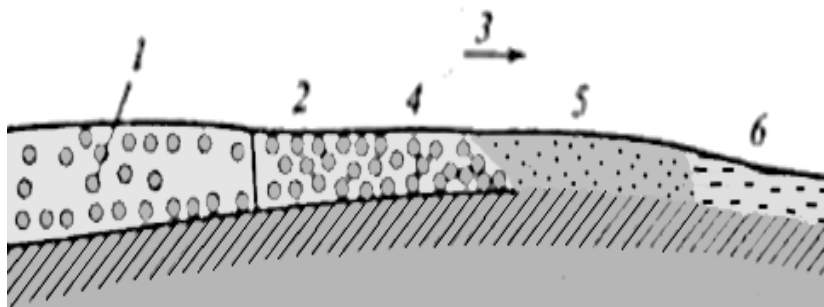


Рис. 5.9. Схема утворення флювіогляціальних відкладів:

1 – льодовик; 2 – кінцева морена; 3 – потік талих льодовикових вод; 4, 5, 6 флювіогляціальні відклади (великі уламки, піски, глини)

Кожен вид цих відкладів має свої особливості у складі й умовах залягання. Всі моренні відклади через умови утворення відрізняються неоднорідністю як за потужністю, так і за простяганням, а також за інженерно-геологічними характеристиками. Глини донних морен переущільнені і мають властивості спучування, піщано-гравійні відклади озів і зандрів успішно використовують як ґрунти основи, якщо при цьому враховують їхні особливості. Стрічкові глини при зволоженні відносять до слабких ґрунтів. Бічні та кінцеві морени містять валуни, уламки скельних порід і піщано-глинистий заповнювач. Все це ускладнює інженерно-геологічну оцінку моренних відкладів під час їх використання як основ різних споруд або будівельних матеріалів.

Питання для самоперевірки

1. Які основні джерела енергії зумовлюють розвиток екзогенних процесів на поверхні Землі?
2. Дайте визначення вивітрювання та охарактеризуйте його основні типи.
3. Поясніть механізми ерозії та акумуляції.
4. Охарактеризуйте діяльність річок як геологічного чинника.
5. Які форми рельєфу формуються внаслідок річкової ерозії та акумуляції?
6. Розкрийте особливості льодовикових процесів та їхній вплив на формування рельєфу.
7. Поясніть сутність еолових процесів та назвіть основні форми рельєфу, пов'язані з діяльністю вітру.
8. Які особливості мають морські екзогенні процеси?
9. Розкрийте поняття абразії та морської акумуляції.
10. Проаналізуйте вплив господарської діяльності людини на інтенсивність і характер екзогенних процесів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 54

7. ГІРСЬКІ ПОРОДИ

Гірськими породами називаються мінеральні агрегати різного складу й будови, які сформувались у результаті геологічних процесів і які утворюють самостійні геологічні тіла (пласти, шари, жили та ін.). Гірські породи вивчає наука петрографія, а саме мінеральний склад гірських порід, їх будову, походження, умови залягання, розповсюдження та утворення корисних копалин.

За походженням (генезисом) гірські породи розподіляються на три великі групи: магматичні, осадові, метаморфічні.

У земній корі до глибини 16 км співвідношення цих гірських порід приблизно таке: 60% складають магматичні, 32 % - метаморфічні і 8% - осадові. У той же час майже 76% поверхні Землі і дна водоймищ вкрито шаруватими гірськими породами осадового походження. При цьому найбільше розповсюдження мають глини та глинисті породи, на долю яких припадає 76% відкладів, на долю пісків, піщаників, вапняків та інших - 25%.

Породоутворюючі мінерали беруть неоднакову участь у будові гірських порід. Найбільш велика роль польових шпатів - вони складають до 60% об'єму магматичних порід, біля 30% метаморфічних і до 12% осадових. Кварц бере участь також у будові як магматичних та метаморфічних, так і осадових порід, складаючи близько 12% об'єму земної кори. Карбонати складають тільки 1,7% об'єму, а сульфати - 0,1%.

Якщо кількість мінералів у гірській породі дорівнює або перевищує 10% (за об'ємом), то вони називаються головними породоутворюючими, а якщо менше 10% - другорядними.

Розрізняють первинні мінерали і вторинні. Первинні утворились водночас з гірською породою, а вторинні - в процесі формування та подальшої історії гірської породи. Первинними мінерали можуть бути для одних гірських порід і ті ж самі мінерали - вторинними для інших. Наприклад, такий мінерал, як каолініт, виявляється первинним у глині і вторинним у граніті.

За мінеральним складом розрізняють мономінеральні гірські породи (гіпс, доломіт, вапняк та ін.), які складаються з одного мінералу, та полімінеральні (граніт, діорит та ін.), що складаються з багатьох мінералів. Більшість гірських порід - полімінеральні.

Гірські породи вивчають з різних точок зору: в першу чергу як середовище корисних копалин - руд, вугілля, нафти, газу, солей та підземних вод; в інженерній геології - як основи фундаментів, середовище і матеріал для будівництва різних споруд, в агрономії - як родючі ґрунтоутворюючі породи.

7.1. Магматичні гірські породи

Магматичні гірські породи утворились внаслідок затвердіння речовини верхньої мантії Землі, природного силікатного розплаву – магми (з грецької - тісто, місиво), яка піднімаючись уверх при геотектонічних процесах, охолоджується і затвердіває.

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*.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 55

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 SiO_2 , 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. 7.1). В окрему групу виділяються лужні породи, які характеризуються значним вмістом лугів (до 20 %) і кількістю кремнезему (біля 40–55 %).

Таблиця 7.1

Класифікація магматичних порід

Група порід за ступенем кислотності (вміст SiO_2 , %)	Показник кислотності	Темнобарвні складові	Кількість темно-барвних складових	Інtruзивні (глибинні)	Ефузивні (вилиті)	Загальне забарвлення породи
Ультраосновні, менше 40	олівін (багато)	піроксени	100 %	дуніт перидотит піроксеніт	підкрит кімберліт	чорні або темно-зелені
Основні, 40-55	олівін (дуже мало)	піроксени, рогова обманка	50 %	габро	базальт долерит діабаз	темні
Середні, 55-65 з плагіоклазами з КПШ	кварц (до 5 %)	біотит, рогова обманка, піроксени	15-25 %	діорит сієніт	андезит трахіт	сірі
Кислі, 65-75	кварц (до 30 %)	біотит, рогова обманка	5-15 %	граніт	ріоліт обсидіан пемза	світлі
Лужні, 40-55 і лугів до 20 %	нефелін	лужні піроксени і амфіболи, рідше біотит	до 30 %	нефеліновий сієніт	фоноліт	сірі, темно-сірі

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 інtruзивній 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.

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 інtruзивних 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 56

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 структури.

7.2. Метаморфічні породи

Метаморфічні гірські породи утворились із магматичних та осадових внаслідок перекристалізації на глибині під впливом високої температури і великого тиску, а також різних фізико-хімічних процесів.

Метаморфічні породи поділяють на сланцюваті і несланцюваті (табл. 7.2), тобто основа класифікації базується на генетичному принципі – типі метаморфізму. *Сланцюваті* породи мають шарувату, смугасту, сланцювату, плейчату, очкову текстуру, *несланцюваті* – масивну та іноді плямисту текстуру. Структура в метаморфічних породах повнокристалічна.

В склад метаморфічних порід входить багато мінералів, які характерні для магматичних і осадових порід (кварц, слюди, рогова обманка, мікроклін, альбіт). Одночасно з цим в них велику роль відіграють мінерали, які притаманні лише цим породам. Типовими мінералами метаморфічних порід є силікати алюмінію – андалузит, дістен і силіманіт. Всі ці мінерали мають однаковий хімічний склад Al_2SiO_5 , але різний набір іонів в кристалічній ґратці. Наявність одного з них в породах вказує на термодинамічні умови метаморфізму. Характерними для метаморфічних порід є також багаті на залізо водні силікати – хлоритоїд і ставроліт, мінерали з групи гранатів, слюдо-подібні мінерали – тальк, хлорити, а також такі мінерали, як хризотил-азбест, воластоніт, везувіан та інші.

Таблиця 7.2

Класифікація метаморфічних порід

Метаморфічна порода	Материнська порода
Сланцюваті	
Глинистий сланець	Глиниста порода, туф
Філіт	Глиниста порода, туф
Кристалічні сланці (багато різновидів)	Глиниста порода, глинистий пісковик, туф, ріоліт, андезит, базальт
Гнейс	Граніт, гранодіорит, діорит, габро, конгломерат, аркозовий пісковик
Несланцюваті	
Мармур	Вапняк, доломіт (іноді з домішками)
Кварцит	Кварцовий пісковик
Роговик	Глиниста порода
Серпентиніт	Породи, багаті на олівін (дуніт, перидотит)
Скарн	Карбонатні породи
Грейзен	Глинисті і кварц-польовошпатові породи
Жировик (талькова порода)	Серпентиніт
Антрацит, графіт	Бітумінозне вугілля

Нижче коротко описані найбільш поширені метаморфічні гірські породи.

Глинисті сланці утворюються на початковій стадії метаморфізму глинистих порід. Ступінь метаморфізму глинистих сланців настільки незначна, що іноді їх відносять до осадових порід. За зовнішнім виглядом глинисті сланці часто подібні до звичайних аргілітів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 57

Філіти є перехідними породами від глинистих сланців до кристалічних. Утворюються за рахунок подальшого метаморфізму глинистих сланців і кварц-польовошпатових порід.

Кристалічні сланці — породи із сланцюватою текстурою. Серед них розрізняють слюдяні, талькові, роговообманкові та інші. Назва кристалічних сланців вказує на те, який мінерал переважає в їх складі.

Гнейси за складом близькі до гранітів і мають смугасту, сланцювату або очкову текстуру. Між гранітами і гнейсами часто спостерігається поступовий перехід. Утворюються гнейси за рахунок метаморфізму осадових (парагнейси) і магматичних (ортогнейси) порід.

Мармури утворюються за рахунок термального метаморфізму вапняків.

Кварцити утворюються за рахунок метаморфізму кварцових пісків і пісковиків. Вони дуже міцні, відносяться до найвищої категорії порід за буримістю (12-а категорія). За одну добу проходка свердловини по кварцитах може складати лише десятки сантиметрів, в той час як в звичайних неметаморфізованих породах можна пробурити за добу багато сотень метрів.

Скарни, грейзени, роговики, серпентиніти виникають при участі інтрузій в присутності водних і газових флюїдів.

Вивчення метаморфічних порід і процесів їх утворення має великий практичний інтерес, так як з ними пов'язані родовища різних корисних копалин. Найбільше значення серед них мають родовища залізних руд, олова, слюди, графіту, золота, флюориту, вольфраму, молібдену, міді, цинку, миш'яку, сурми, ртуті, радіоактивних елементів, азбесту, тальку, рідкісних і розсіяних елементів.

7.3. Осадові гірські породи

Осадові гірські породи утворились з продуктів руйнування будь-яких гірських порід, які випали в осадок на поверхні землі або на дні водоймищ без участі або за допомогою живих організмів.

Існує декілька підходів до розподілу осадових порід на групи. Але всі дослідники визнають, що найбільш об'єктивною є генетична класифікація, в якій за походженням виділяють уламкові, хемогенні і органогенні породи. В такому порядку їх і розглянемо.

За величиною уламків тверді продукти вивітрювання бувають від крупних брил до найдрібніших глинистих частинок. Ці утворення, переміщені в процесі ерозії, називаються уламковими породами. Величезні блоки і брили пересуваються важко, в той час як найдрібніші частинки переносяться на сотні кілометрів за межі суходолу і відкладаються в морі. Крупні уламки під час транспортування відстають в своєму русі і зазнають повторного вивітрювання. В результаті уламковий матеріал сортується і накопичується у вигляді відкладів, які складаються з частинок приблизно однакового розміру. При цьому формуються *уламкові або кластичні породи* (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Уламкові (кластичні) гірські породи

Розмір уламків, мм	Пухкі		Зцементовані		Основні структури
	обкатані	необкатані	обкатані	необкатані	
більше 100	валуни	брили	конгломерат	брекчія	псефітові (грубо-уламкові)
10-100	галечник	щебінь			
2-10	гравій	жорства			
0,1-2	пісок		пісковик		псамітові (піщані)
0,01-0,1	алеврит		алевроліт		алевритові (мулуваті)
менше 0.01	глина		аргіліт		пелітові (глинисті)

Розпушені відклади в подальшому ущільнюються і перетворюються в породу, тобто проходять стадію *літифікації*. Простір між уламками заповнюється дрібними глинистими

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 58

частинками і хімічними сполуками, які випадають з води. Речовина, яка заповнює пори, називається *цементом*. За складом цемент буває карбонатний, кременистий, глинистий, залізистий.

Якщо річка розвантажується в басейн із спокійною водою, гравійні частинки відкладаються біля берегу, пісок трохи далі, а мул іще далше від берегу. Таким чином, зони з уламками різної величини розташовуються послідовно утворюючи смуги, які приблизно паралельні до берега. Ця ідеальна схема накопичення відкладів часто порушується завдяки змінній кількості відкладів, які поступають і дії хвиль і течій. Тому матеріал у відкладах рідко буває однорідним, тобто відсортованим. Сортуння за величиною виявляється недосконалим через різницю в формі і питомій вазі частинок, нестачу часу для завершення процесу природного сортуння, зміни в режимі транспортування.

Валуни широко розповсюджені серед льодовикових утворень в гірських областях. У випадку виносу дрібного матеріалу на місцевості утворюються своєрідні ландшафти – валунні поля.

Конгломерат – зцементована порода, яка складається з уламків крупніше 10 мм. Склад гальки і цементу може бути різноманітним. Конгломерати, які залягають в основі серії відкладів, називають базальними і вказують на розмив і умови мілководдя.

Брекчії утворюються в результаті обвалів, зсувів, вилуговування, а також при тектонічних рухах (тектонічна брекчія) і вулканічній діяльності (вулканічна брекчія).

Щебінь утворюється при механічному руйнуванні гірських порід і накопичується біля підніжжя схилів.

Галечник і гравій утворюються при переносі уламків водними потоками або в результаті дії морського прибою. В процесі переносу уламки обкачуються, набуваючи гарно відполіровані округлі форми. За своїм походженням галечник і гравій можуть бути річковим, озерним, морським, льодовиковим.

Пісковик – зцементована порода з частинок розміром 0,1–2 мм. В більшості випадків зерна піску являють собою кварц, так як він дуже твердий, хімічно стійкий і тому краще інших мінералів зберігається при руйнуванні. Мономіктові пісковики складаються з одного типу порід, олігоміктові з двох, а поліміктові з трьох і більше типів порід. Пісковики поділяють на дрібнозернисті (зерна розміром 0,1–0,25 мм), середньозернисті (0,25–0,5 мм) і крупнозернисті (0,5–2 мм).

Зерна *алевроліту* дуже дрібні, щоб їх можна було побачити неозброєним оком, але алевроліт шорсткий на дотик. Шаруватість в алевролітах буває дуже тонка, і внаслідок цього візуально не завжди з впевненістю можна відрізнити алевроліти від аргілітів.

Глинисті породи займають проміжне положення між уламковими і хомогенними породами. Речовина глинистих порід дуже складна і різна за своїм походженням. Це суміш матеріалу, який утворився на суходолі в корах вивітрювання і ґрунтах, а потім був знесений в басейни накопичення відкладів і мінералів, які виникли при розкристалізації колоїдів і осаждених з істинних розчинів. В глинах можна виділити теригенні (уламкові) і аутигенні (утворені на місці) компоненти. За сучасними уявленнями, у відкладах Світового океану переважають теригенні глини. Аутигенні глини займають підлегле становище. За мінеральним складом розрізняють мономінеральні (каолінітові, гідролудисті, монтморилонітові, хлоритові) олігомінеральні і полімінеральні глини і глинисті породи. Зцементовані (літифіковані) глини називають *аргілітами*.

Звичайно, в природі не існує чистих пісків, алевритів і глин. Зазвичай вони зустрічаються у вигляді суміші з переважанням частинок якогось розміру. Ваговий вміст кожної фракції визначають за допомогою ситового аналізу. Назву відкладу і породи дають за переважною складовою, наприклад: глина піщана, алеврит глинистий.

Якщо в породі від 10 до 30 % глини, а інша маса приходить на алеврит і пісок, її називають *суглинком*. Коли вміст глинистої фракції складає всього 5–10 %, порода називається *супіском*.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 59

При визначенні пластичності відклад замішують з водою в тісто і розкочують між пальцями. Справжні глини розкочуються в дуже тонку нитку (тонше 2–3 мм), суглинки в більш товсту, діаметром більше 2–3 мм, а супіски не розкочуються. Товщина нитки є виміром глинистості і пластичності.

В районах розвитку вулканічної діяльності у відкладах завжди міститься вулканічний попіл. Якщо попелу, тобто пірокластичного матеріалу, менше половини, то відклади називаються туфогенними – *туфогенний пісок, туфогенний алеврит, туфогенна глина*. Коли кількість вулканогенного матеріалу перевищує 50 %, розпушену породу називають: *піщаний вулканічний попіл, алевритовий вулканічний попіл; глинистий вулканічний попіл*.

У випадку літифікації вулканогенні породи називаються *туфитами* (якщо пірокластичних уламків 50–90 %) або *туфами* (якщо пірокластів більше 90 %).

З уламковими породами пов'язані розсипні родовища. Вони утворюються за рахунок накопичення продуктів руйнування різноманітних гірських порід, серед яких можуть міститися мінерали, що мають промислове значення. *Розсипні родовища* формуються в процесі переносу і сортування за питомою вагою поверхневими водами уламків, які містять корисні мінерали. В результаті корисні мінерали концентруються в окремих місцях розсипища. Таким шляхом за рахунок руйнування корінних порід, які містять навіть непромислові концентрації корисних мінералів, можуть утворюватися *промислові розсипні родовища*, тобто родовища з такою концентрацією корисного мінералу, при якій його економічно доцільно розробляти. *Концентрація корисного мінералу* зазвичай визначається його вмістом на одну тону або один кубічний метр породи. Залежно від того, який корисний мінерал містять розсипища, вони поділяються на золотоносні, платиноносні, оловоносні, алмазонасні та ін.

Щебінь широко застосовується як баластний матеріал в будівництві, особливо при спорудженні залізничних шляхів і шосейних доріг. Галечник і гравій – відмінний будівельний матеріал, який широко використовують в якості наповнювача для бетону і в будівництві автомобільних доріг.

Глини здатні утворювати з водою пастоподібні маси різної консистенції, здатні зберігати форму і при обпалюванні набувати кам'яну міцність. Ця властивість глин широко застосовується в керамічній промисловості для виготовлення різноманітного посуду і в будівництві для виготовлення цегли. Каолінітові і монтморилонітові глини використовують для виготовлення бурових розчинів.

Пісковики є колекторами нафти і газу, вуглеводні накопичуються в їх поровому просторі. Аргіліти – покривні породи покладів нафти і газу.

При досягненні достатньо високої концентрації визначених іонів в розчині може розпочатися випадання хімічного осаду. Речовина, розчинена в процесі вивітрювання і перенесена в розчиненому вигляді, зазвичай досягає моря раніше, ніж її концентрація стане достатньою для випадання в осадок. Море служить, відповідно, великою коморою для розчиненого матеріалу. В результаті частина цього матеріалу осідає, утворюючи шари хомогенних відкладів. До хомогенних відкладів належать наступні осадові породи.

Серед *карбонатних порід* найбільш поширеними є вапняк і доломіт. *Вапняк* складається головним чином з карбонату кальцію, переважно в формі кальциту. Вапняки накопичуються в результаті або хімічного осідання неорганічного кальциту, або накопичення великої кількості вапнякових черепашок, а також при поєднанні цих двох процесів. Чисті вапняки накопичуються у відносно спокійній мілкій воді, в акваторіях, прилеглих до низьких ділянок суходолу. В холодній воді розчинність карбонату кальцію підвищується, тому карбонатні відклади не утворюються в північних морях. В морських акваторіях вапняки осідають лише на глибинах до 4 км. Справа в тому, що черепашки відмерлих планктонних організмів з кальцитовим скелетом, сягаючи глибини біля 4 км, попадають в зону холодних вод і розчиняються. Якщо у вапняках присутня велика кількість глинистих частинок, то

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 60

утворюється *мергель*. В карстових печерах відбувається розчинення вапняку і перевідкладання його у вигляді *сталактитів* (наростають у виді бурульок на стелях) і *сталагмітів* (наростають на підлозі печер).

Доломіт – порода, яка складається з мінералу доломіту $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Для її утворення необхідний жаркий тропічний або субтропічний клімат. При наступному розмиванні уламки доломіту можуть виноситися в море з утворенням з них уламкової доломітової породи.

Залізисті утворення. Деякі залізовмісні мінерали можуть накопичуватися хімічним шляхом. Шари або концентрації лімоніту (водний гідроксид заліза) можуть формуватися на дні озер або боліт. В деяких товщах морських осадових порід зустрічаються шари гематиту Fe_2O_3 потужністю в декілька метрів. Залізистий карбонат сидерит FeCO_3 також може накопичуватися на мілководді в умовах відновлюваного середовища. Поява піриту FeS_2 в осадових гірських породах пов'язана з розкладанням органічних залишків у відновлюваному середовищі. Домішки піриту в вугіллі при спалюванні приводять до викиду в атмосферу сірчаних газів і утворення «кислотних дощів».

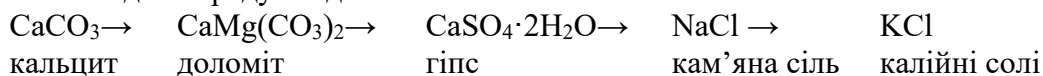
Фосфатні породи. Фосфатні конкреції утворюються на розкиданих по всьому Світовому океані ділянках сучасного дна, на глибинах 30–300 м. Їх генезис хімічний, біохімічний або біогенний. Фосфатні породи можуть також утворюватися на дні озер або в глибоководних зонах морів. *Фосфоритами* називаються породи, які більш ніж наполовину складені фосфатами кальцію. Відклади, які містять фосфор – цінна сировина для виготовлення мінеральних добрив.

Марганцевисті відклади. Оксиди марганцю накопичуються у вигляді конкрецій на дні озер і в морі. Згідно з розрахунками, на 1 км^2 дна Тихого океану приходить 7300 т марганцевих конкрецій. В них міститься 24 % марганцю і 14 % заліза; одночасно в них присутні досить цінні елементи, такі як нікель, мідь, кобальт. Вартість запасів конкрецій з розрахунку на 1 км^2 дна оцінюється цифрою більше 2,35 млн. доларів.

Кременисті породи зустрічаються як в формі конкрецій у вапняках і доломітах, так і у вигляді окремих шарів. *Кремін* являє собою агрегати кварцу, мікрокристалічного халцедону і аморфного (опал) кремнезему. В сучасних відкладах накопичення опалу $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ часто відбувається біогенним шляхом. Екстрагуючи кремнезем з вод басейну седиментації, організми (діатомеї, радіолярії, кремнієві губки, силікофлагеляти) будують з опалу скелетні елементи, які осідають на дні. Глибоководні ділянки Світового океану часто покриті кременистими відкладами. *Трепел* – слабо зцементована, дуже легка, тонкопориста опалова порода, яка мало містить або майже залишена органічних решток. Опал може осідати з вод гейзерів в районах розвитку вулканічної діяльності. Кременисті породи, які забарвлені оксидами заліза і марганцю в червоні, жовті, коричневі, іноді зелені кольори, носять назву *яшми*. Це гарний матеріал для виготовлення декоративних виробів і прикрас.

Боксити утворюються в умовах жаркого і вологого клімату при хімічному розкладанні польовошпатових гірських порід. Колір світло-сірий, червоний, бурий. Перевідкладені боксити бувають озерного або морського походження. За будовою це пухкі пористі або щільні породи з оолітовою структурою. Застосовуються для виробництва алюмінію.

Евапорити. Морська вода містить біля 3,5 % розчиненої твердої речовини. У випадку її випаровування в замкнутому басейні утворюються перенасичені розчини і відбувається послідовне випадання ряду осадів:



Калійні солі зустрічаються рідко, тому що для їх утворення необхідні екстремальні умови випаровування, а вони досягаються нечасто. В історії Землі відомі періоди жаркого клімату, коли виникали сприятливі умови для утворення соленосних товщ потужністю більше 500 м на території декілька сотень кв. км. Це девонський, пермський і неогеновий періоди.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 61

В деяких пустельних озерах солі розчинені в іншій пропорції порівняно з морською водою, і в них утворюються солі бору, відклади з високим вмістом нітрату натрію, калійної селітри та інших сполук.

Хемогенні осадові породи знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. З вапняків шляхом опалювання виготовляють вапно, їх використовують як флюс в металургійній промисловості, в якості наповнювача в будівництві. Із залізистих і марганцевих відкладів вилучають Fe і Mn, з бокситів – алюміній. Кременисті породи використовують як декоративний матеріал; кам'яні солі використовують в харчовій промисловості, а калійні – як добрива і хімічну сировину.

Органогенні породи утворюються в результаті життєдіяльності організмів.

Вапняки органогенного походження складаються з решток вапнякових черепашок водних тварин і водоростей, які жили в морях і озерах. *Черепашники* складаються з мушель різних молюсків (зазвичай двостулок і гастропод); *крейда* – з вапнякових скелетів найдрібніших одноклітинних водоростей і найпростіших організмів.

Опоки – кременисті породи, які складаються з зерняток опалу $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ з домішками кремневих скелетів дрібних організмів.

Діатоміт подібний до трепелу, але в ньому краще збереглися кремневі шкарлупки діатомітових водоростей.

Викопне вугілля утворюється за рахунок розкладання рослинних решток без доступу повітря. Залежно від вмісту вуглецю викопне вугілля поділяють на буре, кам'яне і антрацити.

Горючі сланці – глинисті, вапнякові або кременисті осадові породи з вмістом органічної речовини (керогену) в кількості 10-80 %.

Нафта – продукт перетворення органіки в умовах високих тисків і температур. Оскільки нафта легша за воду, вона переміщується у вище лежачі шари і накопичується в породах-колекторах. На вигляд це масляниста рідина бурого, темно-коричневого, червоно-коричневого, іноді злегка жовтуватого кольору.

Бурштин – затверділа смола хвойних дерев, переважно палеогенового віку (25-30 млн. р.). Зазвичай це смола древніх ялинок, яка гарно зберігається в прибережних піщаних відкладах.

Черепашники – облицювальний матеріал в будівництві. Крейда застосовується в цементній, скляній, гумовій, паперовій промисловостях. Опоки використовують для очищення цукру, рослинних і мінеральних олій, в абразивній, хімічній та інших галузях промисловості. Діатоміт застосовується для фільтрування кислот, термоізоляції, поліровки металічних виробів, в цементній промисловості. *Каустобіоліти* (викопне вугілля, торф, горючі сланці), нафта і газ – паливо і основні джерела енергії для людства. З нафти отримують бензин, керосин, різні змащувальні мастила; нафта – незамінна сировина для хімічної промисловості. Бурштин використовується в якості різноманітних виробів в ювелірній справі, а для виготовлення янтарної кислоти, лаку, деяких медичних препаратів і реактивів; в електроприладах застосовується як ізолятор.

Питання для самоперевірки

1. Як класифікують магматичні породи?
2. Чи може колір магматичної породи вказувати на її хімічний склад?
3. Що таке структура і текстура гірської породи?
4. Як за зовнішнім виглядом відрізнити глибину магматичну породу від вилитої?
5. На чому основана класифікація метаморфічних порід?
6. Які породи є материнськими для метаморфізму сланцюватих порід?
7. Які породи є материнськими для метаморфізму несланцюватих порід?
8. Як класифікують осадові породи?
9. В яких умовах утворюються хемогенні породи?
10. Що таке евапорити?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 62

8. КОРИСНІ КОПАЛИНИ ТА МЕТОДИ ПОШУКІВ ЇХ РОДОВИЩ

8.1. Поняття та класифікація корисних копалин

Корисні копалини – це природні мінеральні утворення органічного або неорганічного походження, що сформувалися в надрах Землі внаслідок геологічних процесів та можуть бути використані в господарській діяльності за умови технічної доступності й економічної доцільності їх видобутку. Вони становлять матеріальну основу розвитку промисловості, енергетики, будівництва та інших галузей економіки.

Геологічною формою існування корисних копалин є *родовище* – природне скупчення мінеральної речовини в межах певної ділянки земної кори, яке характеризується визначеною формою, розмірами, умовами залягання та якісними показниками сировини. Сукупність родовищ і проявів утворює мінерально-сировинну базу держави.

Формування корисних копалин пов'язане з дією ендегенних (магматизм, метаморфізм, тектонічні рухи) та екзогенних (вивітрювання, осадо накопичення, гідрогенез) процесів. Відтак їх класифікація ґрунтується на генетичних, речовинних та господарських ознаках.

Генетична класифікація корисних копалин базується на умовах і механізмах формування мінеральної речовини.

1. Ендегенні родовища формуються внаслідок внутрішніх процесів Землі, пов'язаних із магматичною діяльністю та метаморфізмом. До них належать:

- магматичні родовища – утворюються під час кристалізації магми та диференціації магматичних розплавів (наприклад, хроміти, титаномagnetити, нікелеві руди);
- пегматитові родовища – пов'язані з пізніми стадіями кристалізації магми (літій, берилій, рідкісноземельні елементи);
- гідротермальні родовища – виникають унаслідок осадження мінералів із гарячих водних розчинів (золото, мідь, свинець, цинк);
- етаморфогенні родовища – утворюються під впливом високих температур і тисків (графіт, мармур, деякі залізні руди).

Ендегенні поклади часто приурочені до складчастих поясів, зон тектонічних порушень та магматичних масивів.

2. Екзогенні родовища пов'язані з процесами, що відбуваються на поверхні Землі або в приповерхневих шарах літосфери. Серед них виділяють:

- осадові родовища формуються в басейнах накопичення відкладів (вугілля, нафта, природний газ, фосфорити);
- хемогенні (евпоритові) утворюються внаслідок хімічного осадження з розчинів (кам'яна сіль, калійні солі, гіпс);
- біогенні пов'язані з діяльністю організмів (вапняки органічного походження, горючі сланці);
- розсіпні родовища – формуються внаслідок руйнування первинних покладів і накопичення важких мінералів у руслах річок або на узбережжях (золото, платина, ільменіт).

Екзогенні родовища характеризуються стратифікованістю та тісним зв'язком із певними літолого-фаціальними умовами.

З практичної точки зору найбільш поширеною є класифікація за напрямом використання, тобто *господарська* (економічна) класифікація. Тут виділяють:

1. Паливно-енергетичні корисні копалини: кам'яне та буре вугілля; нафта; природний газ; торф; горючі сланці; уранові руди.

Вони є основою енергетичного балансу держави.

2. Рудні корисні копалини – це природні утворення, що містять метали або їх сполуки в промислових концентраціях. Виділяють: чорні метали (залізо, марганець, хром); кольорові

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 63

метали (мідь, свинець, цинк, алюміній); благородні метали (золото, срібло, платина); рідкісні та розсіяні елементи (літій, германій, індій).

3. Нерудні корисні копалини, які не містять металів у промислових концентраціях і використовуються як хімічна або технічна сировина: сірка; фосфорити; барит; графіт; каолін.

4. Будівельна сировина – використовується безпосередньо або після мінімальної обробки: граніт; вапняк; глина; пісок; щебінь.

За *фізичним станом* корисні копалини поділяються на: тверді (руди, вугілля, солі); рідкі (нафта, мінеральні води); газоподібні (природний газ, гелій).

За *морфологією покладів* розрізняють: пластові; жильні; лінзоподібні; штокверкові; масивні. Умови залягання визначають спосіб розробки (кар'єрний або шахтний) та економічну ефективність видобутку.

Поняття корисних копалин є комплексним і охоплює геологічні, технологічні та економічні аспекти. Їх класифікація здійснюється за різними критеріями – генетичними, господарськими, фізичними та морфологічними. Така багатовимірна систематизація забезпечує наукове обґрунтування пошуків, розвідки та раціонального використання мінерально-сировинних ресурсів, що є стратегічним чинником сталого розвитку суспільства.

8.2. Методи пошуків і розвідки родовищ

Пошуки та розвідка родовищ корисних копалин є складною багаторівневою системою науково-практичних заходів, спрямованих на виявлення, якісну та кількісну оцінку мінеральної сировини. Методологічною основою цих робіт є поєднання геологічного прогнозування, інструментальних вимірювань і економічного аналізу.

Геологічні методи становлять фундамент геологорозвідувального процесу, оскільки забезпечують безпосереднє вивчення речовинного складу та структурної будови надр.

Геологічне картування передбачає: встановлення літологічного складу порід; визначення стратиграфічного положення товщ; аналіз тектонічних порушень; виявлення ознак рудоносності (рудопрояви, зміни порід).

Результатом є створення геологічних карт різних масштабів (1:200 000; 1:50 000; 1:10 000), що слугують основою для прогнозування родовищ.

На основі *структурно-тектонічного аналізу* вивчаються: складчасті структури (антикліналі, синкліналі); розривні порушення (скиди, насуви); зони розтягнення та стиску.

Особливо важливий цей метод при пошуках нафтових і газових пасток, локалізованих у межах антиклінальних структур або літологічних екранів.

Петрографічні та мінералогічні дослідження включають мікроскопічний аналіз шліфів, визначення мінерального складу, текстур і структур порід. Це дозволяє встановити генетичний тип родовища та прогнозувати його глибину і масштаби.

Геофізичні методи базуються на реєстрації фізичних полів Землі та їхніх аномалій. Вони дозволяють отримувати інформацію про глибинну будову без порушення геологічного середовища.

Сейсморозвідка – метод ґрунтується на поширенні пружних хвиль у надрах. Основні різновиди: метод відбитих хвиль (МВХ); метод заломлених хвиль; 3D-сейсморозвідка.

Сейсморозвідка є ключовою при пошуках вуглеводнів, оскільки дозволяє детально моделювати пастки та визначати глибину продуктивних горизонтів.

Магніторозвідка базується на вимірюванні варіацій магнітного поля Землі. Ефективна для: пошуків залізистих кварцитів; виявлення магматичних тіл; дослідження структур Українського щита.

Гравірознавство використовує різницю густини гірських порід. Дає змогу встановлювати: глибинні інтрузивні масиви; соляні куполи; тектонічні западини.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 64

Електророзвідка – методи електричного зондування дозволяють визначати електропровідність порід. Особливо ефективні при пошуках: підземних вод; сульфідних руд; зон тріщинуватості.

Геохімічні методи спрямовані на виявлення ореолів розсіювання хімічних елементів, що формуються навколо родовищ.

Основні напрями: ґрунтово-геохімічна зйомка; гідрогеохімічні дослідження; біогеохімічні методи; газогеохімічні дослідження (метан, радон).

Геохімічні аномалії часто передують відкриттю прихованих родовищ і є важливим елементом прогнозування.

Бурові роботи та гірничі виробки.

Буріння є завершальним і найбільш доказовим методом розвідки. Види розвідувального буріння: колонкове (із відбором керну); ударно-канатне; роторне; глибоке параметричне буріння. Аналіз керна дозволяє визначити: потужність покладу; якість сировини; гідрогеологічні умови.

Гірничі виробки (шурфи, траншеї, штольні) застосовуються для детального вивчення поверхневих або неглибоких родовищ.

8.3. Етапи геологорозвідувальних робіт

Основними етапами геологорозвідувальних робіт є: регіональні дослідження – виявлення перспективних територій; пошукові роботи – встановлення наявності корисної копалини; попередня розвідка – визначення масштабів покладу; детальна розвідка – підрахунок запасів і техніко-економічна оцінка; промислова підготовка родовища.

Комплексність і поетапність є фундаментальними методологічними принципами організації геологорозвідувальних робіт. Вони забезпечують наукову обґрунтованість прогнозування, мінімізацію геологічних ризиків та економічну доцільність освоєння мінерально-сировинної бази. Системний характер пошуково-розвідувального процесу зумовлений складністю геологічної будови надр, багатофакторністю рудоутворювальних процесів та неоднорідністю просторового розподілу корисних компонентів.

Принцип комплексності передбачає інтегроване використання методів різної природи — геологічних, геофізичних, геохімічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних. Жоден із зазначених методів не є універсальним; кожен із них відображає лише окремі аспекти геологічного середовища. Відтак достовірність інтерпретації досягається шляхом взаємного доповнення та кореляції результатів.

Комплексність реалізується через: отримання інформації з декількох етапів розвідки; порівняльний аналіз незалежних даних; поетапне уточнення геологічної моделі; застосування кількісних методів обробки результатів.

Таким чином формується інтегральна модель родовища, яка враховує його морфологію, речовинний склад, гідрогеологічні умови та структурно-тектонічні особливості.

Геологорозвідувальні роботи здійснюються відповідно до принципу поступового переходу від загального до конкретного. Така логіка дозволяє раціонально розподіляти фінансові та технічні ресурси, зосереджуючи їх на найбільш перспективних ділянках.

1. Регіонально-прогнозна стадія. На цій стадії здійснюється аналіз геологічної будови великих територій із метою виявлення перспективних структурних зон. Використовуються узагальнені матеріали геологічного картування, дані регіональної геофізики та дистанційного зондування. Результатом є формування прогнозних моделей рудоносності та виділення пошукових площ.

2. Пошукова стадія спрямована на локалізацію конкретних об'єктів можливого рудонакопичення. Застосовуються детальні геофізичні зйомки, геохімічні дослідження, маршрутні обстеження та поверхневі гірничі виробки. На цьому етапі встановлюється факт наявності мінералізації та оцінюється її промислова перспективність.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 65

3. Попередня розвідка. Метою є визначення морфології покладу, його якісних характеристик та орієнтовних запасів. Виконується буріння по розрідженій мережі свердловин, здійснюється лабораторний аналіз керна матеріалу, проводиться первинний підрахунок запасів. Отримані дані дозволяють зробити висновок щодо доцільності подальших інвестицій.

4. Детальна розвідка. Передбачає уточнення геологічної моделі родовища з високим ступенем точності. Здійснюється ущільнення мережі свердловин, проводяться гідрогеологічні та інженерно-геологічні дослідження, виконується техніко-економічне обґрунтування промислового освоєння. На цій стадії визначаються запаси відповідних категорій достовірності.

5. Експлуатаційна розвідка проводиться паралельно з видобутком корисної копалини з метою оперативного уточнення геологічної будови та коригування технологічних параметрів розробки.

Організація геологорозвідувальних робіт підпорядковується принципу ієрархічності, що полягає у послідовному зменшенні масштабу досліджень і збільшенні ступеня деталізації. На регіональному рівні аналізуються великі геоструктурні одиниці; на локальному — конкретні рудні тіла та їх внутрішня будова. Такий підхід забезпечує оптимальне співвідношення між вартістю робіт і точністю отриманих результатів.

Сучасна геологорозвідка характеризується активним впровадженням геоінформаційних систем, тривимірного моделювання та методів статистичного аналізу великих масивів даних. Цифрова інтеграція дозволяє синтезувати результати польових, лабораторних і геофізичних досліджень у єдиному інформаційному середовищі. Це підвищує об'єктивність інтерпретації та сприяє формуванню прогностичних моделей із високим рівнем надійності.

Невід'ємною складовою комплексного підходу є кількісна оцінка достовірності отриманих даних. Вона включає: статистичну обробку результатів опробування; класифікацію запасів за ступенем розвіданості; економічну оцінку ефективності розробки; аналіз геологічних та техногенних ризиків.

Чим вищий рівень підтвердження запасів незалежними методами, тим більша надійність геологічної моделі та менша ймовірність економічних втрат.

Комплексність і послідовність застосування методів пошуків та розвідки родовищ становлять концептуальну основу сучасної геологорозвідувальної діяльності. Їх реалізація забезпечує системність дослідження надр, оптимізацію ресурсних витрат і підвищення достовірності оцінки мінерально-сировинної бази. У сучасних умовах ці принципи набувають особливого значення у зв'язку з необхідністю раціонального та екологічно відповідального використання природних ресурсів.

8.4. Запаси корисних копалин

Запаси корисних копалин – це кількісно визначений обсяг мінеральної сировини в межах родовища або його частини, який за результатами геологорозвідувальних робіт встановлений із певним ступенем достовірності та може бути економічно доцільним для промислового освоєння.

Поняття запасів має комплексний характер і охоплює:

- геологічний аспект – просторові межі, морфологію та умови залягання покладу;
- якісний аспект – вміст корисного компонента, технологічні властивості;
- економічний аспект – рентабельність видобутку з урахуванням сучасних технологій і ринкових умов.

Запаси є основним показником, що визначає стратегічну цінність родовища та його місце у мінерально-сировинній базі держави.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 66

Класифікація запасів базується на рівні геологічної вивченості та достовірності підрахунків. У національних і міжнародних системах застосовуються різні підходи, однак їх сутність полягає в оцінці надійності отриманих даних.

Основні категорії запасів за ступенем розвіданості:

1. Розвідані запаси – це обсяги корисної копалини, підтверджені детальними геологічними дослідженнями, бурінням та лабораторним аналізом. Вони характеризуються високим ступенем достовірності щодо: геометрії покладу; потужності й площі поширення; якісних показників сировини. Розвідані запаси є підставою для проєктування та безпосереднього промислового освоєння родовища.

2. Попередньо розвідані запаси оцінюються на основі менш щільної мережі свердловин або гірничих виробок. Вони мають достатній рівень обґрунтованості, однак потребують додаткового уточнення під час подальшої розвідки або експлуатації.

3. Прогнозні ресурси – це передбачувані обсяги корисної копалини, встановлені на основі геологічних передумов, аналогій із подібними родовищами та регіональних досліджень. Вони мають нижчий рівень достовірності та слугують орієнтиром для планування пошукових робіт.

Важливою економічною характеристикою є поділ запасів на балансові та позабалансові.

1. Балансові запаси – до цієї категорії належать запаси, видобуток яких є економічно доцільним за сучасних технічних і ринкових умов. Вони відповідають встановленим вимогам щодо: мінімального вмісту корисного компонента; глибини залягання; гірничо-геологічних умов.

2. Позабалансові запаси – це обсяги мінеральної сировини, які на момент оцінки є економічно нерентабельними або технічно складними для видобутку. Проте за зміни цінової кон'юнктури чи впровадження нових технологій вони можуть бути переведені до категорії балансових.

Підрахунок запасів здійснюється на основі геологічних матеріалів із застосуванням аналітичних та математичних методів.

Геометричний метод базується на визначенні площі покладу, його середньої потужності та густини корисної копалини. Обсяг обчислюється як добуток площі на потужність, із подальшим перерахунком у масу.

Блоковий метод передбачає поділ родовища на окремі геологічні блоки з урахуванням неоднорідності складу та структури. Для кожного блоку обчислюються окремі показники запасів, які згодом сумуються.

Геостатистичні методи застосовуються при складній морфології покладів та нерівномірному розподілі корисного компонента. Використовують математичне моделювання, варіограмний аналіз та комп'ютерне 3D-моделювання.

Запаси оцінюються не лише за кількістю, а й за якістю сировини. Для цього встановлюються *кондиції*, тобто мінімальні вимоги до: вмісту корисного компонента; вмісту шкідливих домішок; фізико-механічних властивостей; глибини та умов залягання. Кондиції визначають межу між промисловим і непромисловим значенням покладу.

Запаси корисних копалин не є статичною величиною. Вони змінюються під впливом: результатів додаткової розвідки; розвитку технологій збагачення; коливань світових цін; екологічних та нормативних обмежень. Таким чином, мінерально-сировинна база держави має динамічний характер і потребує постійного моніторингу та переоцінки.

Запаси корисних копалин є кількісним вираженням природного ресурсного потенціалу родовищ і визначають можливості їх промислового освоєння. Їх класифікація ґрунтується на ступені геологічної вивченості та економічної доцільності видобутку. Підрахунок запасів базується на комплексі геологічних і математичних методів та враховує встановлені кондиції.

Раціональне управління запасами є ключовим чинником забезпечення енергетичної та ресурсної безпеки держави, а також важливою передумовою сталого розвитку суспільства.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 67

Питання для самоперевірки

1. Дайте наукове визначення поняття корисні копалини та поясніть його геологічний і економічний зміст.
2. На яких принципах ґрунтується генетична класифікація корисних копалин?
3. Які види геологорозвідувальних робіт можете назвати?
4. Проаналізуйте роль класифікації корисних копалин у плануванні геологорозвідувальних робіт.
5. Дайте визначення поняття запаси корисних копалин та поясніть його комплексний характер.
6. Які чинники враховуються при оцінці запасів родовища?
7. Розкрийте сутність класифікації запасів за ступенем геологічної вивченості.
8. Охарактеризуйте балансові та позабалансові запаси і поясніть їх економічне значення.
9. Які основні методи підрахунку запасів застосовуються в геологічній практиці?
10. Що таке кондиції і яку роль вони відіграють у визначенні промислового значення родовища?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 68

9. ГЕОЛОГІЯ НАФТИ І ГАЗУ

1. Загальні відомості про поклади нафти і газу в земній корі

Каустобіоліти – це горючі корисні копалини органічного походження, що сформувалися внаслідок перетворення органічної речовини в осадових товщах. До них належать: нафта; природний газ; газовий конденсат; вугілля; горючі сланці; бітумінозні піски.

За генетичною класифікацією каустобіоліти поділяють на: сапропелітові – утворені з планктонної органічної речовини (переважно водоростей та мікроорганізмів), що є основним джерелом нафти та газу; гумусові – сформовані з наземної рослинності (переважно джерело кам'яного вугілля); змішані типи – поєднують риси обох попередніх.

Основним джерелом рідких і газоподібних вуглеводнів є органічна речовина морського або лагунного походження, похована в умовах обмеженого доступу кисню.

Породи-колектори – це гірські породи, здатні вміщувати та пропускати флюїди (нафту, газ, воду). Їхні основні властивості: пористість (здатність накопичувати флюїд); проникність (здатність пропускати флюїд); тріщинуватість; ємнісні характеристики.

Найпоширенішими колекторами є: пісковики; алевроліти; карбонатні породи (вапняки, доломіти); тріщинуваті магматичні та метаморфічні породи.

Колектори можуть бути поровими, тріщинними або порово-тріщинними.

Флюїдотриви – це слабкопроникні або непроникні породи, які перешкоджають міграції вуглеводнів і забезпечують їх накопичення. До них належать: глини; аргіліти; мергелі; кам'яна сіль; ангідриди.

Наявність ефективної покришки є обов'язковою умовою формування покладу.

Поклад нафти або газу – це природне локалізоване скупчення вуглеводнів у межах одного резервуара (колектора), обмежене геологічною пасткою та ізольоване флюїдотривкими породами.

Поклади формуються виключно в осадових басейнах, де поєднуються необхідні елементи нафтогазової системи: материнська порода, міграційні шляхи, колектор, пастка та покришка.

Типовий поклад характеризується: контуром нафто- або газоносності – межею поширення вуглеводнів; газовою шапкою (за наявності); нафтовою частиною; водонафтовим або газоводяним контактом (ВНК, ГВК); пластовою водою в нижній частині резервуара.

У гравітаційно стабільному покладі спостерігається фазова стратифікація: у верхній частині розміщений газ (найменша густина); нижче – нафта; в основі – вода. Рівновага підтримується різницею густин флюїдів і пластовим тиском.

Формування покладу неможливе без пастки – геологічної структури або літологічного тіла, що забезпечує акумуляцію вуглеводнів.

1. Структурні пастки пов'язані з тектонічними деформаціями: антиклінальні складки; купольні структури; блоки, обмежені розломами; соляні діапіри. Антиклінальна пастка є класичною моделлю, де вуглеводні накопичуються у верхній частині складки під покришкою.

2. Літологічні пастки виникають унаслідок зміни фільтраційно-ємнісних властивостей порід: виклинювання пісковиків; фаціальна заміна колекторів глинами; рифові масиви; лінзоподібні тіла піщаних відкладів.

3. Стратиграфічні пастки формуються внаслідок: ерозійних незгідностей; перекриття колекторів молодшими флюїдотривкими породами; зміни умов осадо накопичення.

4. Комбіновані пастки поєднують структурні та літологічні чинники; є найпоширенішими у складних осадових басейнах.

Класифікація покладів

За фазовим станом: нафтові; газові; газоконденсатні; нафтогазові; нафтогазоконденсатні.

За глибиною залягання: мілкі (до 1 км); середні (1-3 км); глибокі (понад 3 км); надглибокі (понад 5-6 км).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 69

За типом колектора: порові; тріщинні; порово-тріщинні; кавернозні (переважно карбонатні).

За режимом пластового тиску: водонапірні; газонапірні; змішані; пружноводонапірні.

Стійкість покладу визначається балансом пластового тиску, гідростатичного режиму та герметичністю пастки. Основні режими: водонапірний режим – рух води підтримує тиск у пласті; газонапірний режим – енергія розширення газової шапки; режим розчиненого газу – виділення газу з нафти при зниженні тиску; гравітаційний режим – перерозподіл флюїдів під впливом сили тяжіння.

Порушення гідродинамічної рівноваги може призвести до часткової деградації або переформування покладу.

Поклади нафти і газу приурочені до: платформних осадових басейнів; передгірських прогинів; континентальних шельфів; міжгірських западин.

Найбільші родовища зосереджені в потужних мезо-кайнозойських осадових товщах. Вертикально вони розміщуються в межах інтервалу термічної зрілості органічної речовини («нафтове» та «газове» вікна).

За морфологією поклади можуть мати: пластову (шарову) форму; лінзоподібну; масивну; купольну; екрановану розломами.

Основними параметрами покладу є: площа нафто- або газонасиченості; ефективна потужність колектора; коефіцієнт пористості; коефіцієнт нафто- чи газонасичення; запаси вуглеводнів.

Температура та тиск у надрах зростають із глибиною відповідно до геотермічного та геостатичного градієнтів. Середній геотермічний градієнт становить 2-3 °C на 100 м. Пластовий тиск зазвичай близький до гідростатичного, але може бути аномально високим або низьким.

Термобаричні умови визначають: фазовий стан вуглеводнів; густину і в'язкість нафти; газонасиченість; умови розчинення газу в нафті.

Зона активного утворення нафти відповідає «нафтовому вікну» (приблизно 60-150 °C), тоді як вищі температури сприяють утворенню газу.

9.2. Генезис нафти і газу

Переважною є органічна (біогенна) теорія походження нафти, згідно з якою її концептуальні основи були сформовані, зокрема, Володимир Вернадський та Іван Губкін.

Процес нафто- і газоутворення включає кілька стадій: діагенез – первинне перетворення органічної речовини в осаді; катагенез – термokatалітичне розкладання керогену з утворенням нафти та газу; метагенез – глибші перетворення з переважним газоутворенням.

Альтернативна абіогенна гіпотеза припускає глибинне неорганічне походження вуглеводнів, однак вона не має широкого визнання.

Основні закономірності формування і розміщення скупчень нафти і газу: приуроченість родовищ до осадових басейнів; зв'язок із тектонічними структурами; залежність від наявності материнських порід, колекторів і покришок; вертикальна зональність нафто- і газонасиченості; регіональна міграція вуглеводнів від джерела до пастки.

Найбільші скупчення пов'язані з платформними та передгірськими басейнами.

Формування покладу можливе за наявності п'яти обов'язкових елементів нафтогазової системи: материнська порода (джерело органічної речовини); термічна зрілість; міграційні шляхи; пастка; покришка.

Часова узгодженість цих процесів є критичною умовою. Порушення герметичності пастки або руйнування покришки призводить до деградації покладу.

Формування покладів і родовищ нафти й газу є результатом функціонування цілісної нафтогазової системи (petroleum system), у межах якої взаємодіють джерело органічної речовини, процеси генерації, міграції, акумуляції та збереження вуглеводнів. Ці процеси

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 70

повинні бути просторово та часово узгодженими. Порушення хоча б одного з елементів системи унеможлиблює формування промислового покладу.

Першою необхідною умовою є наявність осадових товщ, збагачених органічною речовиною (керогеном), здатною до генерації вуглеводнів. Материнські породи формуються переважно в умовах: відновного (аноксичного) середовища; інтенсивного накопичення планктонної біомаси; обмеженої циркуляції вод; високої швидкості осадонакопичення.

Кількісними критеріями є вміст органічного вуглецю (ТОС), тип керогену та ступінь його термічної зрілості. Без достатнього генераційного потенціалу формування покладу неможливе.

Генерація нафти й газу відбувається лише за певних термобаричних умов. Основні інтервали: «нафтове вікно»: приблизно 60-150 °С; «газове вікно»: понад 150-180 °С.

Недостатня глибина поховання не забезпечує перетворення керогену, а надмірна – спричиняє повне розкладання нафти з утворенням сухого газу або графітоподібного залишку. Отже, формування покладів контролюється глибиною занурення та геотермічним режимом басейну.

Після генерації вуглеводні залишають материнську породу й переміщуються до колекторів. Виділяють: первинну міграцію – вихід із материнської товщі; вторинну міграцію – переміщення пористими та тріщинними породами до пастки.

Міграція відбувається під впливом: різниці густин; гідродинамічного градієнта; капілярних сил; тектонічних напружень. Ефективність міграції визначається наявністю проникних шляхів, тобто пористих пластів, розломів, тріщин.

Пастка – це геологічна структура або літологічне тіло, здатне локалізувати вуглеводні. Її формування повинно передувати або бути синхронним міграції вуглеводнів. Якщо пастка утворилася після основного етапу генерації, поклад не сформується або буде незначним.

Ефективність пастки залежить від: геометрії; амплітуди структурних піднять; площі замикання; співвідношення проникності колектора та покришки.

Покришка (флюїдотрив) повинна бути достатньо потужною та малопроникною, щоб запобігти втраті вуглеводнів. Найефективнішими покришками є глинисті товщі, соляні відклади та ангідрити. Порушення герметичності може відбутися внаслідок: тектонічних розломів, ерозії, вторинної тріщинуватості, що може призвести до деградації або повного руйнування покладу.

Ключовим принципом часової узгодженості є збіг у часі таких подій: генерація вуглеводнів; формування пастки; створення покришки; активна міграція. Якщо пастка сформувалася занадто рано й була зруйнована до міграції, або якщо міграція відбулася до формування герметичної структури, промислове скупчення не виникає.

Після формування поклад повинен зберігатися протягом геологічного часу. На його стабільність впливають: тектонічні рухи; регіональна денудація; зміни гідродинамічних умов; магматизм; вторинна біодеградація. Стабільні платформні області мають вищий потенціал збереження покладів порівняно з активними орогенними зонами.

Формування родовища передбачає взаємодію кількох покладів у межах одного структурного елементу або басейну. У цьому контексті застосовується концепція «нафтогазової системи», що включає: джерельну товщу; резервуар; покришку; пастку; процеси генерації та міграції. Цей підхід широко розвинений у сучасній світовій нафтогазовій геології.

Скупчення нафти й газу закономірно пов'язані з осадовими басейнами значної потужності. Їх формування контролюється: типом тектонічного режиму (рифтовий, платформний, передгірський); історією занурення басейну; швидкістю осадонакопичення; геотермічним режимом. Найбільш перспективними є молоді мезо-кайнозойські басейни з потужними морськими відкладами.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 71

Питання для самоперевірки

1. Які умови необхідні для формування материнських порід і які показники визначають їх генераційний потенціал?
2. Охарактеризуйте стадії перетворення органічної речовини (та їх роль у генезисі нафти й газу).
3. Поясніть сутність первинної та вторинної міграції вуглеводнів і фактори, що визначають її ефективність.
4. Які властивості порід-колекторів визначають їх здатність акумулювати нафту і газ?
5. Наведіть приклади основних типів колекторів.
6. У чому полягає роль флюїдопривів у формуванні та збереженні покладів вуглеводнів?
7. Дайте класифікацію пасток нафти й газу та охарактеризуйте механізми їх формування.
8. Які термобаричні умови відповідають «нафтовому» та «газовому вікнам» і як вони впливають на фазовий стан вуглеводнів?
9. Поясніть принцип часової узгодженості (таймінгу) у формуванні покладів та його значення для прогнозування нафтогазоносності.
10. Які основні закономірності розміщення родовищ нафти і газу в межах осадових басейнів різних тектонічних типів?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 72

10. ГЕОЛОГІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

10.1. Геологічна зйомка

Родовище кожної корисної копалини утворюється у визначеній геологічній обстановці. Щоб зробити висновки про можливе знаходження на даній території будь-яких корисних копалин, необхідно з'ясувати, які тут в різні періоди геологічної історії існували фізико-географічні умови, які проходили геологічні явища, якими геохімічними процесами вони супроводжувалися і утворенню яких корисних копалин вони могли сприяти.

Таким чином, передумовою для наукового обґрунтування пошукових робіт в межах певної території є знання геологічної будови і геологічної історії цієї території. Лише тоді робота буде цілеспрямованою, в іншому випадку вона буде проводитись всліпу.

Загальне уявлення про геологічну будову і геологічну історію даної території отримують в результаті проведення геологічної зйомки, кінцевим результатом якої є геологічна карта. Геологічну карту ми отримаємо, якщо подумки видалимо з поверхні корінних порід наноси і у визначеному масштабі спроекуємо на папір межі розповсюдження порід різного віку.

Для того щоб уявити, як залягають корінні породи під наносами і як проходять межі між різними породами, на топографічній карті намічають маршрути, рухаючись по яких можна зустріти найбільшу кількість природних оголень корінних порід. Рухаючись по маршруту, кожне оголення яке зустрічається ретельно вивчають і відмічають на топографічній карті під визначеним номером. Під цим же номером описують оголення в польовій книжці. При цьому обов'язково вказують, якими породами складене оголення, послідовність їх залягання, потужність, елементи залягання. В районах, де природних оголень недостатньо, для розкриття корінних порід проходять гірничі виробки (канави, шурфи) і бурові свердловини.

В результаті польових робіт на топографічну карту наносять сотні точок, в яких відомо, які породи залягають під наносами і які елементи їх залягання. Знаючи елементи залягання корінних порід в кожній відміченій точці можна користуючись визначеними методами графічних побудов провести межі розповсюдження різних порід під наносами, тобто побудувати геологічну карту.

В процесі геологічної зйомки проводиться різнобічне вивчення порід, які складають район, і умов їх залягання. На основі цього судять про ту геологічну обстановку, в якій утворилися ці породи. Висновки про геологічну будову і геологічну історію району узагальнюються в геологічному звіті.

Після складання геологічної карти роблять висновки про геологічну і геохімічну обстановку формування різних порід в межах даного району і намічають на геологічній карті ділянки, на яких можлива наявність певної корисної копалини. На цих ділянках і організовують пошуки родовищ. Таким чином, геологічна зйомка передуює перед пошуками або проводиться одночасно з ними. Геологічна зйомка продовжується і на всіх наступних етапах геологічного вивчення відкритих родовищ корисних копалин, в результаті чого геологічна карта деталізується і уточнюється.

10.2. Геологічні карти, індекси і умовні позначення

Геологічна карта являє собою графічне зображення на топографічній карті геологічної будови будь-якої ділянки земної кори.

На геологічній карті четвертинні відклади зазвичай не показують, зображають лише корінні породи. Але для надання карті рельєфності четвертинні відклади відображаються по долинах річок; крім того, цим підкреслюється, що тут переважають процеси інтенсивного накопичення відкладів. Зберігаються четвертинні відклади і в районах, геологічна будова яких недостатньо вивчена для того, щоб можна було судити про корінні породи, які залягають під покривними областями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 73

На геологічній карті умовними знаками (розфарбовуванням, штриховкою, буквеними індексами, крапом) показують розповсюдження різних корінних порід і розривних тектонічних порушень. За формою кордонів на карті судять про геологічні структури, умови залягання і співвідношення порід, про поведінку пластів на глибині та інших особливостях геологічної будови території.

Існує багато різновидів геологічних карт.

1) Геолого-стратиграфічні (або геологічні у власному сенсі слова), на яких товщі корінних порід виділені за стратиграфічною, тобто за віковою ознакою.

2) Літолого-стратиграфічні, відображають як речовинний склад, так і вік порід.

3) Структурно-тектонічні, відображають тектонічну будову даної території.

4) Гідрогеологічні карти, показують розподіл підземних вод в гірських породах.

5) Карти корисних копалин, відображають розподіл корисних копалин в межах даної території.

Залежно від масштабу геологічні карти поділяються на дрібномасштабні (дрібніше 1:500 000), середньомасштабні (1:200 000, 1:100 000) і крупномасштабні (крупніше 1:50 000). Дрібномасштабні карти схематичні. Чим крупніше масштаб геологічної карти, тим детальніше розділені породи за віком і складом, точніше оконтурені границі між ними. В тих випадках, коли через малу потужність пласти корисної копалини неможна відобразити на карті в масштабі, їх зображують у виде тонких ліній.

Індекси – це буквені і цифрові позначення товщ різного віку. Індекси полегшують читання геологічної карти. За індекс для системи береться перша прописна літера латинської назви системи. Відділ позначають підрядковою цифрою 1, 2, 3. Зазвичай в системах виділяють по три відділи, але деякі системи мають лише два відділи. Для позначення ярусу або свити до відділу дописують дві рядкові літери латинської назви даного підрозділу. Наприклад: силурійська система S, верхній відділ S₂, лудловський ярус S₂ld.

Виділення порід різного віку на картах проводиться розфарбовуванням. Прийняті наступні стандартні кольори та індекси для позначень порід різного віку (табл. 10.1).

Таблиця 10.1.

Стандартні кольори та індекси для позначень віку порід

Вік	Індекс	Колір
Четвертинна система	Q	бліді відтінки жовтуватого
Неогенова система	N	світло-жовтий (лимонний)
Палеогенова система	P	світло-помаранчевий
Крейдова система	K	яскравий трав'янисто-зелений
Юрська система	J	блакитний
Тріасова система	T	фіолетовий
Пермська система	P	темний помаранчевий
Кам'яновугільна система	C	сірий
Девонська система	D	коричневий
Силурійська система	S	світлий сіро-зелений
Ордовицька система	O	сіро-зелений
Кембрійська система	Є	темний сіро-зелений
Протерозойська група	PR	рожевий
Архейська група	AR	темно-рожевий

Склад магматичних інтрузивних порід показують кольором і позначають грецькими літерами. Кислі і середні інтрузивні породи (γ) розфарбовують червоним, основні (ν) темно-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 74

зеленим, ультраосновні () насичено-фіолетовим кольором. Наприклад: γ AR – архейські граніти.

Ефузивні породи зазвичай датують як віковий підрозділ.

Виділення відділів і ярусів однієї і тієї ж геологічної системи досягається на геологічній карті різною густотою забарвлення. Більш древні породи підрозділу зафарбовуються темними тонами.

Для позначення різних порід (вапняки, доломіти, солі, пісковики, аргіліти, граніти і т.п.) прийняті спеціальні умовні знаки.

Для правильного розуміння геологічної будови місцевості, яка зображена на геологічній карті, завжди слід пам'ятати, що карта являє собою горизонтальну проекцію меж розповсюдження різних порід і розривних порушень. Тому лінії, проведені на карті, і площі розповсюдження різних порід не є досконало тотожними зменшеними зображеннями цих же ліній і площ на місцевості.

У випадку, якщо пласт залягає горизонтально і рельєф місцевості рівнинний, нерозчленований, на геологічній карті буде зображений самий верхній пласт товщі у виде площі, зафарбованої одним кольором, що відповідає віку пласта (рис. 10.1).

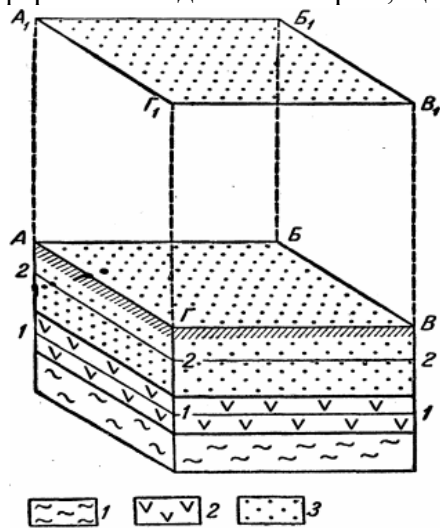


Рис. 10.1. Зображення на геологічній карті горизонтальне залягання пластів в умовах горизонтального рельєфу

$ABVG$ – горизонтальна поверхня місцевості;
 $A_1B_1V_1G_1$ – проекція поверхні $ABVG$ на горизонтальну площину (геологічна карта);
1, 2, 3 – горизонтально залягаючі пласти різного складу

Якщо рельєф розчленовано долинами або ярами, які перетинають горизонтально залягаючі пласти, на денній поверхні оголюються всі пласти, що перетинаються цими формами рельєфу. На геологічній карті виходи пластів зобразяться у виді смуг, границі яких паралельні горизонталям (рис. 10.2). Кожна смуга буде зафарбована кольором, що відповідає віку пласта, який вона зображає. Чим менша крутизна схилів поверхневого рельєфу, тим більша ширина виходу пласта на карті.

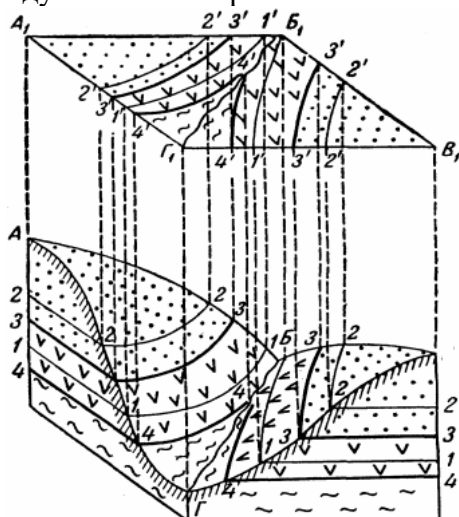


Рис. 10.2. Зображення на геологічній карті горизонтально залягаючих пластів в умовах перетнутого рельєфу

$ABVG$ – перетнута поверхня місцевості; $A_1B_1V_1G_1$ – проекція поверхні $ABVG$ на горизонтальну площину; 1–1' і 2–2' – перерізи поверхні $ABVG$ горизонтальними площинами; 1'–1', 2'–2' – відповідні цим перерізам горизонталі; 3–3', 4–4' і 3'–3', 4'–4' – граничні лінії і їх проекції на карті

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 75
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

Обриси границь виходу похило залягаючого пласта залежать від співвідношення кута падіння пласта і нахилу поверхні схилу, напрямків падіння пласта і схилу, форми поверхневого рельєфу. Якщо пласт падає в сторону, обернену напрямку ухилу місцевості, то вигини граничних ліній виходу пласта на карті будуть направлені в ту ж сторону, що і вигини горизонталей. Те ж саме буде спостерігатися, якщо пласт і схил падають в одну сторону, але нахил пласта більш пологий, ніж поверхня схилу.

Якщо пласт падає в ту ж сторону, що і схил рельєфу, але його нахил більше, ніж нахил поверхні схилу, граничні лінії пласта на карті будуть вигинатися в сторону, обернену згином горизонталей (рис. 10.3).

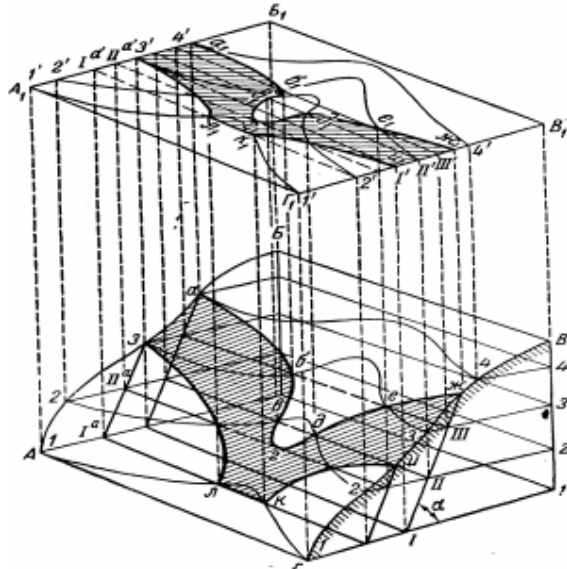


Рис. 10.3. Зображення на геологічній карті похило залягаючого пласта з крутим падінням

АБВГ – перетнута поверхня місцевості;
А₁В₁Г₁ – проекція поверхні *АБВГ* на горизонтальну площину (зображення на карті)
1, 2, 3, 4 і *1', 2', 3', 4'* – горизонтальні перерізи поверхні *АБВГ* і відповідні їм горизонталі;
абвгдеж і *иклз* – виходи похилих площин напластування пласта на денну поверхню;
а₁б₁в₁г₁д₁е₁ж₁ і *и₁к₁л₁з₁* – проекції виходів площин напластування *абвгдеж* і *иклз* на горизонтальну площину; *I, II, III* і *Ia, IIa* – лінії простягання підосви і покрівлі пласта; *I', II', III'* і *Ia', IIa'* – проекції ліній простягання пласта на карті; α – кут падіння пласта

Для того, щоб по геологічній карті визначити напрям простягання, падіння і величину кута падіння пласта, поступають наступним чином.

1) Знаходять напрям простягання пласта, для чого відшукують точки перетину однієї з граничних ліній (покрівлі або підосви) з будь-якою горизонталлю, наприклад, з горизонталлю 700 м (рис. 10.4). Лінія покрівлі пласта перетне цю горизонталь в точках *A* і *A₁*. Ці точки розташовані на одному і тому ж рівні, відповідно, лінія, проведена через ці точки на поверхні пласта, буде являтися горизонтальною лінією, тобто *лінією простягання*. Вимірявши по карті кут між лінією простягання і північним напрямком, отримаємо азимут простягання пласта. В нашому прикладі він дорівнює ПнСх 40°.

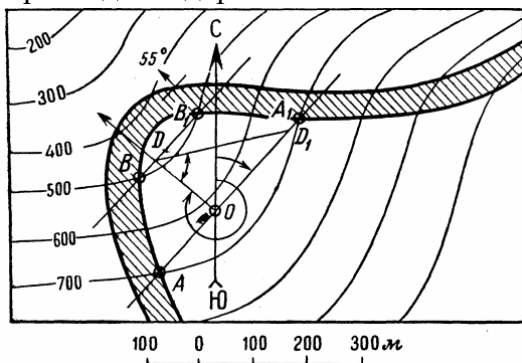


Рис. 10.4. Визначення елементів залягання пласта по геологічній карті
AA₁, BB₁ – лінії простягання пласта;
кут *COA₁* – азимут простягання пласта;
OD – лінія падіння пласта;
кут *CD₁OD* – азимут падіння пласта;
кут *D₁DO* – кут падіння пласта

2) Визначають напрям падіння пласта, для чого знаходять ще будь-яку лінію простягання, наприклад, яка проходить через висотну відмітку 500 м. На поверхні пласта можна провести скільки завгодно горизонтальних ліній, тобто ліній простягання, які розташованих на різних висотних відмітках. Друга лінія пройде через точки *B* і *B₁*. Лінія простягання *AA₁* має більшу висотну відмітку, ніж лінія *BB₁*, отже, пласт падає в напрямку від лінії *AA₁* до лінії *BB₁*. Лінія падіння перпендикулярна лінії простягання, тому побудувавши перпендикуляр до лінії *AA₁* в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 77

В умовах розчленованого рельєфу зображення антиклінальних і синклінальних складок на геологічній карті в принципі не відрізняється від описаного. При розчленованому рельєфі буде лише більш складний обрис граничних ліній пластів, які набувають вигляду зигзагоподібних або хвилястих ліній.

Лінія розриву пластів на геологічній карті зображується так само, як і гранична лінія пластів, тобто залежно від кута нахилу площини зміщувача і характеру рельєфу.

Скид або підкид при горизонтально залягаючих пластах на геологічній карті можна встановити за тією ознакою, що вздовж лінії порушення в безпосередньому контакті будуть знаходитись породи різного віку (рис. 10.7). В піднятому крилі при цьому будуть оголюватися більш древні породи внаслідок того, що верхні пласти піднятого крила підлягають розмиву в більшій мірі, ніж породи опущеного крила.

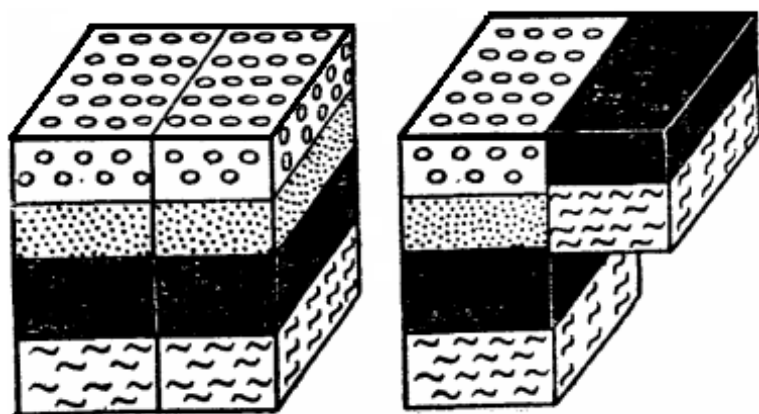


Рис. 10.7. Блок-діаграма, яка пояснює зображення скиду в горизонтально залягаючих пластах

1 – положення до скиду;
2 – положення після скиду і розмиву піднятого крила

При похилому заляганні пластів наявність скиду або підкиду на геологічній карті встановлюється за наступними ознаками: 1) по зміщенню виходів пластів вздовж лінії розриву; 2) подвоєнню або повторному виході пластів; 3) по зникненні виходу пласта, 4) по зміні простягання виходів пластів на карті (рис. 10.8).

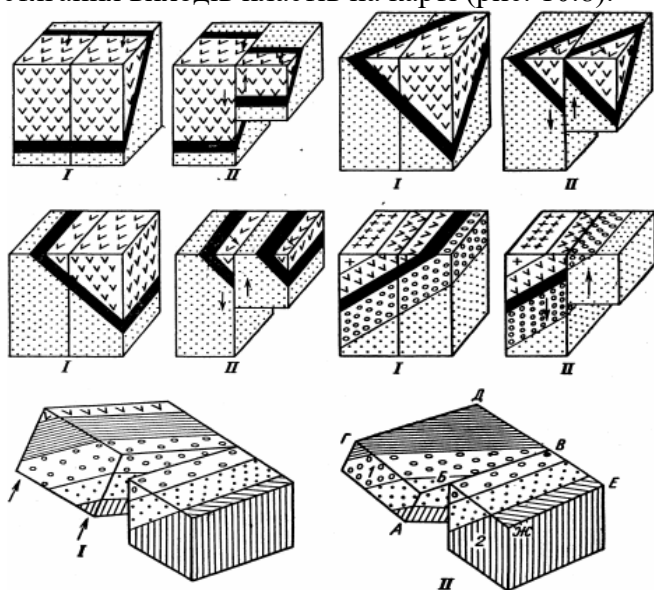


Рис. 10.8. Блок-діаграми, які пояснюють зображення скиду в похило залягаючих пластах на геологічній карті

I – положення до скиду;
II – положення після скиду і розмиву піднятого крила

Розривні порушення в умовах складчастого залягання порід встановлюються на геологічній карті за такими ж ознаками, що і при похилому заляганні пластів, оскільки будь-яку складку можна поділити на декілька ділянок з похилим заляганням пластів. Але розривні порушення в умовах складчастого залягання порід мають свої особливості, які зображуються на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 78
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

геологічній карті. Ці особливості видно на рис. 10.9: вздовж лінії простягання раптово змінюється ширина виходу пласта на карті.

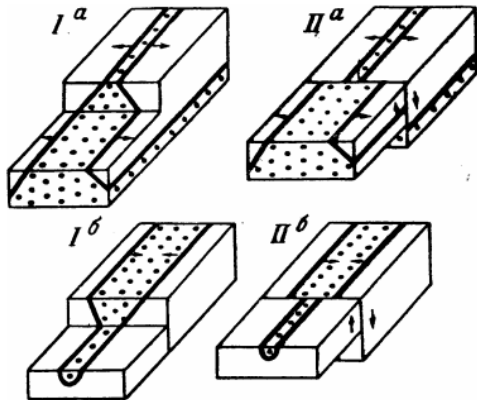


Рис. 10.9. Блок – діаграми, які пояснюють зображення на карті розривних порушень в умовах складчастого залягання порід
 I^a і $I^б$ – положення до скиду;
 II^a і $II^б$ – положення після скиду і розмиву піднятого крила

Горсти і грабени на геологічних картах розпізнаються за тим ж ознаками, що і скиди, так як являють собою їх комбінації. При наявності грабена на геологічній карті буде зображена площа витягнутої форми, яка в центрі складена більш молодими породами, ніж оточуючі. У випадку горста – в середній частині будуть древні породи.

Насув, як і підкид, зображується на геологічній карті лінією, яка відповідає перетину площини зміщувача із землею поверхнею. На відміну від підкиду, насув на геологічній карті має більш складні обриси ліній розриву. Це пояснюється тим, що площина зміщувача насуву має невеликий кут нахилу, тому на обрисах лінії насуву відчутний вплив рельєфу місцевості і, крім того, сама площина зміщувача насуву часто являє собою криволінійну поверхню.

10.3. Геологічний розріз і стратиграфічна колонка

Геологічна карта дає наглядну уяву про геологічну будову земної поверхні. Щоб зрозуміти які умови залягання порід на глибині, необхідно ретельно проаналізувати карту. Для полегшення читання геологічних карт вони завжди в обов'язковому порядку забезпечуються геологічними розрізами і стратиграфічними колонками.

Геологічний розріз являє собою проекцію на вертикальну площину, виконану у визначеному масштабі, граничних ліній порід і розривних порушень (рис. 10.10).

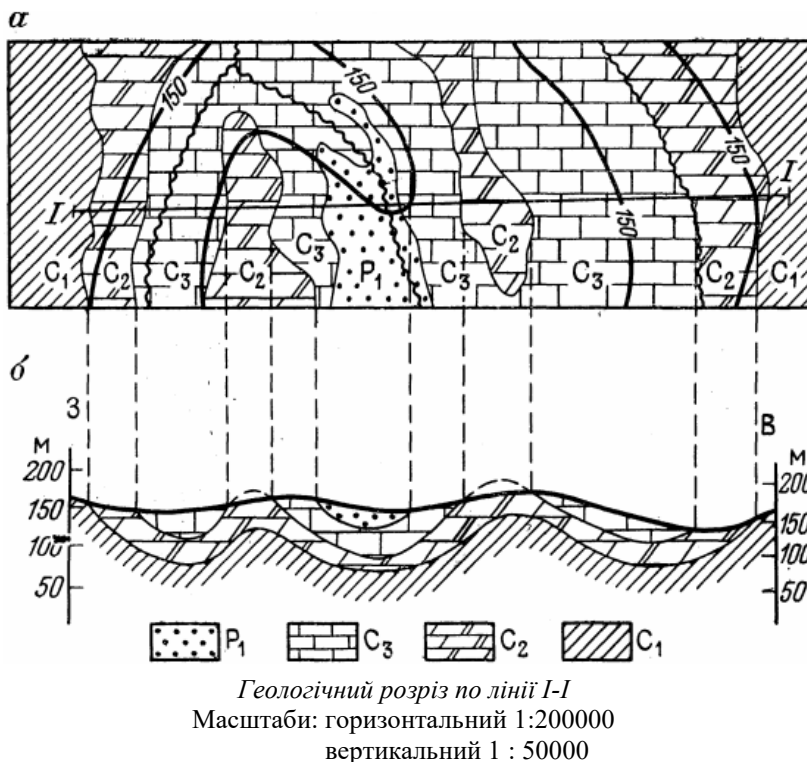


Рис. 10.10. Принцип побудови геологічного розрізу по геологічній карті:
 P_1 – нижній відділ пермської системи;
 C_3 – верхній відділ кам'яновугільної системи;
 C_2 – середній відділ кам'яновугільної системи;
 C_1 – нижній відділ кам'яновугільної системи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 79

Він дає наглядну уяву про умови залягання порід на глибині. За допомогою розрізів можна зобразити форму залягання порід на глибині, кути падіння пластів і їх зміщення з глибиною, дійсні потужності пластів, типи тектонічних порушень, показати породи, які в межах зображеної ділянки не виходять на поверхню і тому не отримали відображення на карті. При побудові розрізу також використовують дані по свердловинах, які пробурені на даній ділянці.

Лінію геологічного розрізу позначають на карті. Потім вздовж наміченої лінії розрізу викреслюють топографічний профіль по висотних відмітках, які визначені на карті. На кінцях розрізу вказується графічний вертикальний масштаб і буквені позначення положення розрізу відносно сторін світу. Розріз орієнтується таким чином, щоб з лівого боку розташовувалася його південно-західна, західна або північно-західна частини, а з правого боку відповідно – північно-східна, східна, південно-східна частини. Якщо розріз проходить точно по меридіану, то з правого боку розташовується північний кінець розрізу, а південний – з лівого.

Точки перетину геологічних границь пластів з лінією розрізу переносяться на профіль і відмічаються геологічні границі. В межах кожного шару вказують відповідні індекси. Геологічний розріз обов'язково підписують з вказанням чисельних масштабів – горизонтального і вертикального.

Якщо потужності пластів малі або кути падіння пластів невеликі, всього декілька градусів, то геологічна структура на розрізі буде виглядати негарно. Тому вертикальний масштаб часто вбирають в декілька раз крупніше, ніж горизонтальний (в 5–10 разів і більше). Кути падіння і потужності пластів на розрізах при цьому збільшуються, і структура виглядає наочніше, але дійсна картина залягання пластів спотворюється.

В нафтовій геології завжди користуються таким прийомом при зображенні нафто- і газонасичених пластів, так як їх потужності можуть бути всього лише декілька метрів, кути падіння 1-2°, а площа розповсюдження десятки і сотні квадратних кілометрів.

Розрізи із збільшеним вертикальним масштабом для зображення дійсних структур не застосовують.

Для того щоб геологічний розріз давав наглядну уяву про умови залягання порід на глибині, необхідно його будувати нахрест простягання, тобто в перпендикулярному напрямку до лінії простягання порід. Лише в цьому випадку розріз відобразить дійсні кути падіння і дійсні потужності пластів. Розріз, побудований в будь-якому іншому напрямку, покаже не дійсний кут падіння, а лише нахил пластів в даному перерізі. Якщо простягання пластів змінюється, то лінію розрізу роблять не прямою, а ламаною, яка складається з відрізків направлених нахрест простягання порід.

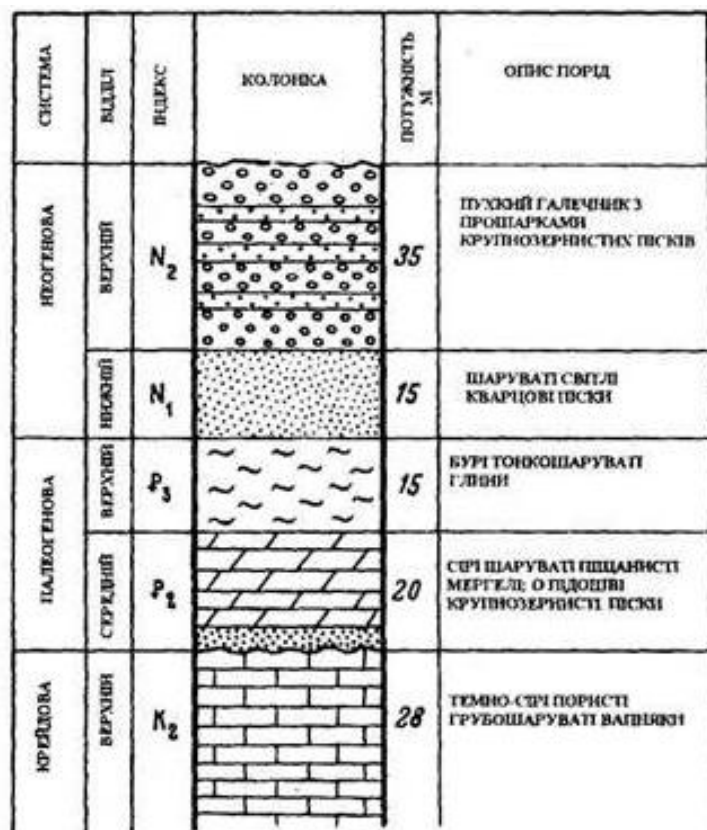
Коли розріз будують з метою, щоб показати особливості розривних порушень, то його проводять нахрест простягання зміщувача. Такий розріз може бути і не перпендикулярним до простягання порід.

При складній геологічній будові ділянки, яка зображена на геологічній, карта часто постається не одним, а декількома розрізами.

Стратиграфічна колонка являє собою графічне зображення послідовності залягання порід не порушеному розрізі (рис. 10.11).

В стратиграфічній колонці умовними знаками зображуються породи різного віку і складу в тій послідовності, в якій вони залягають в межах даної ділянки, незалежно від того, мають вони суцільне розповсюдження на даній території чи ні. Загальна довжина колонки не має перевищувати 40–50 см. Інтрузивні породи в колонці не вказують.

Стратиграфічна колонка, як і геологічний розріз, полегшують читання геологічної карти, так як дозволяє мати уяву про породи різного віку, які залягають на глибині, послідовність їх залягання, потужності різних товщ і пластів, їх склад, фауністичну характеристику, характерні особливості (наприклад, включення конкрецій або піриту в осадових породах) і т. д.



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

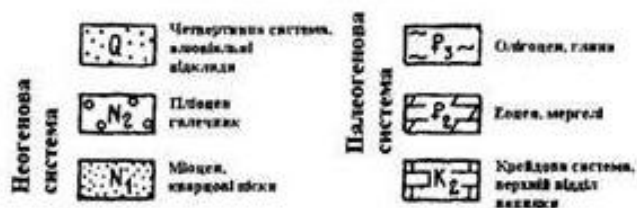


Рис. 10.11.
Стратиграфічна колонка

Питання для самоперевірки

1. Як проводять геологічну зйомку?
2. Назвіть різновиди геологічних карт.
3. Назвіть індекси, які прийняті для позначення геологічних систем.
4. Як виглядають на топографічній карті границі горизонтально і вертикально залягаючого пласта?
5. Що таке кут падіння, азимут падіння і простягання пласта?
6. Як визначити елементи залягання пласта на геологічній карті?
7. Як зображуються на карті антиклінальні і синклінальні складки?
8. Як зображуються на карті розривні порушення?
9. Як складають геологічний розріз?
10. Що таке стратиграфічна колонка?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 81
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

11. ОСНОВНІ АСПЕКТИ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

11.1. Інженерно-геологічні особливості гірських порід

Магматичні породи характеризуються наявністю жорстких кристалізаційних зв'язків між мінеральними зернами, що зумовлює їхню високу міцність і малу водопроникність у непорушеному стані. Показники тимчасового опору стиску зазвичай значно перевищують навантаження, характерні для інженерної практики, що визначає їх широке використання як надійних основ споруд. Водночас інженерно-геологічна оцінка повинна враховувати тріщинуватість, зони тектонічних порушень і ступінь вивітреності, які істотно знижують деформаційні та міцнісні характеристики масиву.

Серед інтрузивних порід найпоширенішими є граніти, гранодіорити, діорити та габроїди. Міцність гранітів на стиск змінюється у широких межах (переважно понад 100 МПа), а деформаційні властивості визначаються ступенем тріщинуватості. Водопроникність інтрузивних порід залежить від густоти та розкриття тріщин: слаботріщинуваті різновиди практично водонепроникні, тоді як тріщинуваті можуть мати значні коефіцієнти фільтрації.

Ефузивні породи (базальти, андезити) відзначаються різноманітністю структури й текстури, що зумовлює значну варіабельність фізико-механічних властивостей: від високоміцних мікрокристалічних до слабких пористих різновидів. Вулканічні туфи утворюють окрему групу з дуже широким діапазоном міцності.

Метаморфічні породи за фізико-механічними властивостями подібні до магматичних. Найміцнішими є кварцити (150-200 МПа). Гнейси та сланці характеризуються шаруватістю і сланцюватістю, що зумовлює анізотропію міцності та можливість зсувних деформацій по площинах нашарування. Контактково-метаморфічні породи (роговики, мармури) відзначаються високою щільністю та відносною однорідністю; мармури мають середній опір стиску близько 100 МПа. Динамометаморфічні породи (брекчії, мілоніти) є менш стійкими, схильними до вивітрювання та зсувів, тому розглядаються як несприятливі основи.

Інженерно-геологічні властивості зцементованих осадових порід визначаються гранулометричним складом, типом цементу та ступенем літифікації. Найміцнішими є кварцовий і залізистий цемент; карбонатний цемент характеризується високою міцністю, але розчиняється у воді; глинистий – маломіцний; гіпсовий – високорозчинний.

Сильнолітифіковані породи (конгломерати, кварцові пісковики) можуть мати опір стиску до 150-200 МПа, тоді як слабозцементовані різновиди – лише 1-25 МПа. Алевроліти й аргіліти утворюють перехідний ряд від слабоміцних до окварцованих різновидів із високою міцністю. Для них характерна схильність до вивітрювання та осипоутворення.

Серед хімічних і органогенних порід особливе значення мають карбонатні (вапняки, доломіти), сульфатні (гіпс, ангідрит), кременисті (опоки, трепел) і галоїдні породи. Карбонатні породи схильні до карстування. Міцність вапняків змінюється від 2–3 МПа (черепашники) до 100 МПа (дрібнозернисті різновиди). Доломіти зазвичай мають міцність 60–100 МПа. Гіпс і ангідрит небезпечні через розчинність та об'ємні зміни при гідратації. Опоки й трепели характеризуються високою пористістю, значним зниженням міцності при водонасиченні та низькою морозостійкістю.

Уламкові незцементовані породи поділяють на крупноуламкові та піщані. Їхні властивості визначаються гранулометричним складом, формою уламків, наявністю заповнювача пор і генезисом.

Крупноуламкові ґрунти (валунні, галькові, гравійні) без дрібнозернистого заповнювача мають високу водопроникність і незначну стисливість, але знижений опір зсуву при округлій формі уламків. Наявність пилювато-глинистого заповнювача зменшує коефіцієнт фільтрації та кут внутрішнього тертя. Інженерно-геологічні особливості значною мірою залежать від генетичного типу (пролювіальні, морські, алювіальні тощо).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 82

Піски характеризуються різною дисперсністю та структурою. Руслові піски добре відсортовані, водопроникні та анізотропні щодо фільтрації. Заплавні й старичні різновиди мають вищу стисливість і меншу водопроникність. Флювіогляціальні піски відзначаються значною пористістю та коефіцієнтом фільтрації до 10 м/добу; кут природного відкосу зменшується при насиченні водою.

За певних умов піски можуть переходити у пливунний стан. «Істинні пливуні» характеризуються високою водоутримувальною здатністю, малою водопроникністю, значною деформативністю та складністю осушення.

До зв'язаних ґрунтів належать лесові, глинисті та біогенні породи. Їхні міцнісні властивості істотно залежать від вологості та типу структурних зв'язків (іонно-електростатичних, капілярних, молекулярних).

Глинисті породи широко поширені й різноманітні за генезисом. Їхні властивості визначаються мінералогічним складом, ступенем літифікації та умовами залягання. Делювіальні глини схильні до зсувів, особливо при підрізанні схилів. Моренні глини відзначаються високою щільністю (пористість 25-35 %), малою стисливістю та значним опором зсуву, що зумовлює їх придатність як основ відповідальних споруд.

Стрічкові глини характеризуються високою пористістю (до 60-65 %), анізотропією фільтраційних і міцнісних властивостей та підвищеною деформативністю при навантаженні. Озерні та морські глини часто мають високу природну вологість і можуть бути схильними до зсувів.

Біогенні породи (торфи) – маломіцні, високопористі, водонасичені утворення, властивості яких залежать від ступеня розкладання та зольності. Для них характерні висока стисливість, значна усадка при висиханні та обмежена несуча здатність.

Лесові породи – пилювато-глинисті макропористі ґрунти континентального генезису, здатні до просідання при замочуванні. Вони характеризуються високим вмістом пилюватої фракції, наявністю карбонатів кальцію та анізотропією фільтраційних властивостей (вертикальна водопроникність перевищує горизонтальну).

Основною інженерно-геологічною ознакою лесів є просадність – здатність зазнавати додаткових вертикальних деформацій при зволоженні під навантаженням або від власної ваги. Коефіцієнт просадності може досягати значних величин; сумарна пористість – 30-64 %. При змочуванні спостерігається різке зниження кута внутрішнього тертя та зчеплення.

Під час проєктування споруд на лесових ґрунтах необхідно передбачати заходи щодо запобігання зволоженню, ущільнення або штучного закріплення масиву, а також здійснювати моніторинг осідань.

Штучні ґрунти формуються шляхом цілеспрямованої зміни структури та типу зв'язків у масиві. Застосовують методи цементації, силікатизації, бітумізації, електрохімічного закріплення, термічної обробки та введення хімічних реагентів.

Цементация та силікатизация забезпечують утворення кристалізаційних зв'язків і підвищення міцності та монолітності. Бітумізація й електрохімічні методи формують слабкі структурні зв'язки, зменшують водопроникність. Термічна обробка (300-400 °С) сприяє частковому «скам'янінню» дисперсних ґрунтів.

Хімічна модифікація (обробка солями, поверхнево-активними та кремнійорганічними сполуками) змінює водопроникність, пластичність і ущільнення ґрунтів. Таким чином, штучне закріплення є ефективним засобом підвищення надійності основ у складних інженерно-геологічних умовах.

11.2. Інженерно-геологічні явища і процеси

Суфозія – механічне винесення підземними водами дрібнозернистої фракції з шару неоднорідних за гранулометричним складом пісків. У результаті суфозії шар піску ущільнюється, а на поверхні утворюються провали – суфозійні воронки. Заходи боротьби із

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 83
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

суфозією спрямовані на зменшення величини критичного значення напірного градієнта, досягається це влаштуванням на шляху руху підземного потоку протифільтраційних завіс, відкачуванням зі свердловин, влаштуванням дренажних каналів тощо. У зоні розвантаження (виходу потоку) влаштовують зворотні фільтри.

Карст – хімічне розчинення гірських порід у земній корі та на її поверхні ґрунтовими водами, які рухаються по тріщинах у масивах карбонатних, сульфатних, солекам'яних і калійних порід. Розчинений матеріал виноситься з масиву в основу схилу і виклинується увигляді низхідного джерела. Розчинна здатність підземних вод підвищується з підвищенням температури і тиску. Крім того, вона залежить також від уже розчинених у воді газів і хімічних сполук.

Порівняно легко розчиняються кам'яна сіль, гіпси, ангідрити, вапняки, мармур, крейда, мергель. Унаслідок карстових процесів утворюються порожнини й печери в масиві, карстовий рельєф на поверхні у вигляді лійок, коритоподібних понижень, а також провалів.

Рівень ґрунтових вод в областях розвитку лійок і полів знижується, що призводить до зникнення рослинності та широкого розвитку процесів вивітрювання. Процес утворення карсту відбувається тим швидше, чим довший шлях фільтрації – від денної поверхні до рівня дренажу та вище тріщинуватості масиву (рис. 11.1).

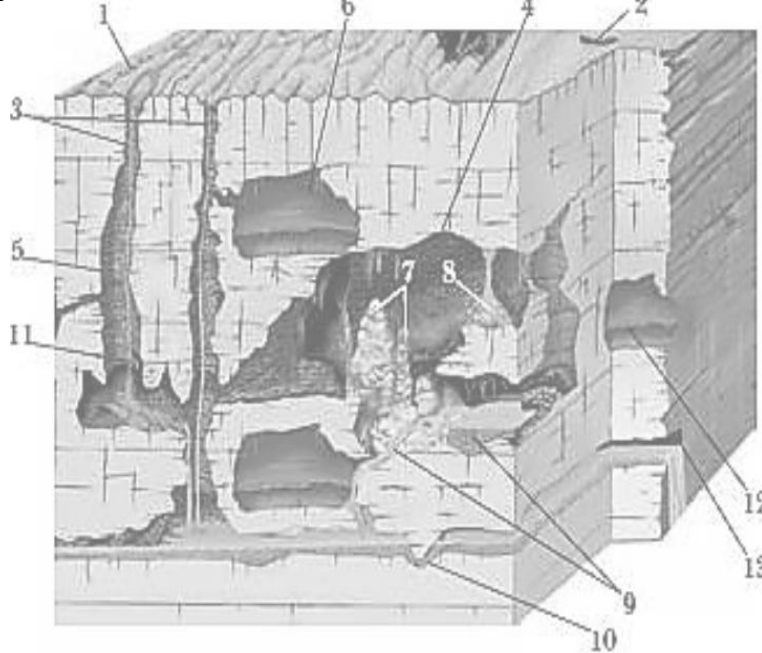


Рис. 11.1. Схема карстових процесів у гірському масиві

- 1 – кари;
- 2 – вирви;
- 3 – природні шахти;
- 4 – горизонтальні печери;
- 5 – вертикальна печера;
- 6 – сталактити;
- 7 – сталагміти;
- 8 – сталагнат;
- 9 – підземні річки та струмки;
- 10 – сифон;
- 11 – підземний водоспад; 1
- 2 – грот; 1
- 3 – вхід у печеру

Наявність карсту може призвести до порушення монолітності та стійкості порід, збільшення їхньої водопроникності та більшої обводненості.

Області розвитку карсту мають складні інженерно-геологічні умови і потребують ретельного вивчення, перш ніж зводити на схильних до розчинення породах певні споруди (будівлі, тунелі, залізничні колії та ін.).

Розробляють і застосовують комплексні заходи щодо закріплення ґрунтів, зменшення фільтрації в масиві. Залежно від виду ґрунтів масиву і ступеня їхньої тріщинуватості застосовують глинізацію, силікатизацію, бітумізацію тощо. На поверхні, у місцях виходу розчинних порід, застосовують покриття – замки з глини, бітуму або іншого матеріалу.

Пливуни – у будівництві та гірничій практиці пливунами називають тонко- і дрібнозернисті, пилюваті та сильно-пилюваті, водоносні піски, які під час розкриття котлованами або гірничими виробками внаслідок перепаду гідродинамічного тиску пливуть, тобто вони приходять у рух, набуваючи при цьому властивостей в'язкої рідини.

Обпливання може відбуватися як повільно товстим шаром, так і швидко і навіть катастрофічно швидко у вигляді прориву, як тільки їх розкривають і чим більше витягують ґрунт, тим більша кількість його надходить із дна і стінок.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 84

Якщо пливуні почали рухатися, значить, порушено їхню стійкість, порушено стійкість порід, що вміщують їх, схилів, укосів, зсувів, підземних виробок, територій і розташованих або тільки споруджуваних на них споруд.

Розрізняють пливуні фільтраційні (помилкові) і тиксотропні (справжні).

Фільтраційні пливуні виникають у разі зміни гідродинамічного режиму, що зазвичай відбувається під час відкачування води з котловану або траншеї. При знятті динамічного режиму вода освітлюється, піски осідають і навіть ущільнюються. Тиксотропні або справжні пливуні в тонкій фракції гранулометричного складу містять колоїди – частинки розміром менш як 0,1 мкм. Тому збвований із водою пливун має стійку колоїдну частину і не осідає протягом багатьох місяців. Водоутримувальна здатність їх досягає 240 %.

Головні специфічні властивості пливунів: приходять у пливунний стан при дуже низьких значеннях гідродинамічного тиску; погано віддають воду (вода каламутна, з мулистими частинками); при висиханні маса справжніх пливунів твердіє (за рахунок колоїдних зв'язків); перетворюються в рідину при невеликій вологості (приблизно 0,30); володіють властивостями тиксотропії (перетворюються в рідину при динамічних впливах).

Якщо при будівництві пливуні не оголюються, то вони можуть бути надійними основами споруд (витримують значні навантаження при незначних деформаціях). Якщо ж пливун розкритий котлованом, то він може повністю витекти в котлован, що приводить до суттєвого збільшення земляних робіт, а також до пошкоджень існуючих споруд внаслідок осідання поверхні.

Якщо інженерно-геологічними вишукуваннями виявлені пливуні, то під час будівництва в районах їх залягання застосовуються спеціальні методи підготовки основи: проходка пливунів палями або іншими фундаментами глибокого закладення; попереднє осушення пливунів: при коефіцієнті фільтрації $k_f > 1$ м/добу (помилкові пливуні) для цього застосовують відкачування води із свердловин, при $k_f = 0,2$ -1 м/добу – голкофільтри, а при $k_f < 0,2$ м/добу – електроосушення; зведення перепон на шляху виходу пливуну в котлован за допомогою шпунтового огороження або заморожування ґрунту.

Гравітаційні процеси на схилах і в котлованах проявляються коли в масиві ґрунту схилу або в шаруватій товщі порушуються сили зчеплення між частинками, тобто міцність породи. Зазвичай це буває при зволоженні порід у період або після рясного випадання опадів. Рухома сила тут гравітаційна і рух маси ґрунту, яка відірвалася, йде до базису (рівня) ерозії (до основи схилу). Розрізняють осипи, обвали та зсуви.

Осипи. Це схилі процеси, які у природних умовах характерні для скельних і грубоуламкових порід, коли при збільшенні сил зсуву відносно сил зчеплення (зазвичай через крутизну схилу понад 10-12 %) відбувається відділення уламків і їх осипання до кута природного відкосу. Це схилі делювій. Згодом такий схил задерновується, але будівельники повинні пам'ятати, що основою споруд у цих випадках мають бути виключно корінні породи, які непорушені рухом. У подальшому схилі делювій переходить у стійкі відклади (осови і куруми), якщо зберігається кут природного відкосу і задернованість.

Обвали. На відміну від осипів обвали мають кут відриву завжди більший за кут природного відкосу, що не забезпечує в подальшому стійкість схилу й обвали за нового ослаблення сил зчеплення триватимуть. Обвали зазвичай відбуваються під дією поштовху, який викликається атмосферними явищами (буря, сильна злива) або землетрусами, тобто природними або антропогенними (привантаження схилу) причинами. Характерною особливістю обвалів є обертання і перекидання відірваних мас.

У будівельних котлованах обвали стінок котлованів відбуваються з вини будівельників, коли близько від брівки котловану встановлюють монтажні крани, або проходять під'їзні шляхи, або складуються будівельні матеріали – тоді динамічне або статичне привантаження призводять до обвалу стінок котловану.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05-05.02/2/G16.00.1/Б/ОК10-2025 Арк 96 / 85
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

Зсуви. Зміщення називають зсувом при плавному або швидкому русі породи, що відірвалася, без обертання і перекидання. Характер зсуву залежить від будови схилу (рис. 11.2). Запропоновано розділяти зсуви на асеквентні, що утворюються в однорідних породах; консеквентні, що утворюються в неоднорідних і тріщинуватих породах, поверхня ковзання яких зумовлена будовою схилу, інсеквентні – утворюються при шаруватому горизонтальному заляганні порід. У цьому разі поверхня ковзання перетинає шари різного складу.

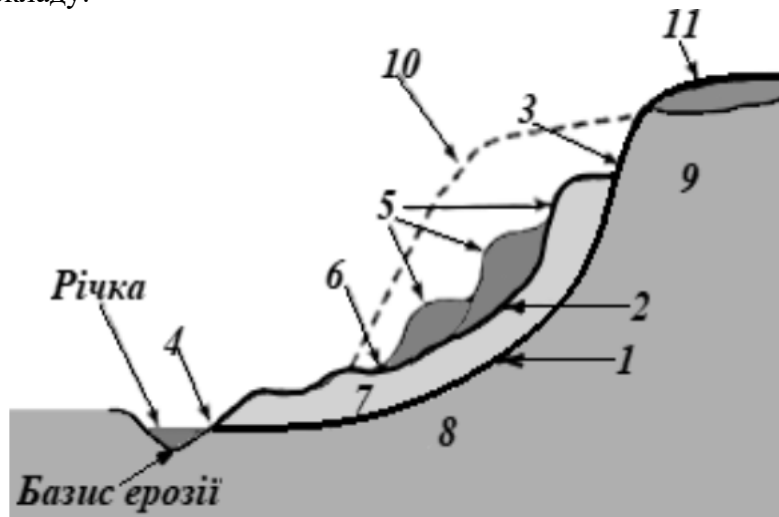


Рис. 11.2. Основні елементи зсувного цирку

- 1 – найглибша лінія ковзання;
- 2 – верхова лінія ковзання;
- 3 – зсувний уступ (урвище);
- 4 – "язик" зсуву;
- 5 – зміщені дрібні тіла;
- 6 – зсувні тераси;
- 7 – тіло зсуву;
- 8 – підстильні породи;
- 9 – породи зсувного схилу;
- 10 – форма схилу до зсуву ґрунту;
- 11 – делювій

Класифікація зсувів ґрунту:

1. За кутом поверхні ковзання: пологі – до 5° , круті – $5-15^\circ$, дуже круті – понад 15° .
2. За глибиною залягання поверхні ковзання: дрібні (опливини) – 0,5 м, неглибокі – до 5-8 м, глибокі – 10-20 м, дуже глибокі – понад 20 м.

Моніторинг гравітаційних процесів виконується спеціальними службами зсувної станції. До їхнього завдання входить геодезичне спостереження за зсувами, інформація про стан стабілізації або руху та складання прогнозів розвитку або стабілізації цих процесів.

Заходи щодо боротьби зі зсувами:

1. Пасивні – такі, що попереджають появу і розвиток гравітаційних процесів: забороняється вирубування лісу на схилах понад 10° ; забороняється зняття дерну; не допускається поздовжнє розорювання схилів і скидання промислових відходів на схил; забороняється підрізування схилів при терасуванні без укріплювальних робіт.

2. Активні заходи залежать від будови схилу: влаштування підпірних стінок і терасування за однорідних масивів ґрунту; зміцнення залізничними шпильками в разі пологих зсувах.

Усі заходи (як активні так і пасивні) мають супроводжуватися влаштуванням дренажних систем.

Селеві потоки або селі являють собою короточасні руйнівні потоки, які перевантажені грязьовокам'яним матеріалом. Виникають вони під час випадання рясних злив або інтенсивного танення снігу в передгірних і гірських районах у басейнах невеликих річок і логів із великим ухилом тальвега (понад 0,100) і ухилом річищ $> 0,020$ (іноді 0,350). Вони рухаються з великою швидкістю у вигляді одного або декількох послідовних валів. Величезна маса води спрямовується вниз ущелинами, змиваючи і захоплюючи по дорозі елювій і делювій. У результаті водний потік збагачується твердим матеріалом і перетворюється на грязьовокам'яний потік, який містить величезну кількість уламкового матеріалу, що часто досягає 75-80 % від загального обсягу. Величина уламків іноді може досягати декількох метрів у поперечнику.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 86

За переважанням матеріалу, що переноситься, розрізняють селі грязьові, грязьовокам'яні та водно-кам'яні. Поширені вони в Карпатах, горах Закавказзя, Середньої Азії, Південного Казахстану.

Селі мають велику руйнівну силу і часто мають спустошливий характер. Середня швидкість руху селю коливається часто від 2 до 8 м/с. Матеріал селів відкладається в передгірних рівнинах, перевантажуючи принесеним матеріалом корисні площі. Матеріал, що відкладається із селевих потоків називається пролювієм. Для нього характерна слабка відсортованість. Часто з ним пов'язані явища усадки.

У районах небезпечних сходженнями селів створюються спеціальні служби лавин, створюються селеспрямовувальні лотки, захисні греблі, дамби. У цих районах проводять роботи зі збереження і закріплення природних схилів, заборони вирубки лісів та ін. заходів; постійно ведеться моніторинг за станом схилів на небезпечних ділянках. Іноді для зміни напрямку селевого потоку змінюють рельєф місцевості.

Мерзлі породи – це природні мінерали й органо-мінеральні агрегати, що мають негативну температуру, містять лід і криогенні структурні зв'язки. Утворюються у верхньому шарі земної кори під час її короткочасного, сезонного та багаторічного промерзання.

За умовами залягання мерзлота може бути трьох видів: суцільна (злита) монолітна або шарувата за складом; мерзлота з острівцями талих ділянок (з таликами); острівна мерзлота, яка залягає у вигляді прошарків або лінз серед талих вод.

За тривалістю безперервного перебування в мерзлому стані породи поділяють на сезонномерзлі та багаторічномерзлі.

Грунт багаторічномерзлий (грунт вічномерзлий) це грунт, що перебуває в мерзлому стані протягом трьох і більше років.

Потужність шарів вічної мерзлоти від 1-2 м до декількох сотень метрів. Верхній шар вічномерзлих порід влітку відтає на невелику глибину, а взимку знову замерзає. Потужність цього шару, який називають діяльним, залежить від кліматичних умов, складу порід, характеру рослинності.

У будові мерзлої товщі беруть участь підземні води, які можуть утворювати три горизонти: горизонт надмерзлих вод – розташовується в основі діяльного шару; міжмерзлотні води – у таликах шаруватої мерзлоти; підмерзлотні води, що залягають під вічною мерзлотою.

Проектування фундаментів під час будівництва на мерзлих ґрунтах слід виконувати на основі результатів спеціальних інженерно-геокриологічних вишукувань з урахуванням конструктивних і технологічних особливостей проєктованих споруд.

Виймання корисних копалин із надр Землі викликає появу порожнин у товщах гірських порід. Поява вироблених просторів спричинює опускання вищележачих гірських порід. Це явище називають *зрушенням*.

На поверхні з'являється мульда зрушення – коритоподібна низина, розміри якої в плані перевищують розміри виробленого простору. Отже, вплив зрушення передається уверх під деяким кутом.

Зрушення гірських порід у більшості випадків не є процесом обвалювання якогось їх об'єму, воно проявляється у вигляді вигину пластів.

Величина осідання земної поверхні в межах мульди зрушення неоднакова. Її максимальна величина (в центральній частині мульди) досягає на Донбасі при пологому заляганні пластів 50-60 % потужності виробленого пласта, а при крутому (кут падіння більше 45°) – 30-50 % тієї ж потужності.

Характер зрушення гірських порід визначається: потужністю шару корисних копалин; параметрами простору підземної виробітки; кутом зсуву гірських порід; ступенем заповнення виробітки порожньою породою після завершення добування; геологічною

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 87

структурою порід, що перекривають виробку; швидкістю виїмки і засобами виробництва робіт.

Тривалість процесу зрушення земної поверхні, який проявляється як у вертикальних, так і у горизонтальних деформаціях, залежить головним чином від глибини розробок і може бути від декількох місяців до декількох років.

При проєктуванні будинків та споруд у районах гірничих розробок треба враховувати можливість виникнення значних деформацій цих споруд. Осідання споруд, що знаходяться в центральній частині мульди зрушення, відбувається більш-менш рівномірно. Споруди, що знаходяться в межах зовнішньої частини мульди, зазнають нерівномірних деформацій. При розробці крутопадаючих пластів з'являються досить значні тріщини на земній поверхні, які можуть призвести до повного руйнування споруд.

Питання для самоперевірки

1. Яке значення інженерної геології для господарської діяльності людини?
2. Які основні завдання інженерної геології при проєктуванні та будівництві споруд?
3. Чим відрізняються поняття «грунт» в інженерній геології та в загальній геології?
4. Які основні фізичні властивості ґрунтів (щільність, вологість, пористість) і як вони впливають на стійкість споруд?
5. Які механічні властивості ґрунтів (міцність, стисливість, пластичність) враховуються під час інженерно-геологічних розрахунків?
6. Яку роль відіграють підземні води в інженерно-геологічних умовах території?
7. Які інженерно-геологічні процеси та явища можуть становити небезпеку для будівництва (зсуви, карст, просідання)?
8. З яких етапів складаються інженерно-геологічні вишукування?
9. Які методи польових і лабораторних досліджень застосовуються в інженерній геології?
10. Які заходи інженерного захисту територій застосовуються для запобігання небезпечним геологічним процесам?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 88

12. ОСНОВИ ГІДРОГЕОЛОГІЇ

12.1. Загальні відомості про підземні води

Підземними водами називають всі води, заповнюють пори, тріщини і пустоти в пухких і щільних гірських породах.

За походженням підземні води поділяють на:

- *вадозні* (інфільтраційні), які виникають в результаті просочування із земної поверхні атмосферних опадів і конденсації парів атмосферного повітря в порах і тріщинах гірських порід в місцях їх виходу на поверхню;
- *седиментогенні* (відроджені) – утворилися при відтисканні води з відкладу в процесі його перетворення в ущільнену породу;
- *ювенільні* – за рахунок парів води, які виділились з підземних осередків розплавленої магми.

Головними водами у формуванні підземних вод є вадозні.

В гірських породах вода (крім льоду) може бути присутня в трьох фізичних станах: в формі водяної пари, власне рідкої і поверхнево-зв'язаної води.

Пари води завжди містяться в повітрі, яке заповнює не зайняті водою пори або тріщини гірських порід. Залежно від конкретних умов пари води то конденсуються в рідку воду, то знову утворюються при її випаровуванні. Іноді в пустелях конденсація водних парів з повітря призводить до формування приповерхневих підземних вод, а в вулканічних областях – до утворення підземних резервуарів перегрітого повітря.

Власне рідка вода заповнює порівняно великі пори, пустоти і тріщини в гірських породах і відіграє основну роль в формуванні підземних вод. В своєму русі вона підлягає силі тяжіння, тому її ще називають *вільна*, або *гравітаційна* вода. *Поверхнево-зв'язана*, або *сорбована*, вода утримується на поверхні гірських порід силами молекулярного тяжіння.

Водопроникність, тобто здатність гірської породи пропускати воду по порах і тріщинах, має велике значення в формуванні підземних вод. Всі гірські породи поділяються на водопроникні, або *водоносні* (пухкі, пористі, тріщинуваті), і *водотривкі* (масивні скельні породи, глини). Водопроникність визначається не сумарним об'ємом пор в породі, а їх формою і розмірами, які мають забезпечувати вільне пересування води. Наприклад, пористість глин 50–60%, але вони водонепроникні, так як їх пори надзвичайно тонкі і вода не може переміщуватися в них під впливом сили тяжіння. Галечники і крупнозернисті піски з пористістю 20% володіють найбільшою водопроникністю.

Для оцінки водопроникності, окрім характеру пористості, має значення і напір, при якому фільтрується вода. Тому для порівняльної характеристики водопроникності гірських порід використовують коефіцієнт водопроникності, або *коефіцієнт фільтрації* (вимірюється в метрах за добу), який характеризує швидкість фільтрації води через дану породу при визначеному напорі. Коефіцієнт фільтрації глин складає 0,001 м/добу, дрібнозернистих пісків 1–5 м/добу, середньозернистих 5–15 м/добу, крупнозернистих 15–50 м/добу, галечників 100–200 м/добу.

Вологоємність – це здатність гірських порід поглинати і утримувати в собі певну кількість води. Більшість глин мають дуже велику вологоємність (1м³ поглинає до 525 л) і мізерну водовіддачу. При намоканні водотривкі властивості глин посилюються. Максимальною водовіддачею володіють крупноуламкові відклади, сильно пористі і сильно тріщинуваті породи.

12.2. Типи підземних вод

Води атмосферних опадів, які потрапляють в гірські породи, рухаються зверху вниз, поступово заповнюючи пори в водопроникних породах. Накопичуючись над водотривкими

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 89
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

породами, вони утворюють постійні скупчення, які ізольовані одні від одних і називаються *водоносними горизонтами*.

За умовами залягання розрізняють декілька типів підземних вод: поверхнево-грунтові, верховодка, ґрунтові, карстові, тріщинні, міжпластові (безнапірні і артезіанські).

Поверхнево-грунтові води приурочені до ґрунтового шару на поверхні землі. Вода заповнює волосяні або капілярні пори, тріщинки і утримується від просочування на глибину силами поверхневого натягу.

Верховодка – періодично існуючі (під час рясних опадів або танення снігів) підземні води, які залягають поблизу поверхні у вигляді лінз над відносно водотривкими прошарками.

Ґрунтові води – води першого від поверхні постійного водоносного горизонту, який залягає на першому водонепроникному шарі. Зверху ґрунтові води суцільно не перекриті водотривкими породами і безпосередньо живляться атмосферними опадами. Їх верхнім обмеженням є власна поверхня, яку називають *дзеркалом ґрунтових вод*.

Ґрунтові води використовують для питних цілей і господарських потреб. На рисунку 12.1 показана свердловина, з якої проводять відкачування води. При цьому рівень понижується, і в зоні біля свердловини розвивається депресійна лійка. Якщо відкачування здійснюється водозабором з багатьох свердловин, радіуси депресійних лійок перекривають одні одних, дебіти свердловин зменшуються, і водоносний пласт виснажується. Для спостереження за положенням дзеркала ґрунтових вод бурять спеціальні спостережні свердловини. Не допустити виснаження горизонтів підземних вод – важлива задача.

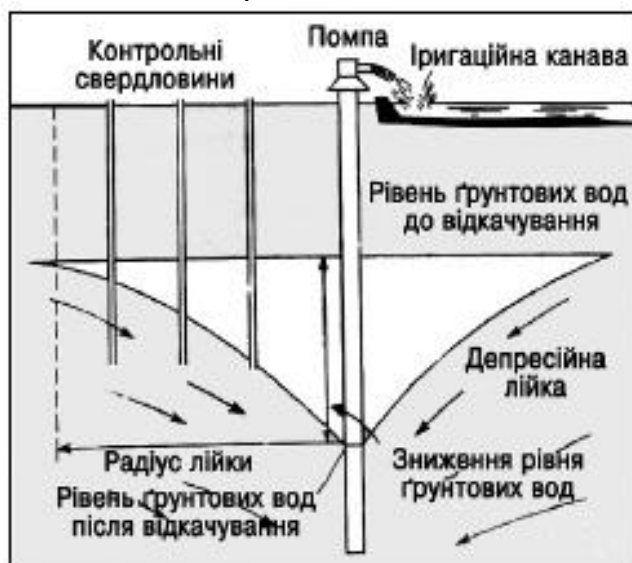


Рис. 12.1. Депресійна лійка в дзеркалі ґрунтових вод навколо свердловини

Карстові води приурочені до пустот і тріщин вапнякових масивів. Їх часто називають тріщино-карстовими водами, і вони можуть вимивати у вапняках величезні порожнини довжиною сотні метрів і висотою до 90 м (Мамонтова печера в США). Відомі карстові поля з протяжністю ходів в десятки кілометрів, і глибиною печер до 1,5 км.

Тріщинні води циркулюють по складній сітці тріщин в масивах магматичних і метаморфічних порід, і, як правило, не утворюють узагальнених водоносних горизонтів. В зонах тектонічного дроблення вони можуть проникати на велику глибину. Підземні води, які поступають в тріщини гірських порід з великих глибин, дуже часто несуть з собою в розчиненому стані солі різних металів. Із зменшенням глибини і температури вод відбувається осідання солей, внаслідок чого утворюються гідротермальні родовища срібла, золота, свинцю, міді, цинку та ін.

Міжпластові (пластові) води залягають нижче горизонту ґрунтових вод, між водотривкими пластами. Розрізняють безнапірні і напірні (артезіанські) пластові води. Область розповсюдження одного або декількох напірних горизонтів називається

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 90
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

артезіанським басейном (рис. 12.2). Залежно від напору вод будь-яка точка артезіанського басейну характеризується гідростатичним тиском і п'єзометричним рівнем.

П'єзометричним рівнем називається рівень води, який встановлюється в свердловині після розкриття водоносного горизонту. *Гідростатичним тиском* називається тиск стовпа рідини між п'єзометричним рівнем і покрівлею водоносного горизонту.

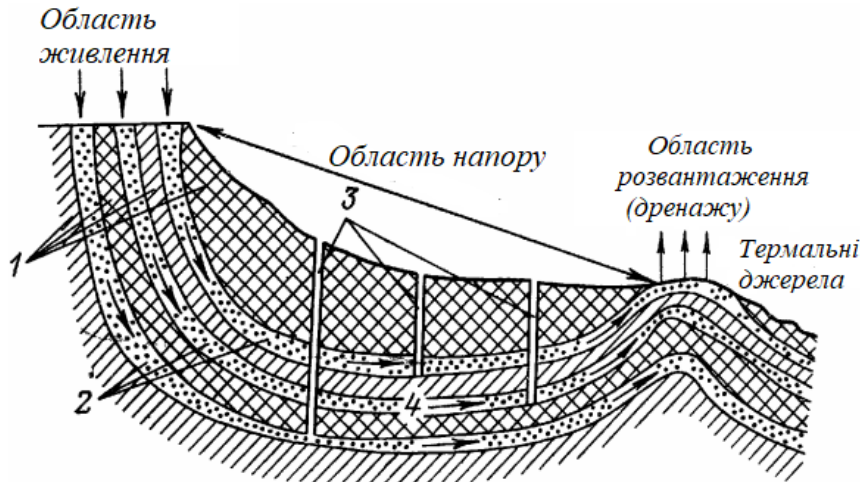


Рис. 12.2. Схема будови артезіанського басейну

1 – водонепроникні породи;
2 – водопроникні пласти с напірною водою;
3 – фонтануючі свердловини;
4 – напрям стоку підземних вод

В районах розвитку багаторічної мерзлоти на глибині зустрічаються потужні непроникні прошарки мерзлих порід, які є водотривами. Між ними розташовуються переохолоджені міжмерзлотні води, які можуть набувати місцевий напір, хоча насправді ці води – ґрунтові.

12.3. Мінеральний склад підземних вод

Підземні води циркулюють по тріщинах і порах гірських порід, внаслідок чого збагачуються різними мінеральними сполуками. Залежно від кількості розчинених солей в 1 л води вони поділяються на:

- 1) прісні – розчинено до 1 г солей;
- 2) слабо мінералізовані (солонуваті) – від 1 до 3 г;
- 3) середньо мінералізовані (солоні) – від 3 до 10 г;
- 4) сильно мінералізовані (підвищеної солоності) – від 10 до 50 г;
- 5) розсоли – більше 50 г.

Залежно від вмісту карбонатів підземні води поділяють на м'які (з малим вмістом карбонатів) і жорсткі (з підвищеним їх вмістом).

Води, які використовують в лікувальних цілях, завдяки підвищеному вмісту будь-яких хімічних компонентів, газів або підвищеної радіоактивності, називаються мінеральними. Ступінь їх мінералізації досить різна, іноді складає всього 0,5 г/л. На місці виходів мінеральних вод, що містять в своєму складі лікувальні речовини, побудовано багато санаторіїв.

Мінеральні води також поділяються на холодні – температура до 20°C; теплі – від 20 до 37°C; власне термальні – від 37 до 42°C; гарячі – температура більше 42°C.

Природний вихід підземних вод на поверхню називається **джерелом**. Джерела можуть бути висхідними (виходять назовні з напором) і низхідними. Джерела з високою температурою води називаються гарячими, або *термальними* (див. рис. 8.2). Температура води в них досягає 100°C.

12.4. Води нафтових родовищ

Підземні води відіграють велику роль в формуванні і збереженні родовищ нафти і газу.

Нафта спливає на воді, тому що її питома вага менша питомої ваги води. Якщо на шляху руху нафти зустрічається водотривкий шар, то утворюється нафтовий поклад. Підземні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 91
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

води, які підстиляють нафтовий поклад, запечатують її і не дають можливості мігрувати далі.

В нафтах більшості покладів розчинені гази: метан і його похідні (етан, пропан, бутан), азот, вуглекислий газ, сірководень і деякі інші, тобто ті ж гази, які розчинені і в підземних водах. Зазвичай в нафтах переважають вуглеводневі гази, але не завжди. Бувають випадки, коли більшу частину розчинених газів складає, наприклад, азот.

Газ, який виділився з нафти може накопичуватися в верхній частині пастки, утворюючи при цьому газову шапку. Деколи газова шапка являє собою самостійний поклад, настільки вона велика, а нафта утворює лише невеликий шар. Зазвичай в верхній частині пастки розміщується газ, а нижче нафта, яка підпирається пластовою водою (рис. 12.3).

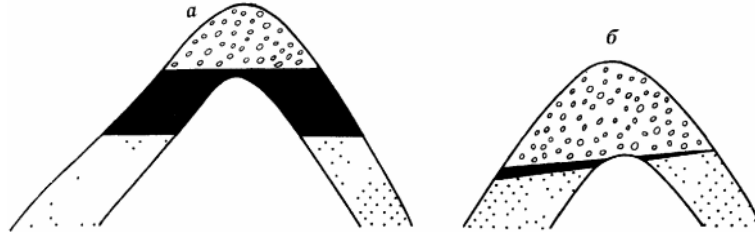


Рис. 12.3. Умови залягання газу, нафти і води в пастці

а – поклад нафти з газовою шапкою; б – поклад газу з нафтовою облямівкою

Поверхня, яка розділяє нафту і воду, називається *поверхнею водо-нафтового контакту* (ВНК). Вона може мати різну форму. В покладах, приурочених до структурних пасток, при їх повному заповненні вона може мати кільцеподібну форму в плані. При цьому лінія перетину поверхні ВНК з покрівлею пласта називається зовнішнім контуром нафтоносності, а лінія перетину поверхні ВНК з підшовою пласта – внутрішнім контуром нафтоносності.

Контакт нафти і води в більшості покладів наближається до горизонтальної поверхні. Але часто бувають випадки, коли поверхня ВНК має похиле положення. На положення поверхні ВНК впливає цілий ряд факторів, і основним є рух води, адже поклад нафти в пастці омивається пластовою водою. Потік рухомої води може бути настільки інтенсивним, що призведе до зміщення покладу, яке може сягати десятків метрів. Трапляється, що зміщення покладів настільки значне, що вони ніби повисають на крилах складки. Їх так і називають висячими (приклад приведений на рис. 8.4). Такі поклади відомі в Скалистих горах в США, на Апшеронському півострові в Азербайджані.

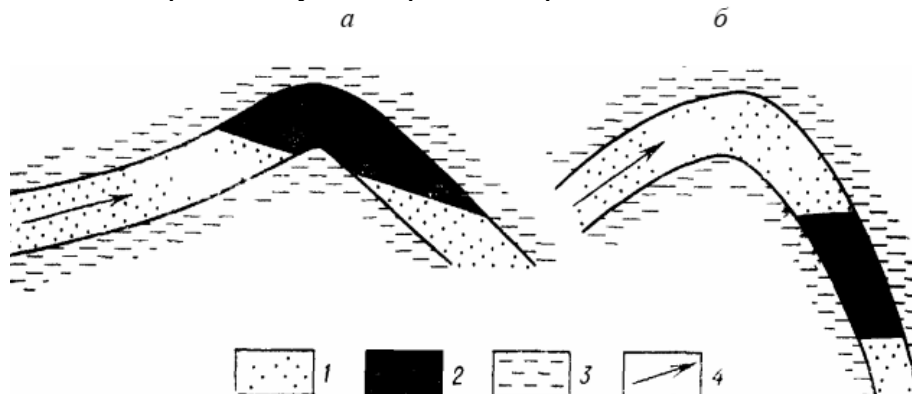


Рис. 12.4. Зміщення покладу нафти рухомими водами

а – поклад з нахилом ВНК; б – висячий поклад 1 – водоносний горизонт; 2 – нафтовий поклад; 3 – водотриви; 4 – напрям руху підземних вод

Декілька покладів, які пов'язані загальною ділянкою земної поверхні і приурочені до одної тектонічної структури, утворюють родовища нафти. Зустрічаються родовища, в яких є лише один або два-три поклади, але більшість родовищ багатопластові. При розвідці і розробці нафтових родовищ дуже важливо знати, як розподіляються води відносно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025 Арк 96 / 92
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	

покладу, особливо в багатопластових родовищах. Адже між покладами можуть знаходитися і водоносні горизонти. Окрім того, деколи розбите тектонічними порушеннями, по яких циркулюють води. І в самому покладі співвідношення нафти і води може бути різноманітним. Класифікація пластових вод, яка прийнята в нафтопромисловій геології показана на рис. 12.5.

Якщо пласт повністю насичений нафтою на всю потужність, ВНК буде мати форму кільця, внутрішня частина якого називається внутрішньо контурною зоною. Самі води, які підстеляють поклад, називаються *нижніми крайовими* водами. Не часто, але все ж таки буває, що поклад не тільки підстеляється, але в верхній частині пласта вище нафти і перекривається пластовою водою. Ці води називаються *верхніми крайовими* водами. Поява верхніх крайових вод може бути пов'язана з тим, що пласт був розмитий, його головна частина зруйнована, і в нього просочилися ґрунтові і поверхневі води. Якщо води підстеляють поклад по всій його площі, їх називають *підшововими*.

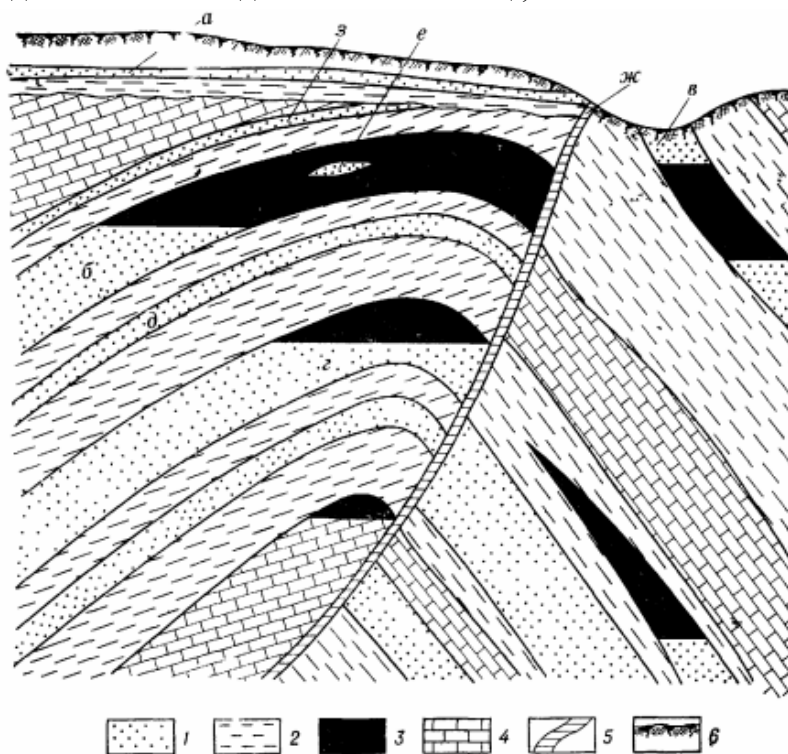


Рис. 12.5. Промислова класифікація підземних вод

- а – ґрунтові води;
- б – нижні крайові води;
- в – верхні крайові води;
- г – підшовові води;
- д – нижні води;
- е – води, які залишилися в частині нафтового пласта з поганими колекторськими властивостями,
- ж – тектонічні води;
- з – верхні води
- 1 – пісковики;
- 2 – глини;
- 3 – нафта;
- 4 – вапняки;
- 5 – розривне тектонічне порушення;
- 6 – ґрунтовий шар

Припустимо, що вище нафтового покладу розташований водоносний горизонт. Відповідно, відносно до покладу води цього горизонту будуть верхніми. Якщо водоносний горизонт розташований нижче покладу, то води цього горизонту будуть нижніми. В багатопластовому родовищі верхні води для одного покладу можуть одночасно бути нижніми для нафтового пласта, який залягає вище.

Зустрічаються поклади з дуже мінливими колекторами, пористість і проникність яких сильно змінюються, причому ця зміна призводить до появи ділянок в самому покладі, де простір пор заповнений не нафтою, а водою. Ймовірно, коли нафта заповнювала пастку, вона не змогла витіснити всю воду з лінз із поганими колекторськими властивостями, і вода залишилася в покладі.

Підземні води, які циркулюють по розривних тектонічних порушеннях, називають *тектонічними*.

В процесі буріння в нафтовий пласт може потрапи вода із свердловини, яку в цьому випадку відносять до технічної води.

Мінералізація пластових вод нафтових і газових родовищ змінюється в широких межах і збільшується з глибиною. Як правило, це концентровані розсоли з вмістом розчинених речовин до 400 г/л. В'язкість води зменшується з ростом температури і зростає із

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 93

збільшенням її мінералізації. В'язкість води менша в'язкості нафти, і вода намагається прорватися до свердловин по високо проникних прошарках раніше нафти. При цьому в надрах залишаються великі цілики насичених нафтою порід, в зв'язку з чим кінцевий відсоток вилучення нафти зменшується. Під час розробки родовища неминуче відмічається обводнення продукції, вміст води в нафті поступово збільшується аж до 99 %. В зв'язку з цим виникає проблема утилізації розсолів, так як їх викид в поверхневі водойми заборонений. Приходиться на родовищі бурити спеціальні нагнітальні свердловини і закачувати супутні води на глибину. Закачування назад пластових вод сприяє підтримці пластового тиску в покладі.

Як видно, вода в надрах землі всюди супроводжує нафту. По-перше, нафтовий поклад є частиною водонапірного комплексу, а в цілому і всієї водонапірної системи гідрогеологічного басейну. По-друге, вода є і в вже сформованому покладі нафти. Дуже важливо відмітити, що природні флюїди (вода, нафта і газ) тісно взаємодіють між собою, в результаті чого утворюється складне в фізико-хімічному відношенні середовище, причому все зміни цього середовища позначаються на кожному з перерахованих флюїдів. І, на завершення, навіть при розробці ми повинні враховувати вплив природних підземних вод, а також вод, які закачуються в пласт.

Питання для самоперевірки

1. Як поділяють підземні води за походженням?
2. Що таке коефіцієнт фільтрації?
3. Що таке депресійна лійка?
4. Назвіть типи підземних вод.
5. Нарисуйте схему артезіанських пластових вод.
6. Який мінеральний склад підземних вод.
7. Яке співвідношення нафти, газу і води в пастках?
8. Розкажіть про промислову класифікацію підземних вод.
9. Що таке водо-нафтовий контакт?
10. Куди дівають видобуті разом з нафтою пластові води?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 94

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Бортник С.Ю., Ковтонюк О.В., Погорільчук Н.М. Основи загальної геології: навчальний посібник-практикум. Київ, 2022. 164 с. Режим доступу URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2023/04/posibnyk-praktykum-pogorilchuk_bortnyk2022.pdf
2. Вольченкова А.В. Геологія нафти і газу: навч. посібник. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2025. 201 с. Режим доступу URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/>
3. Іванік О.М. Загальна геологія. Навчальний посібник. Київ, 2020. 205 с. Режим доступу URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/General_geology_Ivanik_Menasova_Krochak.
4. Михайлов В.А. Стратегічні корисні копалини України та їхня інвестиційна привабливість : монографія. К. : ВПЦ "Київський університет", 2023. 371 с. Режим доступу URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Stratehichni_Korysni_Kopalyny.pdf
5. Остафійчук Н. Башинський С., Підвисоцький В., Припотень Ю., Колодій М. Практикум з інженерної геології: навчальний посібник. Електронні дані. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. 135 с. Режим доступу URL: <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=4166>
6. Митрохин О.В. Польовий визначник гірських порід. Навчальний посібник. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2024. 95 с. Режим доступу URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/Mytrokhyn_2024.pdf
7. Чернега П.І., Годзінська І.Л. Загальна геологія: практичний курс : навчальний посібник. Чернівці : Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2022. 140 с. Режим доступу URL: <https://terra.chnu.edu.ua/zagalna-geologiya-praktychnyj-kurs-navchalnyj-posibnyk/>
8. Янко В.В., Кравчук Г.О. Загальна геологія. Навчально-методичний посібник для бакалаврів спеціальності 103 «Науки про Землю». Одеса: ОНУ, 2023. 129 с. Режим доступу URL: <https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/>

Допоміжна література

1. Богуцький А. Геологія загальна та історична. Лабораторний практикум : навч. посібник / А. Богуцький, А. Яцишин, Р. Дмитрук, О. Томенюк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018, 138 с. Режим доступу URL: https://geography.lnu.edu.ua/wpcontent/uploads/2015/03/2018_Bogucki_et_al_Geology.pdf
2. Єгупов В. Ю. Інженерна гідрогеологія : навч. посіб. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Харків. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 287 с. Режим доступу URL: <https://eprints.kname.edu.ua/5>. Борзяк. О. С. Інженерно-геологічні дослідження для будівництва: Навч. посіб. / О. С. Борзяк, В. А. Лютий, О. В. Романенкота ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 100 с. Режим доступу URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/>
3. Зоценко М.Л. Основи гідрогеології та інженерної геології: навч. посібник. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. 258 с. Режим доступу URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream>
4. Ягольник А.М. Основи історичної геології: навч. посібник / А.М. Ягольник, Ю.В. Лазебна. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. 143 с. Режим доступу URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/>

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Освітній портал Державного університету «Житомирська політехніка». Режим доступу URL: <http://learn.ztu.edu.ua>.
3. Оглядові геологічні карти. Режим доступу URL: <https://data.gov.ua/en/dataset/a0bfef42-e614-44aa-9219-6a4af55081d6/resource/0a878eda-8c29-4cfe-bd3a-4e732976da85>
4. Географічні карти України. Режим доступу URL: <https://geomap.land.kiev.ua/>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ OK10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 95

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОЛОГІЮ	3
1.1. Геологія, об'єкти її досліджень та завдання.	
Галузі геології, їх зв'язки з іншими науками	3
1.2. Основні поняття і терміни геології	4
1.3. Історія та етапи розвитку геологічних знань.	
Розвиток геологічних знань в Україні	5
Питання для самоперевірки	7
2. БУДОВА ЗЕМЛІ	8
2.1. Земля в космічному просторі	8
2.2. Геосфери Землі	9
Питання для самоперевірки	14
3. ОСНОВИ МІНЕРАЛОГІЇ ТА КРИСТАЛОГРАФІЇ	15
3.1. Кристалічна структура	15
3.2. Хімічна класифікація мінералів	18
3.3. Фізичні властивості мінералів	20
3.4. Геологічні процеси утворення мінералів	21
Питання для самоперевірки	22
4. ЧАС В ГЕОЛОГІЇ	23
4.1. Етапи еволюції Землі	23
4.2. Розвиток життя на Землі	26
4.3. Вископна фауна і флора	27
4.4. Вік гірських порід	28
Питання для самоперевірки	31
5. ЕНДОГЕННІ ПРОЦЕСИ	32
5.1. Магматизм	32
5.2. Продукти і типи вулканічних вивержень, приклади вулканічної діяльності	33
5.3. Типи метаморфізму	36
5.4. Тектонічні рухи земної кори	38
5.5. Сейсмічні явища	40
5.6. Глобальна тектоніка Землі (тектоніка плит)	41
Питання для самоперевірки	43
6. ЕКЗОГЕННІ ПРОЦЕСИ	44
6.1. Процеси та явища	44
6.2 Процеси вивітрювання	44
6.3 Геологічна діяльність вітру	45
6.4 Геологічна діяльність текучих вод	46
6.5 Геологічна діяльність річок	47
6.6 Геологічна діяльність моря	49
6.7 Геологічна діяльність озер і боліт	50
6.8. Геологічна діяльність льодовиків	51
Питання для самоперевірки	53

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-23.05- 05.02/2/G16.00.1/Б/ ОК10-2025
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 96 / 96

7. ГІРСЬКІ ПОРОДИ	54
7.1. Магматичні гірські породи	54
7.2. Метаморфічні породи	56
7.3. Осадкові гірські породи	57
Питання для самоперевірки	61
8. КОРИСНІ КОПАЛИНИ ТА МЕТОДИ ПОШУКІВ ЇХ РОДОВИЩ	62
8.1. Поняття та класифікація корисних копалин	62
8.2. Методи пошуків і розвідки родовищ	63
8.3. Етапи геологорозвідувальних робіт	64
8.4. Запаси корисних копалин	65
Питання для самоперевірки	67
9. ГЕОЛОГІЯ НАФТИ І ГАЗУ	68
1. Загальні відомості про поклади нафти і газу в земній корі	68
9.2. Генезис нафти і газу	69
Питання для самоперевірки	71
10. ГЕОЛОГІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ	72
10.1. Геологічна зйомка	72
10.2. Геологічні карти, індекси і умовні позначення	72
10.3. Геологічний розріз і стратиграфічна колонка	78
Питання для самоперевірки	80
11. ОСНОВНІ АСПЕКТИ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ	81
11.1. Інженерно-геологічні особливості гірських порід	81
11.2. Інженерно-геологічні явища і процеси	82
Питання для самоперевірки	87
12. ОСНОВИ ГІДРОГЕОЛОГІЇ	88
12.1. Загальні відомості про підземні води	88
12.2. Типи підземних вод	88
2.3. Мінеральний склад підземних вод	90
12.4. Води нафтових родовищ	90
Питання для самоперевірки	93
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	94