

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від 24 травня 2023 р.
№ 8

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з навчальної дисципліни «ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

Рекомендовано на засіданні
кафедри гірничих технологій та
будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
17 квітня 2023 р., протокол № 5

Розробники:

ст. викладач кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
ОСТАФІЙЧУК Неля

д.геол.н., професор кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф.
Бакка М.Т. ПІДВИСОЦЬКИЙ Віктор

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

Житомир
2023

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 2

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ГЕОЛОГІЇ.....	6
1.1. Планета Земля.....	6
1.2. Геологічний час і вік гірських порід.....	9
1.3. Мінерали.....	11
1.3.1. Класифікація мінералів.....	11
1.3.2. Фізичні властивості мінералів.....	12
1.4. Гірські породи.....	14
1.4.1 Магматичні гірські породи.....	14
1.4.2 Осадові породи.....	17
1.4.3. Метаморфічні гірські породи.....	20
2. ЕНДОГЕННІ ПРОЦЕСИ.....	22
2.1. Тектонічні рухи земної кори.....	22
2.2 Сейсмічні явища.....	24
2.3. Глобальна тектоніка Землі (тектоніка плит).....	27
3. ПРОЦЕСИ ЗОВНІШНЬОЇ ДИНАМІКИ ЗЕМЛІ.....	29
3.1. Процеси та явища.....	29
3.2 Процеси вивітрювання.....	29
3.3 Геологічна діяльність вітру.....	30
3.4 Геологічна діяльність текучих вод.....	32
3.5 Геологічна діяльність річок.....	33
3.6 Геологічна діяльність моря.....	35
3.7 Геологічна діяльність озер і боліт.....	36
3.8. Геологічна діяльність льодовиків.....	37
4. ОСНОВИ ГІДРОГЕОЛОГІЇ.....	40
4.1. Види води в гірських породах.....	40
4.2. Підземні води.....	44
4.3. Гідрогеологічні карти та динаміка підземних вод.....	46
4.4. Боротьба з підземними водами при зведенні та експлуатації споруд.....	47
5. ОСНОВИ ГРУНТОЗНАВСТВА.....	50
5.1. Класифікація ґрунтів.....	50
5.2. Вплив мінерального складу та органічної речовини на властивості ґрунтів.....	51

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 3

5.3. Вплив будови ґрунтів на їхні властивості.....	53
5.4. Вплив газового компоненту на властивості ґрунтів.....	55
5.5. Пористість і тріщинуватість ґрунтів.....	55
6. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД.....	58
6.1. Кристалічні породи.....	58
6.2. Осадкові зцементовані літифіковані гірські породи.....	59
6.3. Незв'язні породи.....	60
6.4. Зв'язані породи.....	62
6.5. Лесові породи.....	64
6.6. Штучні породи як ґрунти основ.....	66
7. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ЯВИЩА І ПРОЦЕСИ.....	67
7.1. Суфозійні та карстові процеси.....	67
7.2. Пливуни.....	68
7.3. Гравітаційні процеси на схилах і в котлованах.....	68
7.4. Селеві потоки.....	70
7.5. Мерзлота.....	70
7.6. Зрушення гірських порід.....	71
8. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВИШУКУВАННЯ.....	72
8.1. Гідрогеологічні вишукування.....	72
8.2. Інженерно-геологічні вишукування.....	75
8.3. Інженерно-геологічні вишукування за видами будівництва.....	80
8.4. Інженерно-геологічні та геоекологічні проблеми міст.....	81
ПИТАННЯ ДЛЯ ПОВТОРЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ.....	83
ЛІТЕРАТУРА.....	84

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 4

ВСТУП

Інженерна геологія – одна з наук геологічного циклу, яка вивчає геологічне середовище, його раціональне використання та охорону у зв'язку з інженерно-господарською діяльністю людини.

Під геологічним середовищем слід розуміти будь-які гірські породи та ґрунти, що складають верхню частину літосфери (земної кори), які розглядаються як багатокомпонентні системи, що перебувають під впливом інженерно-господарської діяльності людини, яка призводить до зміни природних геологічних процесів і виникнення нових антропогенних (інженерно-геологічних) процесів, що змінюють інженерно-геологічні умови певної території.

Інженерно-геологічні умови характеризують особливості геологічної будови досліджуваної території, склад і властивості порід, що її складають, геологічні процеси, рельєф і підземні води.

Інженерно-геологічні умови будівельного майданчика впливають:

- на вибір місця розташування об'єктів;
- на конструкцію споруд і глибину закладення фундаментів;
- на способи виконання будівельних робіт і заходи щодо охорони навколишнього середовища.

Інженерні споруди, своєю чергою, можуть змінити наявні природні геологічні умови:

- викликати осідання (ущільнення) або зсуви в тих породах, на яких вони побудовані;
- змінити рельєф плануванням і підсипанням;
- змінити мікроклімат і глибину промерзання ґрунтів, рівень ґрунтових вод;
- прискорити розвиток ярів, зсувів та інших небезпечних геологічних процесів.

Інженерно-геологічна оцінка умов будівництва визначається залежно як від природних факторів, так і від типу та конструкцій споруди, від характеру її впливу на породи в процесі будівництва та експлуатації.

Основні розділи інженерної геології:

- ґрунтознавство;
- інженерна геодинаміка;
- регіональна інженерна геологія.

Ґрунтознавство – вивчає гірські породи, що складають літосферу як ґрунти. Ґрунтами називають гірські породи, що перебувають у сфері інженерної та господарської діяльності людини. Гірські породи (ґрунти) складаються з мінералів або мінеральних агрегатів, які мають певний хімічний склад і фізико-механічні властивості, що впливають на будівельні характеристики ґрунтів. Ґрунтознавство вивчає мінералогічний склад ґрунтів, їхній генезис (походження), структуру і текстуру, тобто ті характеристики, які впливають на міцність і стійкість ґрунтів під час навантаження на них від будівель і споруд.

Одночасно з ґрунтознавством формувалася механіка ґрунтів на стику геологічних, фізико-математичних і будівельних дисциплін. Механіка ґрунтів розглядає ті загальні закономірності, які випливають із застосуванням до гірських порід (ґрунтів) законів теоретичної та будівельної механіки у зв'язку з навантаженнями.

Ґрунтознавство характеризує ґрунти основи споруд у непорушеному стані до початку будівництва і прогнозує зміну їх у процесі будівництва та експлуатації споруд.

Інженерна геодинаміка – вивчає природні та інженерно-геологічні небезпечні процеси і явища, що впливають на будівництво та експлуатацію споруд. Це гравітаційні процеси на схилах і в котлованах, утворення ярів, геологічна діяльність річок, вітру, моря.

Інженерно-геологічними процеси та явища називають тоді, коли їх зародження або розвиток пов'язаний з інженерно-господарською діяльністю людини. Зазвичай такі процеси та явища займають менші площі, не мають великі швидкості розвитку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 5

Регіональна інженерна геологія вивчає закономірності формування та поширення по території інженерно-геологічних умов. Інженерно-геологічні умови виявляються однаковими або близькими в тих територій, які мають одну й ту саму або близьку історію геологічного розвитку і розташовані в одних і тих самих природно-кліматичних зонах. До її завдання входить складання інженерно-геологічних карт, виділення регіонів, областей, районів і підрайонів з близькими інженерно-геологічними умовами.

Створення інженерно-геологічних карт значно скорочує час і обсяги вишукувальних робіт на будівельних майданчиках, що дає певний економічний ефект.

Для інженерів-будівельників основним документом під час проєктування будівель і споруд є інженерно-геологічна карта та висновок з оцінкою інженерно-геологічних умов будівельного майданчика.

Інженерна геологія як наука розвивається під впливом диференціації та синтезу і тісно пов'язана з іншими геологічними науками, а також з природничими і технічними науками (рис. 1).



Рис. 1. Зв'язок інженерної геології з іншими науками

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 6

1. ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ГЕОЛОГІЇ

1.1. Планета Земля

Земля – третя планета Сонячної системи, яка має форму геоїда (апроксимується з еліпсоїдом обертання) і центральносиметричну будову з декількома оболонками або геосферами.

Літосфера – верхня тверда оболонка Землі. Потужність її неоднакова і коливається в межах 5-6 км під дном океанів та до 70-80 км у гірських районах континентів (Гімалаї, Тянь-Шань та ін.). Середня потужність земної кори 35 км.

У літосфері виділяють три шари. Верхній шар складають різноманітні за складом осадові гірські породи – глини, піски, вапняки, пісковики та ін., які несучільним чохлам покривають літосферу з поверхні. Потужність осадового шару неоднакова і змінюється від декількох метрів (наприклад, на Українському щиті) і до 15 км у западинах (наприклад, в Дніпровсько-Донецькій). Щільність осадового шару 1,8-2,5 т/м³, швидкість розповсюдження сейсмічних хвиль – 1-4 км/с.

Середній шар земної кори складається з порід типу граніту і тому називається гранітним. Він не суцільний і розповсюджується в основному на континентах, а на глибоководних ділянках океану – відсутній. Середня потужність гранітного шару на континентах становить близько 15 км, у гірських районах – до 35-40 км. Щільність цього шару – 2,5-2,75 т/м³, континентальна швидкість сейсмічних хвиль – 5,5-6,3 км/с. У складі осадового та гранітного поясів переважають Si (лат. "сіліційум") та Al (лат. "алюмініум"), і тому їх часто об'єднують під загальною назвою сіалъ або сіалістська оболонка.

Нижче гранітного залягає базальтовий шар, потужність якого складає 20-30 км на материках і 5-7 км під дном океану. Щільність змінюється в межах 2,75-3,0 т/м³, швидкість сейсмічних хвиль – 6,1-7,4 км/с.

Виділяють два типи літосфери (рис. 1.1.a): океанічний та материковий. Кора материкового типу складається з гранітного шару потужністю до 35 км, який вкритий на окремих ділянках (прогинах) осадовим чохлам потужністю до 15 км і більше. В океанічній корі гранітний шар відсутній і земна кора складається лише з базальтового шару, який зверху вкритий тонким чохлам осадових порід (не більше 1 км).

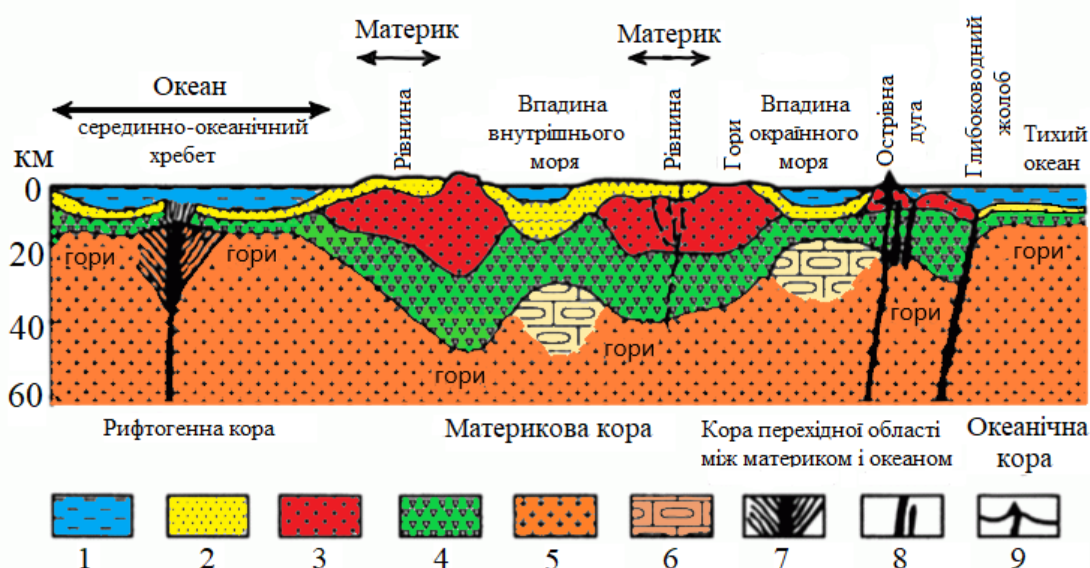


Рис. 1.1. Схематичне зображення земної кори

1 – вода; 2 – осадові породи; 3 – гранітний шар; 4 – базальтовий шар; 5 – мантія Землі; 6 – ділянки мантії, складені породами підвищеної щільності; 7 – ділянки мантії, складені породами зниженої щільності; 8 – глибинні розломи; 9 – вулканічний конус і магматичний канал

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 7

Хімічні аналізи показали, що більше ніж на 98 % маса земної кори складається лише з 8 елементів рис. 1.2). 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.

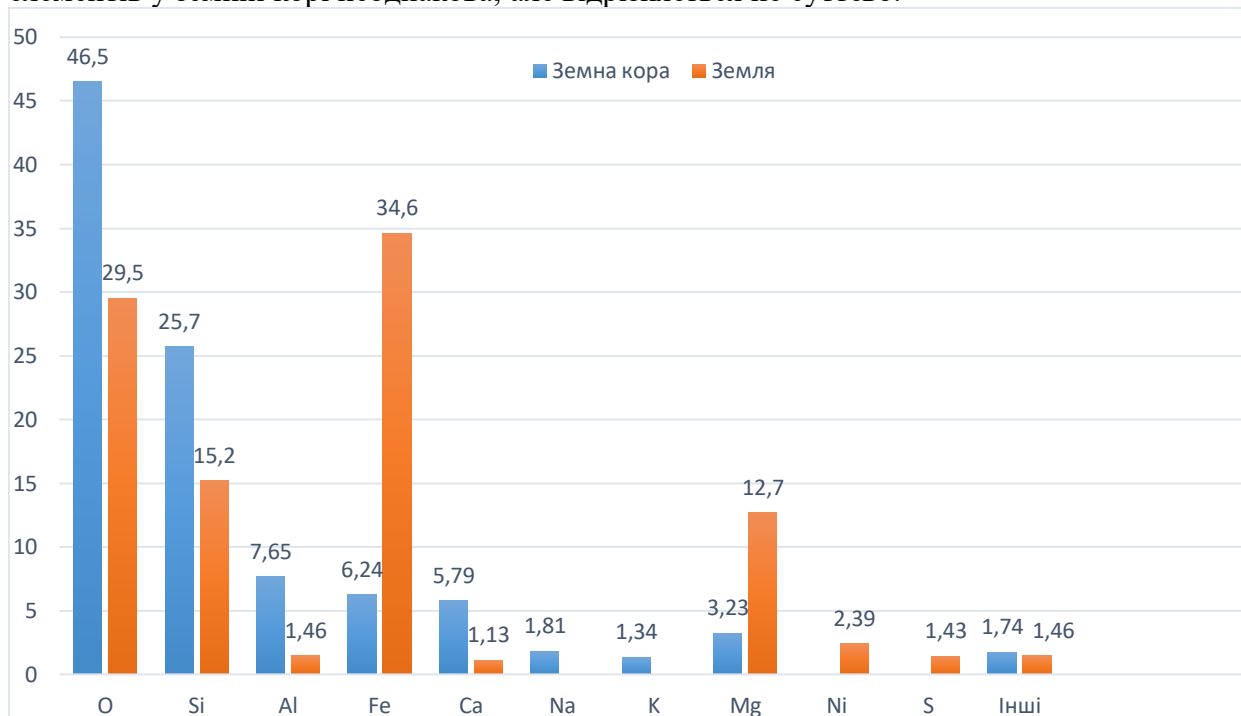


Рис. 1.2. Хімічний склад земної кори та Землі (гіпотетичний)

Мантія – це суцільна оболонка, що залягає безпосередньо під базальтовим поясом і властивості якої різко відрізняються від літосфери.

У ній виділяють верхню мантію до глибини 700 км та нижню мантію – до глибини 2885 км (рис. 1.3). Верхня частина мантії називається перидотитовою зоною у зв'язку з переважанням у її складі ультраосновних або лужних речовин. Нижня частина мантії потужністю близько 1900 км називається рудною зоною, у складі якої багато заліза, нікелю, кремнію та магнію. Щільність речовини в цій зоні досягає 4700-9400 кг/м³, тиск становить 134 ГПа, а температура – 2800-3800°C.

Ядро Землі починається з глибини 2885 км, має радіус 3470 км. Воно неоднорідне за своїм складом, і в ньому виділяють зовнішнє ядро – з глибини 2900 км до 4980 км, внутрішнє – з глибини 5155 км до центра Землі (рис. 1.2). Добра електропровідність та висока щільність ядра (від 11500 до 17300 кг/м³) дають підставу вважати, що воно складене нікелем та залізом з домішками сірки та кремнезему. Тому його називають ще "нафе" від латинських символів цих елементів. Тиск у центрі Землі досягає 350 ГПа, а температура – 3800-4000°C.

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. 1.2).

Теплова енергія Землі має внутрішнє та зовнішнє походження. Основним джерелом внутрішнього тепла є енергія радіоактивного розпаду хімічних елементів у надрах планети. Зовнішнє джерело надходження тепла – променева енергія Сонця. Кожна ділянка поверхні Землі площею 1 см², яка орієнтована перпендикулярно променям Сонця, одержує за хвилину 8,13 Дж тепла. Ця величина називається сонячною постійною. Усього за рік Земля одержує від Сонця близько Дж тепла, що складає 99,5 % енергії, яка поступає в земну кору.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 8

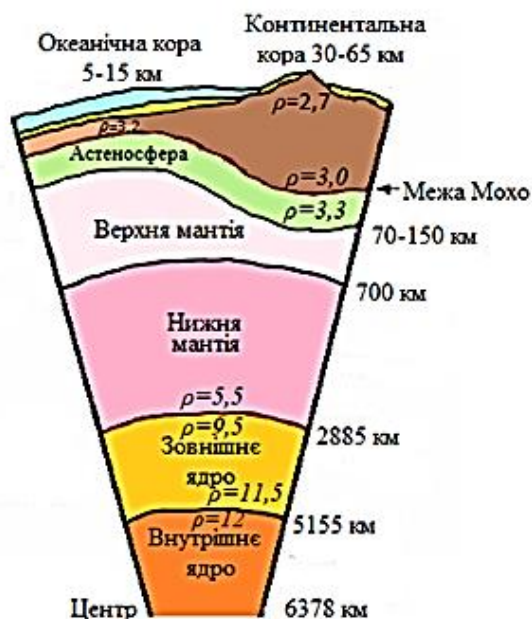


Рис. 1.3. Схематичне зображення будови Землі

Атмосфера – повітряна оболонка загальною висотою близько 1300 км, має, у свою чергу, шарувату будову з дифузними кордонами, що проникають один в одного. Її перший поверх – тропосфера, вище – стратосфера, іоносфера та зона розсіювання.

Гідросфера – водна оболонка, яка включає моря, океани, озера, річки, воду в атмосфері та літосфері в рідкому, твердому та газоподібному станах. Розподіл нерівномірний. На північ від екватора майже однакова площа суходолу й води, а в південній півкулі океани займають 90 % поверхні.

Біосфера – сфера життя в усіх геосферах Землі. У разі забруднення техногенними викидами переходить у стан, який непридатний для життя – неосферу.

Між геосферами існують природні й техногенні зв'язки. Йде безперервний обмін речовиною та енергією, народжуються геологічні процеси внутрішньої та зовнішньої динаміки Землі. Інженерна діяльність людини може прискорити або сповільнити розвиток небезпечних геологічних процесів, що призводить до порушення природної рівноваги геологічного середовища.

Геологічним середовищем називають верхню частину земної кори – літосферу, де відбувається інженерна та господарська діяльність людини: шахти, кар'єри, фундаменти, свердловини на воду, нафту, газ, тощо, визначають її потужність.

Серед численних гіпотез походження Сонячної системи і планети Земля в даний час найбільш розробленими є метеоритна гіпотеза Шмідта О.Ю. та космогенна гіпотеза Фесенкова В.Г.

Академік Отто Юлійович Шмідт у 1943 р. запропонував гіпотезу про походження Сонячної системи, згідно з якою процес формування планет і їхніх супутників відбувався з первинної метеоритної речовини, захопленої тяжінням Сонця, під впливом гравітаційного поля якого відбувся перерозподіл метеоритної речовини з утворенням Сонячної системи.

За гіпотезою Василя Григоровича Фесенкова (1960 р.) Сонце і планети утворилися в результаті згущення однієї з гігантських туманностей у космосі. Спочатку сформувалося Сонце, а потім у процесі його еволюції виникли планети Сонячної системи.

Вивчення космосу, польоти до Місяця та інших планет дають багато нових фактів для практичної перевірки гіпотез та їх подальшого розвитку й удосконалення, оскільки жодна з них на цей час не дає повної відповіді на питання походження Сонячної системи і планети Земля.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 9

1.2. Геологічний час і вік гірських порід

Земна кора формувалася тривалий час, поступово, неоднаково в різні відрізки часу в різноманітних фізико-географічних умовах. На окремих ділянках відбувалося нагромадження осадових, потім їхнє зминання у складки або розривні (дислокаційні) блоки під час горотворчих процесів; потім наставали періоди руйнування гір, перенесення матеріалу і накопичення його в нових місцях на суходолі або в океанах, які то займали великі площі, то відступали від берегової лінії, залишаючи на суші потужні товщі морських відкладів – вапняків, мергелів, конгломератів, тощо.

Для відтворення історії розвитку певної території, складання геологічних карт і розрізів, необхідно знати вік порід, що складають ту чи іншу ділянку земної кори.

Розрізняють два види віку гірських порід:

- абсолютний, виражений у роках (млн. років). Для цього використовується процес радіоактивних перетворень у напрямку утворення одних хімічних елементів з інших. Найчастіше використовують розроблені методи: свинцевий, стронцієвий, аргонний і вуглецевий.

- відносний – вік розглядається для однієї гірської породи відносно іншої, молодшої або старшої за неї за часом утворення. Використовують такі методи:

- а) стратиграфічний – описує послідовність залягання порід у порядку їхнього утворення. Застосовується за непорушеного залягання порід, коли кожна вище розміщена порода молодша за нижче розміщену за часом утворення.

- б) палеонтологічний – застосовується за наявності у відкладах скам'янілостей - залишків живих організмів, похованих у шарах. Органічне життя на Землі розвивалося від більш простих форм до більш складніших, тому більш давні шари міститимуть скам'янілі рештки простіших організмів. Вивчається наукою історична геологія.

Абсолютний метод є найбільш точним і дозволяє визначити вік гірських порід у роках. Почав застосовуватись після відкриття у 1396 р. Анрі Беккерелем явища радіоактивності. Встановлено, що під час радіоактивного розпаду одні елементи перетворюються в інші більш стійкі, а період їх розпаду взагалі не залежить ні від внутрішніх, ні від зовнішніх обставин (температури, тиску, вологості). Знаючи співвідношення кількості материнського елемента, що залишився у породі, та продукту кінцевого розпаду, термін його перетворення, можна визначити абсолютний вік гірських порід. Так, 1,0 г ^{238}U за 1 млрд. років перетворюється у 0,116 г ^{206}Pb . Залишок ^{238}U – 0,865 г. Решта маси витрачається на випромінювання. Значення періодів напіврозпаду наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Радіоактивний розпад

Материнський ізотоп	Кінцевий продукт	Період напіврозпаду, млрд. р.
^{238}U	^{206}Pb	4,468
^{235}U	^{207}Pb	0.7038
^{232}Th	^{206}Pb	14.008
^{87}Rb	^{87}Sr	48.8
^{40}K	^{40}Ar	1.3
^{14}C	^{14}N	5730
^3H	^2H	12.5

Урано-свинцевий, торій-свинцевий методи застосовуються для визначення віку прадавніх магматичних та метаморфічних гірських порід, які одержали назву старожилів. Цими методами було визначено, що вік відомих на Землі порід-старожилів становить 3,8

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

млрд. років (Південна Америка). Це менше за вік деяких метеоритів (4,7 млрд. років) та деяких порід Місяця (до 4,7 млрд. років). Відповідно вік сонячної системи оцінюється величиною у 5 млрд. років.

Калій-аргоновий та калій-кальцієвий методи використовуються для тих генетичних типів гірських порід, вік яких вимірюється десятками та сотнями мільйонів років.

Радіовуглецевим методом можна визначити вік залишків організмів та наймолодших гірських порід сучасної геологічної системи (до 50 тис. років).

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. 1.2) і строго визначений колір для будь-якої геологічної карти світу (рис. 1.4).

Таблиця 1.2

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 11

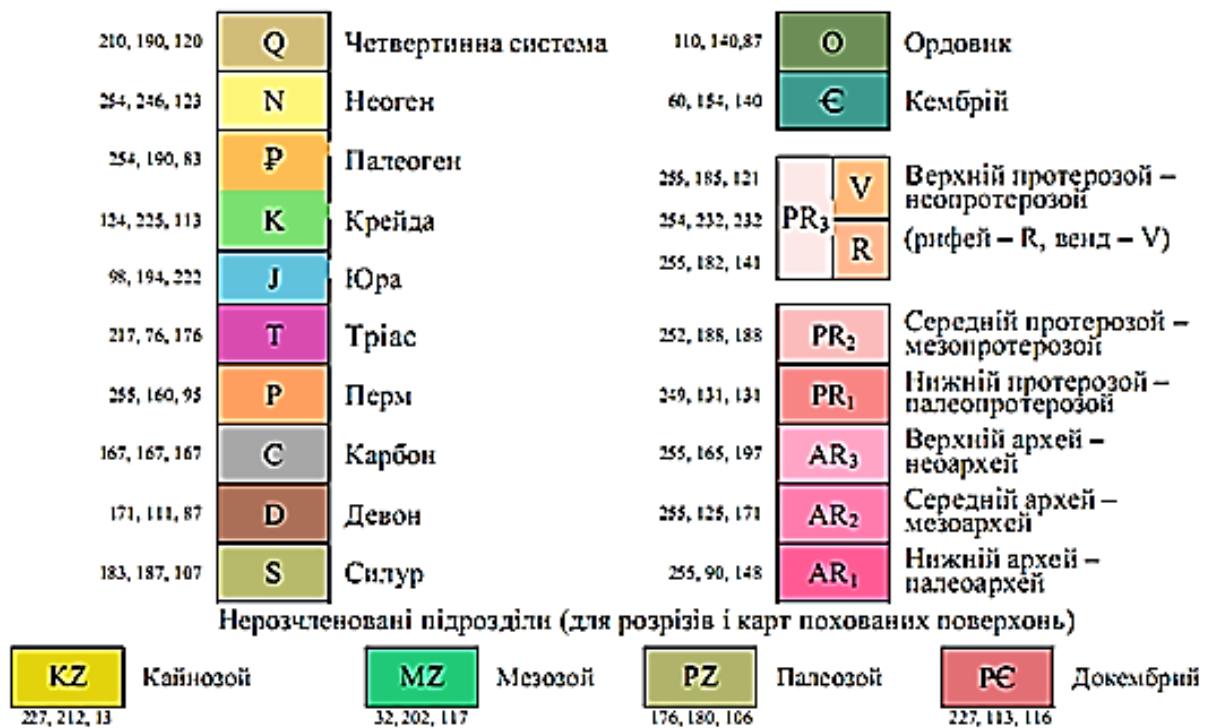


Рис. 1.4. Основні кольори розфарбовування стратиграфічних підрозділів

1.3. Мінерали

Мінералами називають порівняно однорідні за хімічним складом сполуки, що утворилися в результаті складних фізико-хімічних процесів у надрах Землі або на її поверхні. Мінерали можуть бути твердими (кварц, рогова обманка), рідкими (самородна ртуть) і газоподібними (сірководень, метан). Переважна більшість твердих мінералів є кристалічними утвореннями і лише незначна їх частина – аморфними. Мінерали, що перебувають у кристалічному стані, у природі найчастіше зустрічаються у вигляді агрегатів (скупчень зерен) неправильної форми і значно рідше – у вигляді правильних багатогранників – кристалів. Розміри мінеральних індивідів можуть бути від великих, маса яких кілька тон (польовий шпат, кварц), до найдрібніших зерняток, видимих тільки в мікроскоп. Більшість мінералів зустрічаються саме у вигляді дрібних і найдрібніших зерняток, утворюючи зернисту структуру магматичних, осадових і метаморфічних гірських порід.

У природі зустрічається близько 7000 мінералів та їхніх різновидів. Кожен з них має певну будову і володіє властивим йому комплексом фізичних властивостей (твердість, питома вага, спайність, магнітність тощо), що впливають на інженерно-геологічні (будівельні) властивості гірських порід геологічного середовища.

1.3.1. Класифікація мінералів

Найпоширенішою є хімічна класифікація мінералів:

Силікати – найчисленніший клас, що містить до 800 мінералів, які є основною складовою частиною більшості магматичних і метаморфічних порід. Серед силікатів виділяють групи мінералів, що характеризуються деякою спільністю складу і будови – польові шпати, піроксени, амфіболи, слюди, а також олівін, тальк, хлорити і глинисті мінерали. Всі вони за своїм складом алюмосилікати.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 12

Оксиди та гідроксиди. Ці два класи об'єднують близько 200 мінералів, на їхню частку припадає до 17 % усієї маси земної кори. Найбільшого поширення набули кварц, опал і лімоніт.

Карбонати. До них належать понад 80 мінералів. Найбільш поширені кальцит, магнезит, доломіт. Походження здебільшого екзогенне і пов'язане з водними розчинами. У контакті з водою вони трохи знижують свою механічну міцність, хоча і слабо, але розчиняються у воді, руйнуються в кислотах.

Сульфати. Цей клас об'єднує до 260 мінералів, походження яких пов'язане з водними розчинами. Характеризуються невеликою твердістю, світлим забарвленням. Порівняно добре розчиняються у воді. Найбільшого поширення мають гіпс і ангідрит. При зіткненні з водою ангідрит переходить у гіпс, збільшуючись в об'ємі до 33 %.

Сульфіди налічують до 200 мінералів. Типовий представник пірит. Сульфіди в зоні вивітрювання руйнуються, тому їхня домішка знижує якість будівельних матеріалів.

Галоїди містять близько 100 мінералів. Їх походження пов'язане переважно з водними розчинами. Найбільше поширення має галіт. Може бути складовою частиною осадових порід, легко розчиняється у воді.

Мінерали класів фосфатів, вольфраматів і самородних елементів зустрічаються набагато рідше, ніж інші.

1.3.2. Фізичні властивості мінералів

Кожний мінерал має певний хімічний склад і характерну для нього внутрішню будову, від якої залежать його зовнішня форма та фізичні властивості.

Розрізняють такі зовнішні (макроскопічні) фізичні властивості мінералів: колір, колір риски, прозорість, блиск, спайність, злам, твердість, розчинення у кислотах, смак, запах, щільність.

Колір. Майже всі мінерали забарвлені в той чи інший колір. Багато з них названі за цією ознакою. Наприклад, гематит (від грецького "гематікос" – кривавий), альбіт (від латинського "альбіус" – білий), рубін (від латинського "рубер" – червоний).

Для характеристики кольору та його відтінків використовують такі терміни: білий, чорний, сірий, бурий, червоний, жовтий, зелений, синій. Такі назви, як оранжевий, рожевий, блакитний, застосовуються для уточнення відтінків, наприклад оранжево-жовтий, блакитно-білий та ін.

Для назв відтінків уживають префікси темно-, світло- та ін., а для мінералів з металевим блиском обов'язково як префікс використовують назву металу (наприклад, мідно-червоний, золотисто-, латунно-, бронзово-жовтий, свинцево-або сталєво-сірий, залізо-чорний та ін.).

Крім основного забарвлення, мінерали інколи мають додаткові відтінки – мінливість, обумовлену явищем інтерференції світла на поверхні мінералів внаслідок різних реакцій при вивітрюванні.

Колір риски. Багато мінералів у дрібно-роздробненому стані (порошку) мають зовсім інший колір, так званий колір риски (або просто – риска). Це важлива діагностична ознака мінералу. Для визначення кольору риски нема потреби роздрібнювати мінерал, а досить провести ним по неглазурованій фарфоровій пластинці. Для характеристики риски вживаються такі ж терміни, як і для кольору.

Прозорість. Це здатність мінералів пропускати світло. Розрізняють прозорі (гірський кристаль, ісландський шпат та ін.), напівпрозорі (халцедон, опал) і непрозорі (графіт, пірит). Багато мінералів у тонких пластинках просвічуються, наприклад біотит.

Блиск. Це здатність мінералів відбивати світло (залежить від кількості відбитого світла). За цією властивістю мінерали розподіляють на дві великі групи: з металевим та неметалевим блиском.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 13

Металевий блиск – це блиск свіжого злому металу. Решта – неметалеві. Серед яких виділяють алмазний блиск – дуже сильний, відбиває багато світла; скляний – блиск поверхні скла; шовковистий – при паралельно-волокнистій будові; жирний – поверхня мінералу наче намазана жиром; перламутровий – колір інтерференції. Багато мінералів не мають блиску і є матовими.

Спайність – це здатність мінералів при ударі розколюватись в окремих кристалографічних напрямках з утворенням гладких або дзеркальних поверхонь. Спайність притаманна лише кристалічним мінералам і відсутня у монокристалів. Напрямок площин спайності не випадковий і відповідає напрямкам найбільш щільних кристалічних решіток. Спайність може спостерігатись в одному, двох, трьох, чотирьох і навіть шести напрямках. Слід розрізняти площини спайності від граней кристала. Наприклад, у кварці спайність відсутня, хоч він і зустрічається часто у формі кристалів із гладкими поверхнями. Фізично спайність обумовлена тим, що зовнішні зв'язки між кристалами значно слабші від внутрішніх структурних зв'язків між елементарними частинками.

Розрізняють наступні види спайності:

- а) дуже досконала – мінерал легко розколюється за визначеним напрямком на окремі пластинки, листочки або лусочки (слюда, графіт, гіпс);
- б) досконала – при ударі мінерал розколюється рівними, гладенькими площинами на уламки, які нагадують первинні кристали (галіт, кальцит);
- в) відсутня – при ударі мінерал розколюється у випадкових напрямках із неправильними поверхнями злому (кварц, лімоніт).

Злам – це випадковий напрямок розколу мінералу. За певним характером поверхні, яка утворюється при розколі мінералу, виділяють такі типи зламу:

- а) рівний, ступінчастий, характерний для мінералів із спайністю;
- б) раковистий (опал, халцедон), який нагадує внутрішню поверхню черепашки;
- в) скалковий (рогова обманка, гіпс) – притаманний мінералам із волокнистою або голкуватою будовою;
- г) землястий (каолініт) – характерний для землястих мінералів;
- д) зернистий – мають мінерали зернистої будови.

Твердість – це здатність мінералів чинити опір механічним зусиллям, які роз'єднують його частинки. Ступінь твердості мінералів визначається дряпанням в порівнянні з твердістю еталонних мінералів за шкалою Ф. Мооса.

Для визначення твердості мінералів за відсутності шкали твердості (в польових умовах) користуються підручними предметами, твердість яких відома: м'який олівець – 1, ніготь – 2,5; мідна монета – 3-4; скло – 5-5,5; лезо бритви – 5-6; терпуг – 7. Скло дряпає всі мінерали з твердістю менше 5, а мінерали з твердістю більше 5 самі дряпають скло. Цими підручними засобами можна визначити твердість більшості мінералів, оскільки мінерали з твердістю більше 6 зустрічаються порівняно рідко.

Розчинення у кислотах. Усі мінерали класу карбонатів (кальцит, малахіт та ін.) реагують із соляною кислотою з виділенням вуглекислого газу, бульбочки якого створюють враження кипіння кислоти. Деякі мінерали цього класу розчиняються в роздрібненому стані (доломіт) або при підігріванні (магнезит). Для визначення мінералів застосовується 10% розчин соляної кислоти, крапля якого за допомогою скляної палички або крапельниці наноситься на поверхню зразка або на порошок.

Смак, запах. Усі мінерали, які розчиняються у воді, мають певний смак. Наприклад, галіт – солоний, силвін – гірко-солоний. Деякі мінерали під час тертя один об один мають характерний запах. Так, при терті конкрецій фосфориту з'являється запах горілої шкіри; запах сірчаного газу характерний для піриту та сірки.

Щільність. Ця властивість мінералів змінюється в широких межах – від значення менше 1 (гази, бітуми) до 20 г/см³ (група платиноїдів). У ряді випадків щільність є доброю

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 14

діагностичною ознакою, навіть виважуючи мінерали на долоні, можна приблизно визначити їх щільність. За щільністю всі мінерали розподіляють на: легкі – із щільністю до 2,0 г/см³, середні – від 2 до 4 г/см³, важкі – більше 4 г/см³.

Особливі властивості. Деякі мінерали володіють лише їм притаманними властивостями, які є добрими діагностичними ознаками цих мінералів. Так, один із різновидів кальциту – ісландський шпат має подвійне променезаломлення; у лабрадора при обертанні на площинах спайності спостерігається гра кольорів у фіолетово-синювато-зелених тонах; флюорит навіть у невеличкому зразку може бути забарвлений у різні кольори; графіт залишає слід на папері; глинисті мінерали, наприклад каолін – жирний на дотик; халцедон просвічується на краях.

1.4. Гірські породи

Гірські породи, що складають земну кору, являють собою агрегати, складені тими чи іншими мінералами.

Гірські породи земної кори можуть бути мономінеральними, тобто складатися з одного мінералу (мармур, кварцит) або полімінеральними, що складаються з декількох породоутворювальних мінералів (граніт, габро). Гірська порода утворюється у своєрідних геологічних умовах, які й визначають її мінеральний склад, залягання, структуру і текстуру.

За своїм походженням усі гірські породи поділяють на три великі групи, які одночасно відображають їхній генезис і найважливіші петрографічні особливості.

- 1) магматичні, пов'язані з процесами магматичної діяльності;
- 2) осадові, пов'язані з екзогенними процесами, тобто з процесами зовнішньої динаміки Землі;
- 3) метаморфічні, що утворилися в результаті перетворення магматичних та осадових порід.

1.4.1 Магматичні гірські породи

Магматичні гірські породи утворюються внаслідок охолодження та кристалізації магми.

Магма – це вогненно-рідкий розплав-розчин, що містить різні елементи, їхні оксиди та легкі компоненти (фтор, хлор, воду, вуглекислоту, тощо). У процесі кристалізації магми відбувається перерозподіл компонентів. Якщо кристали, що утворюються, видаляються з магматичного осередку, наприклад, опускаються в глибші горизонти або спливають у верхні, склад магми поступово змінюватиметься і з неї будуть кристалізуватися різні гірські породи (табл. 1.3.).

Велику роль при утворенні різних за складом гірських порід відіграють процеси асиміляції – захоплення і розплавлення магмою порід на контакті з магматичним осередком. На кінцевій стадії кристалізації магми залишкові перегріті магматичні розплави і розчини, які збагачені леткими компонентами, по тріщинах проникають у навколишні породи і дають початок постмагматичним процесам мінералоутворення – пегматитовим, гідротермальним і пневматолітовим.

Під час застигання магми на великій глибині при повільному падінні температури й тиску відбувається повна розкристалізація інтрузивних (глибинних) магматичних порід. Граніт, габро, діорит та інші глибинні породи мають повнокристалічну (зернисту) структуру і масивну текстуру. Їм також притаманні певні форми залягання (рис. 1.5).

Батоліт – великий масив, основа якого знаходиться на великій глибині. Відомі батоліти в Перу та Чілі довжиною більше 1300 км кожний. Батоліт берегового хребта Британської Колумбії має біля 2000 км у довжину і від 130 до 200 км у ширину. Батоліти складають кристалічний фундамент геологічних структур типу платформ, у тому числі і Український щит Східно-європейської платформи.

Шток – відгалуження батолітів порівняно невеликих розмірів (10-100 км²).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 15

Лаколiт – грибоподібний масив інтрузивних порід, які мають, як правило, плоску підшову. Магма, яка надходить у товщу вмiщуючих порід по трiщинi, утворює склепоподiбне пiдняття верхньої товщи порід.

Жили утворюються при заповненні трiщин у гiрських породах. У бiльшостi жильнi iнтрузiї є сiчними, тобто перетинають пласти осадових порід пiд деяким кутом, iх звичайна потужнiсть 1-3 м. Жили, які перетинають пласти вертикально або близько до вертикального положення, називають *дайками*, iх довжина сотнi кiлометрiв, а ширина 3-12 км.

Таблиця 1.3

Класифікації магматичних порід

Групи порід	Мінеральний склад	Інтрузивні породи	Ефузивні породи	
			Кайнотипні (молоді)	Палеотипні (давні)
Ультракислі та кислі $SiO_2 > 65\%$	Польові шпати (ортоклаз), кварц	Пегматит	Ліпарит	Кварцовий порфір
	Польові шпати, кварц, слюда	Граніт		
Середні $SiO_2 = 52-65\%$	Польові шпати (ортоклаз, плагіоклази), кварц, слюди, рогова обманка, біотит	Сієніт	Трахіт	Ортоклазовий порфір
	Польові шпати (плагіоклаз), рогова обманка, авгіт, біотит	Діорит	Андезит	Порфірит
Основні $SiO_2 = 45-52\%$	Польові шпати (плагіоклаз), авгіт, біотит	Габро	Базальт	Діабаз
	Плагіоклаз (лабрадор)	Лабрадорит		
Ультраосновні $SiO_2 < 45\%$	Авгіт	Піроксеніт		
	Олівін, авгіт	Перидотит		
	Олівін	Дуніт		
Вулканогенні	Скло, переважно кислого складу		Обсидіан	

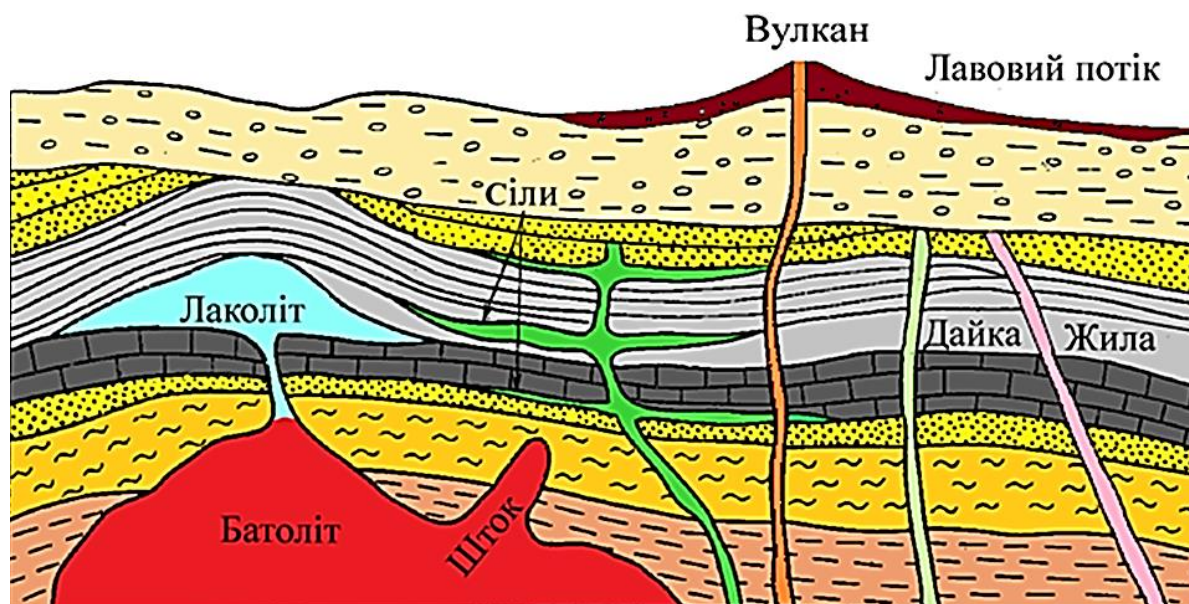


Рис. 1.5. Форми залягання магматичних тiл

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 16

Під час проривання магми по тріщинах до поверхні Землі, вона втрачає частину летких сполук, переходить у стан лави за рахунок швидкої зміни тиску і температури та застигає на поверхні Землі або поблизу неї, утворюючи ефузивні (виливні) породи: базальти, діабазы, порфірити, тощо. Ці породи мають приховано-кристалічну, скловату або порфірову структуру і масивну або шлакову текстуру. Притаманні їм форми залягання – потоки, покриви, конуси, тощо (рис. 1.6).

Потоками називають заповнені затверділою лавою, витягнуті в довжину понижені форми рельєфу.

Покриви утворюються при великих виливах рідких базальтових лав. Вони займають величезні площі, які вимірюються десятками тисяч квадратних кілометрів (Середньо-Сибірське нагір'я в Східному Сибіру, в штаті Орегон США та ін.).

Куколи виникають при виливах в'язких гранітних магм, які не розтікаються в сторони.

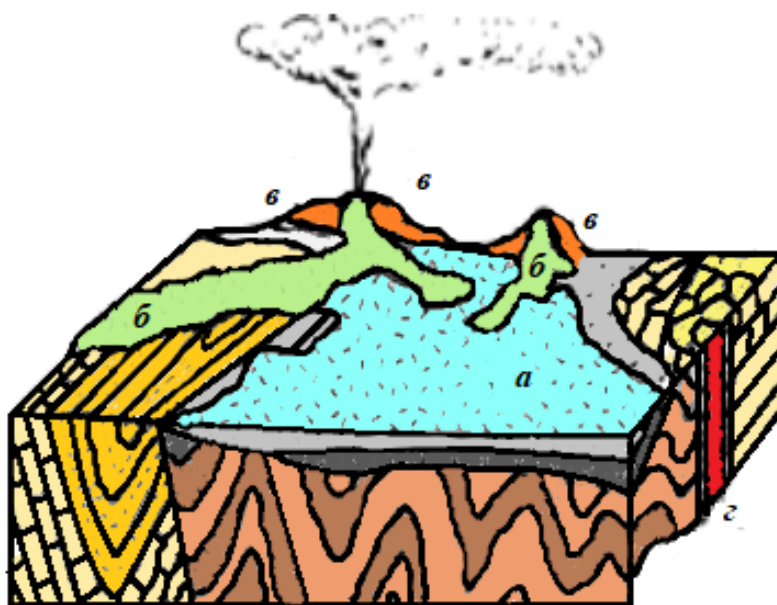


Рис. 1.6. Форми залягання ефузивних порід
а – покриви, б – потоки, в – конуси, г – неки

Тріщинуватість магматичних порід. Під час охолодження магми відбувається зменшення її об'єму, що спричиняє утворення тріщин у породі. Цими тріщинами маса породи розділяється на окремість, тобто на шматки або брили різноманітної форми. Залежно від системи розташування тріщин спостерігаються плитоподібна, паралелепіпедальна, брилова, багатогранна, стовпчаста і куляста окремість (рис. 1.7).

Плитоподібна окремість утворюється за наявності частих горизонтальних і вельми рідкісних вертикальних тріщин, що дає змогу під час розробки отримувати плити породи великих розмірів.

У тому разі, коли порода розбита частими горизонтальними і вертикальними тріщинами, окремість мають форму *паралелепіпеда*.

При неправильній системі тріщин виходять *брилова* або *матрацеподібна* окремість. Система тріщин, які перетинають породу у кількох визначених напрямках, призводить до утворення *багатогранної* окремість.

Тріщини можуть також розділяти породу на багатогранні стовпи – *стовпчасті* окремість, або кулясті брили – *кулясті* окремість.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 17

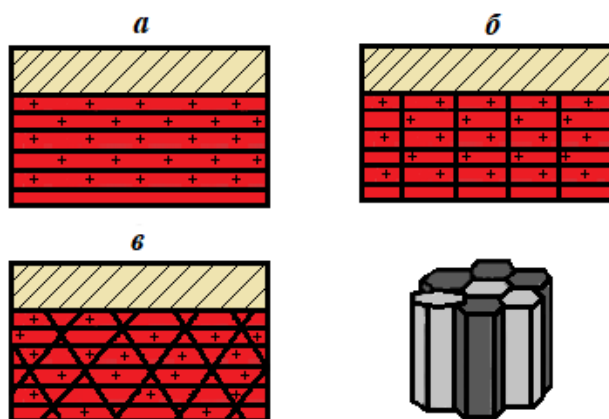


Рис. 1.7. Система тріщин і окремоств вивержених гірських порід
а – плитоподібна; б – паралелепіпедна; в – брилова або матрацеподібна;
г – стовпчаста або куляста.

Тріщинуватість може бути:

а) первинна тріщинуватість окремоств утворюються в процесі охолодження і кристалізації магми. Найчастіше зустрічаються тріщинуватості – матрацеподібна, стовпчаста (базальти), куляста (діабази). Тріщини окремоств проявляються при виході породи на поверхню, при вивітрюванні або вибуху.

б) вторинна тріщинуватість проявляється у вигляді тектонічних тріщин у процесі горотворення і виражає напрямок стресу. Окрім того, до вторинних відносять первинні й тектонічні тріщини, які розширені процесами вивітрювання.

Тріщинуватість порід підвищує швидкості вивітрювання порід, сприяє глибшому їхньому проникненню, знижує декоративні властивості та характеристики міцності магматичних порід і вимагає дослідження цих властивостей не лише в окремих зразках, а й у масиві.

1.4.2 Осадкові породи

В утворенні осадкових порід (літогенезі) можна виділити наступні стадії:

- утворення вихідного матеріалу під час руйнування магматичних, метаморфічних або раніше утворених осадкових порід під час перебігу процесів вивітрювання, абразії, ерозії, корозії, суфозії тощо, а також при виверженні вулканів;

- перенесення матеріалу у воді або на суходолі (транспортування) у вигляді розчинів, уламків або пилу;

- накопичення (седиментогенез) у водоймах або на поверхні Землі осадків у вигляді еолових форм рельєфу, морських, озерних або річкових терас, льодовикових морен, тощо;

- перетворення відкладів на осадкову гірську породу (діагенез) під час ущільнення, випадання з розчинів і кристалізації, окислення, гідратації, відновлення в пухких осадках;

- зміна осадкової породи (катагенез) до початку метаморфізації або початку вивітрювання.

Згідно генетичної класифікації в осадкових породах (табл. 1.4) виділяють наступні групи:

- уламкові – відклади механічного походження, які за розміром уламків поділяють на грубоуламкові, піщані, пилуваті та глинисті, пухкі та зцементовані;
- хімічні – осадки формуються на дні водойм унаслідок випадання речовин з істинних водних розчинів, а також є відкладами підземних вод;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

- органогенні – осади утворюються за рахунок накопичення продуктів життєдіяльності організмів морських, рідше прісноводних безхребетних;
- змішані – осади мають складний склад і містять у різних співвідношеннях уламковий, органогенний і хімічний матеріал.

Таблиця 1.4

Класифікація осадових порід

Група порід	Назва породи	Головні мінерали	Панівні структури	Панівні текстури
Осади механічного походження	Глина, аргіліт	Глинисті мінерали	Пелітова	Безладна, шарувата
	Лес, алеврит, алевроліт	Полімінеральний	Алевритова	Безладна, шарувата
	Пісок, пісковик	Полімінеральний	Псамітова	Безладна, шарувата
	Галька, гравій, жорства, валуни, брили, конгломерат, брекчія	Полімінеральний	Псефітова	Безладна
Хімічні осади	Вапняк	Кальцит	Оолітова, пелітова	Масивна
	Вапняковий туф	Кальцит	Приховано-кристалічна	Пориста
	Кам'яна сіль	Галіт, сильвін	Повнокристалічна	Масивна
	Гіпс	Гіпс	Повнокристалічна	Масивна
	Ангідрит	Ангідрит	Дрібно- і середньокристалічна	Масивна, шарувата
	Доломіт	Доломіт	Пелітова, тонкозерниста	Масивна, шарувата
Органогенні осади	Вапняк щільний	Кальцит	Повнокристалічна, приховано-кристалічна	Масивна, смугаста
	Вапняк-черепашник	Кальцит	Біоморфна	Пориста
	Крейда	Кальцит, мінерали глини	Пелітова	Пориста
	Крем'янисті (опока, трепел, діатоміт)	Кварц (опал)	Пелітова, приховано-кристалічна	Пориста
Змішані осади	Мергель	Кальцит, мінерали глини	Пелітова	Суцільна
	Боксит	Алюмосилікатні мінерали	Псефітова, оолітова	Безладна

Осадові породи залягають у вигляді шарів, які утворюються в процесі періодичного накопичення відкладів у водному та повітряному середовищі. У складі шару може бути мікрошаруватість, що відображає накопичення осадків в різні пори року. Мікрошаруватість характерна для озерних і річкових відкладів. У шарі гірської породи можуть бути також тонкі шари інших порід, які називають прошарками. Наприклад, у шарі піску може бути тонкий прошарок глини.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 19

У разі різкої відмінності шарів за складом (наприклад, шар піску лежить на шарі вапняку) і більш-менш постійній потужності та порівняно великій площі, яку займають ці шари, тоді їх називають *пластами*. У таких випадках шари (пласти) зазвичай обмежені з двох боків чітко вираженими поверхнями, які називають площинами (поверхнями) нашарування, причому верхню площину називають – *покрівлею*, нижню – *підшовою*, а відстань між ними – *потужністю* шару (пласта). Найбільшою потужністю пластів володіють морські відклади (до сотень і навіть тисяч метрів). Континентальні утворення четвертинної системи, що залягають безпосередньо під шаром ґрунту, мають, як правило, відносно невелику потужність (10-50 м).

Комплекс шарів, об'єднаних подібністю складу чи віку, або один шар, але значної потужності, часто називають *товщею*. Прикладом можуть слугувати товщі лесових порід, потужність яких може сягати десятків метрів.

У разі різкої відмінності шарів за складом (наприклад, шар піску лежить на шарі вапняку) і більш-менш постійній потужності та порівняно великій площі, яку займають ці шари, тоді їх називають *пластами*. У таких випадках шари (пласти) зазвичай обмежені з двох боків чітко вираженими поверхнями, які називають площинами (поверхнями) нашарування, причому верхню площину називають – *покрівлею*, нижню – *підшовою*, а відстань між ними – *потужністю* шару (пласта). Найбільшою потужністю пластів володіють морські відклади (до сотень і навіть тисяч метрів). Континентальні утворення четвертинної системи, що залягають безпосередньо під шаром ґрунту, мають, як правило, відносно невелику потужність (10-50 м).

Комплекс шарів, об'єднаних подібністю складу чи віку, або один шар, але значної потужності, часто називають *товщею*. Прикладом можуть слугувати товщі лесових порід, потужність яких може сягати десятків метрів.

Шари утворюються в процесі накопичення осадків у морях, озерах, долинах річок, тощо. Це зумовлює утворення шарів різної форми як за розміром у плані, так і за обрисами по вертикалі. Найбільш звичайним є нормальний шар, для якого характерна порівняно велика потужність і протяжність, паралельність покрівлі підшви. Для континентальних відкладів характерні також *лінзи* – шари, які займають малі площі з виклинюванням потужності до країв шару, і *шари, що виклинюються*, потужності яких зменшуються в одному напрямку.

Важливе практичне значення для інженерної геології має поєднання шарів. При узгодженому заляганні шари лежать паралельно один одному, найчастіше горизонтально. Таке залягання шарів характерне для рівнин. В інших випадках за рахунок тектонічних рухів земної кори виникає неузгоджене залягання шарів. Одна група шарів при цьому залягає непаралельно іншій групі шарів (рис. 1.8).

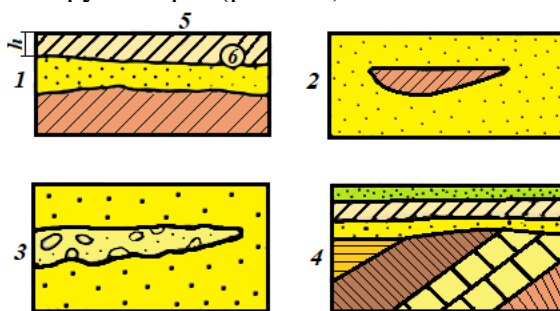


Рис. 1.8. Форми шарів осадкових порід

1 – нормальне залягання; 2 – лінза глини в піску; 3 – виклинювання галечника в піщаній товщі; 4 – неузгоджене залягання ґрунтів; 5 – поверхня землі (покрівлі шару); 6 – підшва (ложе) шару; h – потужність шару

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 20

Шари, які мають однакові елементи залягання, складають пачку відповідно залягаючих порід. Одна пачка шарів відносно іншої може залягати неузгоджено по лінії неузгодженості. Неузгодженість може бути кутовою, стратиграфічною, тектонічною та інших видів (рис. 1.9).

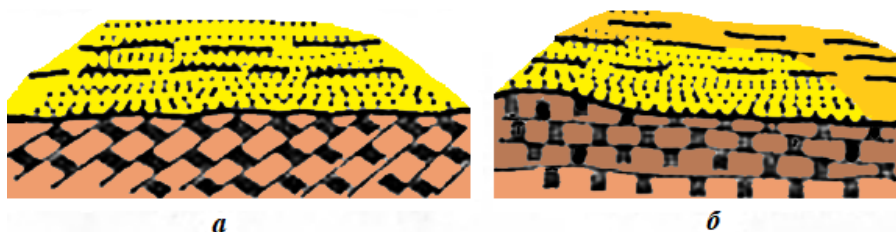


Рис. 1.9. Неузгодженість шарів осадових порід
а – кутова неузгодженість; б – перерва в накопиченні осадків

Поверхнева товща літосфери на 75 % складена з осадових порід, які найчастіше і є основою та середовищем споруди. Під час інженерно-геологічної оцінки осадових порід характеризують залягання, мінералогічний склад, інженерно-геологічні (будівельні) властивості кожного шару на всю глибину впливу споруд.

1.4.3. Метаморфічні гірські породи

Потрапляючи у фізико-хімічні умови, які відрізняються від тих, у яких утворилася порода, вона починає пристосовуватися до нових умов шляхом зміни мінерального складу, структури і текстури без зміни валового хімічного складу, або з його зміною за рахунок принесення або виносу речовини. Такий процес називають *метаморфічним*.

Основними чинниками, що спричиняють метаморфізацію гірських порід, є температура, тиск і хімічно активні речовини, розчини та газу. Процеси метаморфізації протікають зі збереженням твердого стану системи, без істотного розплавлення породи.

Перетворенню (метаморфізму) можуть піддаватися будь-які гірські породи – магматичні, осадові та раніше утворені метаморфічні.

Мінеральний склад (табл. 1.5) метаморфічних гірських порід і їх форми залягання реліктові, тобто успадковані від вихідних порід.

Залежно від панівних чинників метаморфізму розрізняють:

- регіональний метаморфізм – проявляється на значних площах при зануренні великих ділянок літосфери на глибини, характеризується високими тисками й температурами, утворюються гнейси, кварцити, кристалічні сланці, рідше – мармур і мармуризовані вапняки.

- контактовий метаморфізм – це процес зміни гірських порід на контакті інтрузивних тіл із вміщувальними породами. Тут породи піддаються впливу високих температур і хімічних речовин, що входять до складу магми. Найпоширенішими породами є роговики, мармур;

- динамометаморфізм (катакlastичний) – проявляється під час різних тектонічних процесах, що зумовлюють виникнення спрямованого тиску. Породи набувають сланцюватості, піддаються механічному подрібненню, мають різний ступінь зцементованості (брекчії).

Різновидом метаморфізму є *метасоматоз* – це процес, за якого хімічний склад породи змінюється з привнесенням або виносом хімічних компонентів унаслідок взаємодії породи з водними флюїдами (розчинами). За метасоматозу порода залишається у твердому стані й не змінює свого первісного об'єму. Метасоматоз відбувається під час реакцій між твердими тілами (мінералами) і розчинами або флюїдами. Проявляється в земній корі як локально

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

(регіонально), так і у великих (десятки й сотні метрів) тілах метасоматитів. Може протікати як за високих температур і тисків, так і в умовах земної поверхні. З метасоматозом пов'язані багато найбільших родовищ рудних і нерудних корисних копалин. До них належать скарнові родовища заліза, міді, золота, срібла, вольфраму, молібдену; грейзенові родовища олова, вольфраму, молібдену, берилію, флюориту, слюди; альбітитові родовища танталу, ніобію, торію, урану, рідкісних земель, цирконію; родовища золота та сурми, які пов'язані з пропілітами та березитами.

Таблиця 1.5.

Класифікація метаморфічних порід

Тип	Панівні фактори	Початковий хімічний склад	Назва породи	Головні мінерали	Панівні структури	Панівні текстури
Контактово-термальний	Висока температура	Вапняковий	Мармур	Кальцит	Повно-кристалічна	Масивна, плямиста
		Алюмо-силікатний	Роговик	Польові шпати, кварц, слюди	Приховано-кристалічна	
Контактово-метасоматичний	Привнесення речовини	Контакт вапнякових і алюмо-силікатних порід	Скарн	Піроксен, гранат	Повно-кристалічна	Плямиста, масивна
Регіональний або динамо-термальний	Висока температура і тиск	Вапняковий	Мармур	Кальцит	Повно-кристалічна	Масивна, плямиста
		Крем'янистий	Кварцит	Кварц	Кристалобластова	Масивна
		Крем'янистий із домішкою глинозему	Яшма	Кремнезем та глинисті мінерали		Масивна, смугаста
		Алюмо-силікатний	Гнейс	Кварц, польовий шпат, слюди	Повно-кристалічна	Сланцювата, очкова
			Кристалічний сланець			Слюда або тальк, ін. мінерали
			Філіт		Кварц, слюда	Повно-кристалічна, кристалобластова
Глинистий сланець	Глинисті мінерали		Кристалобластова			

Під час інженерно-геологічної оцінки метаморфічних порід особливу увагу звертають на ступінь метаморфізації, сланцюватість і вивітреність.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 22

2. ЕНДОГЕННІ ПРОЦЕСИ

2.1. 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 підвалин 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.

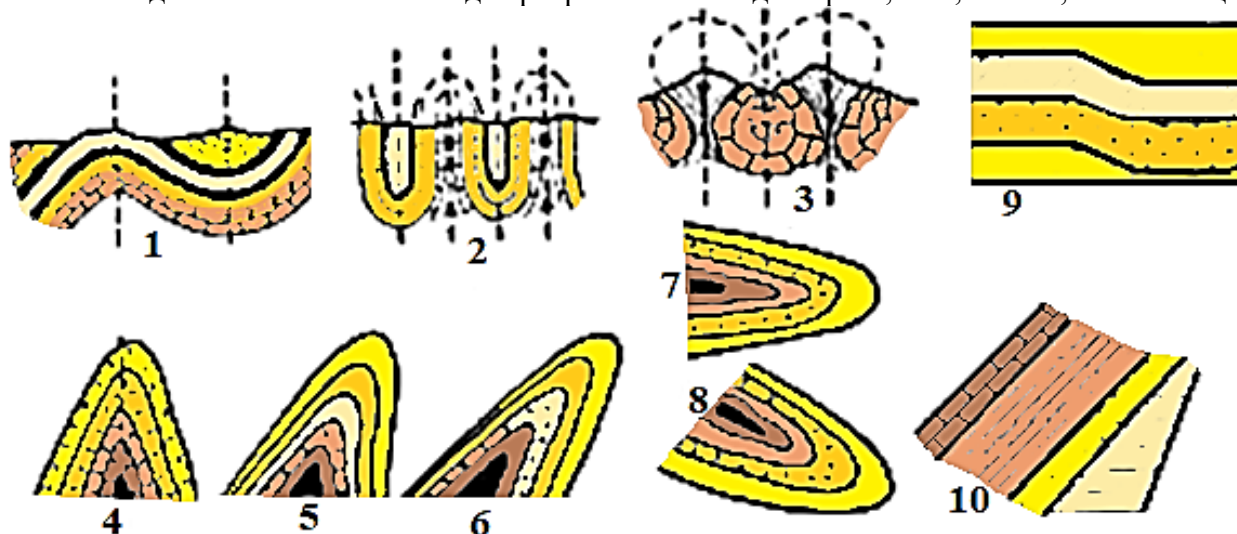


Рис. 2.1. Види складок

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 23

Елементи складок (рис. 2.2):

- 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.

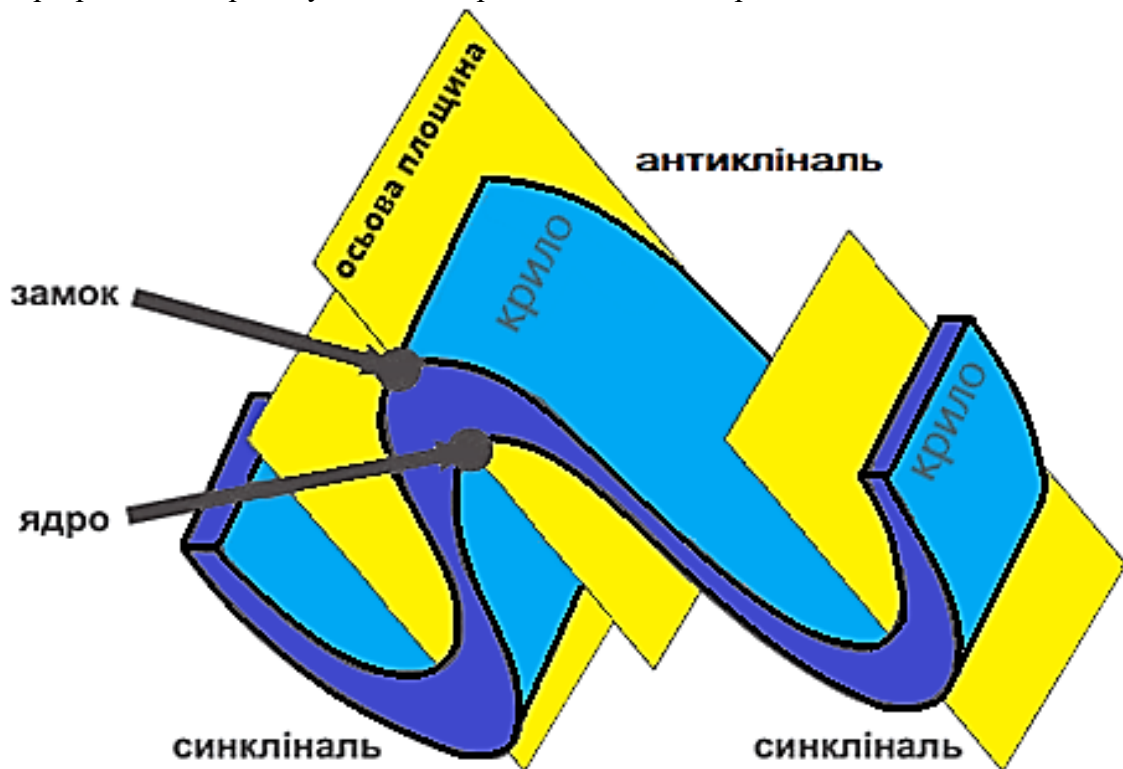


Рис. 2.2. Антиклінальна і синклінальна складки та їх елементи

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

Види розривних дислокацій (рис. 2.3):

- *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 насунанням одного крила на інше по горизонтальній або положистій 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 24

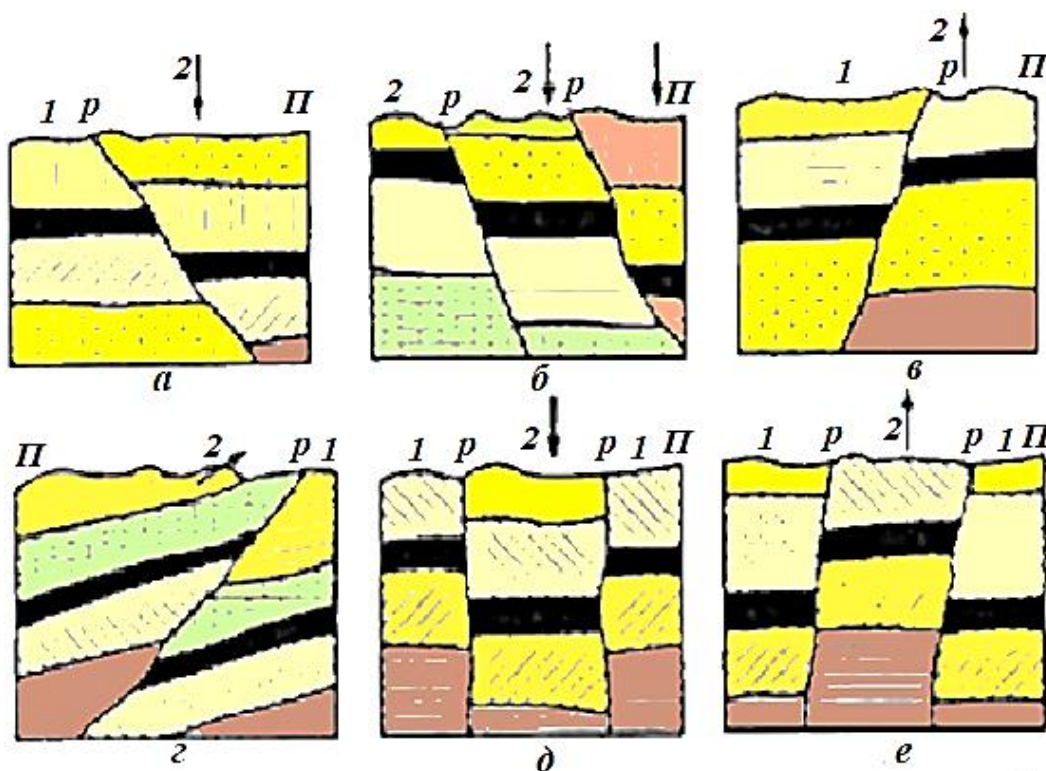


Рис. 2.3. Розривні дислокації:

- 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

Під час будівництва в районах розвитку дислокацій слід враховувати, що 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.

2.2 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* (рис. 2.4).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземляр № 1	Арк 84 / 25

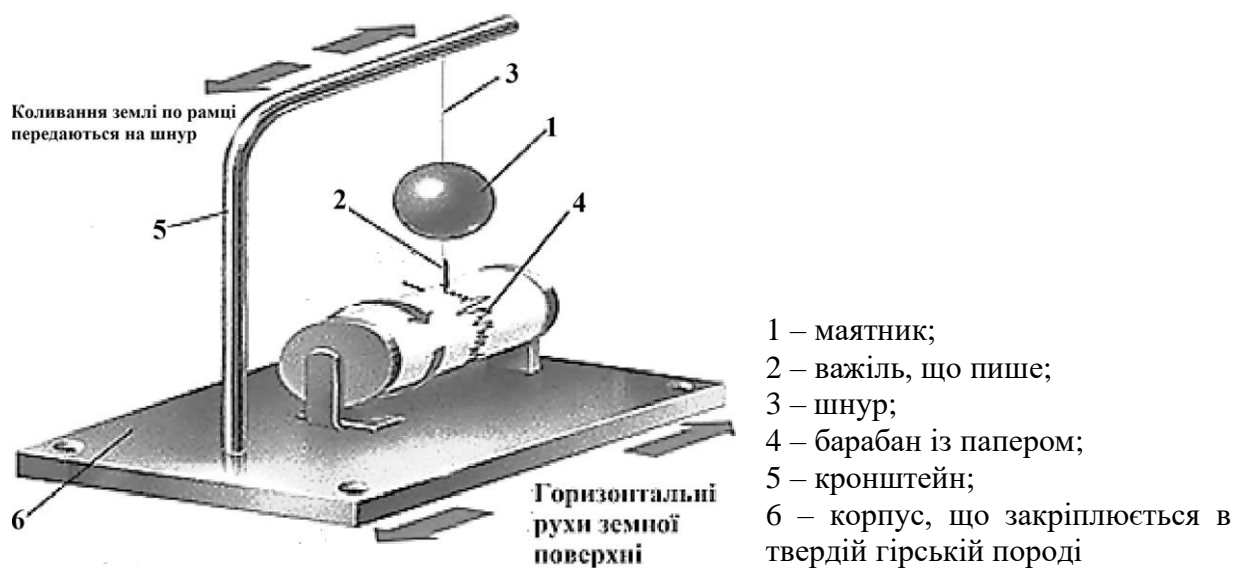


Рис. 2.4. Сейсмограф із вертикальним маятником

Ділянка Землі, де раптово, вибухоподібно виділяється потенційна енергія, називається *гіпоцентром*, а його проєкція на поверхню Землі – *епіцентром* (рис. 2.5). Навколо епіцентру розташовується область найбільших руйнувань – *плейстосейстова область* (рис. 2.5). Лінії, що з'єднують пункти з однаковою інтенсивністю коливань (у балах) називають *ізосейстами* (рис. 2.5).

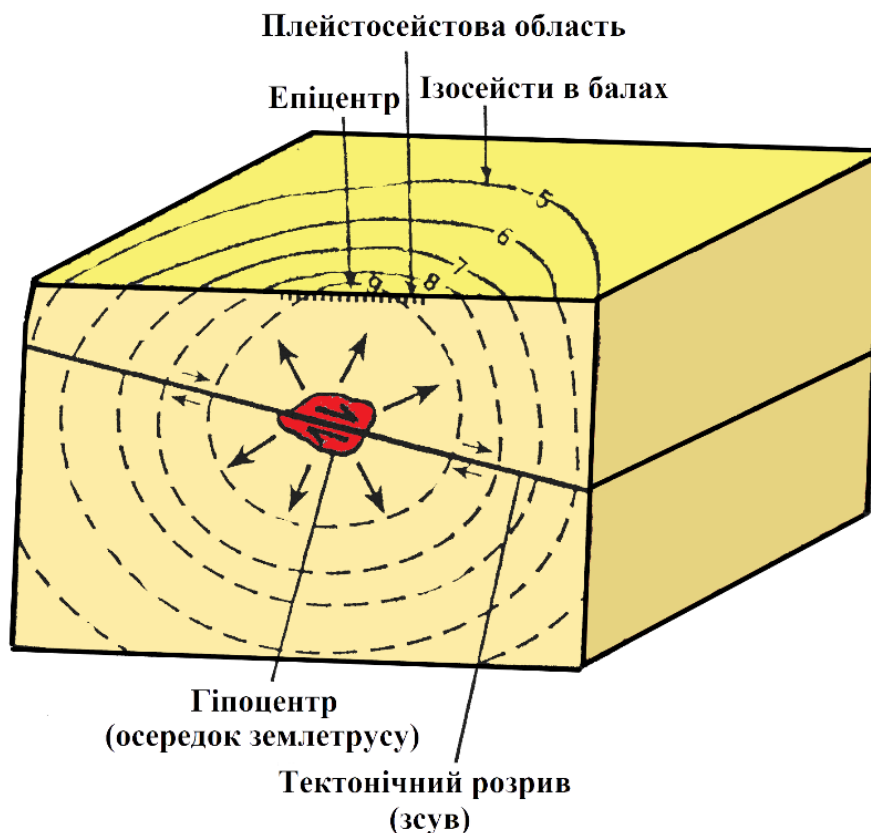


Рис. 2.5. Гіпоцентр та епіцентр землетрусу

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).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 26

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.

Від гіпоцентру хвилі, поступово затухаючи, 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 (M) 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 обчислення бальності можна використати наступну формулу:

$$J = 1.5M + 3.5 \lg^2 \sqrt{L^2 + h^2} + 3$$

Бальність (J) є функцією магнітуди (M), глибини осередку (h) і відстані від розглянутої точки до епіцентру (L).

Магнітуда визначається за сейсмограмою. Під час оцінки руйнівного впливу сейсмічної хвилі велике значення має кут, під яким вона приходить із гіпоцентру до поверхні Землі. Результуюча сейсмічної хвилі розкладається на дві складові – нормальну і горизонтальну. В епіцентрі споруда зазнаватиме лише вертикальних ударів. Найбільші руйнування виникають під дією горизонтальної складової сейсмічної хвилі, що слід враховувати під час оцінки руйнівної дії землетрусу.

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,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 27

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.

2.3. 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. 2.6) або утворюються трансформні розломи. Це тривало діючі правосторонні або лівосторонні зсуви, які в процесі утворення або руйнування кори участі не беруть. Тут переважають зсувні та розривні дислокації.

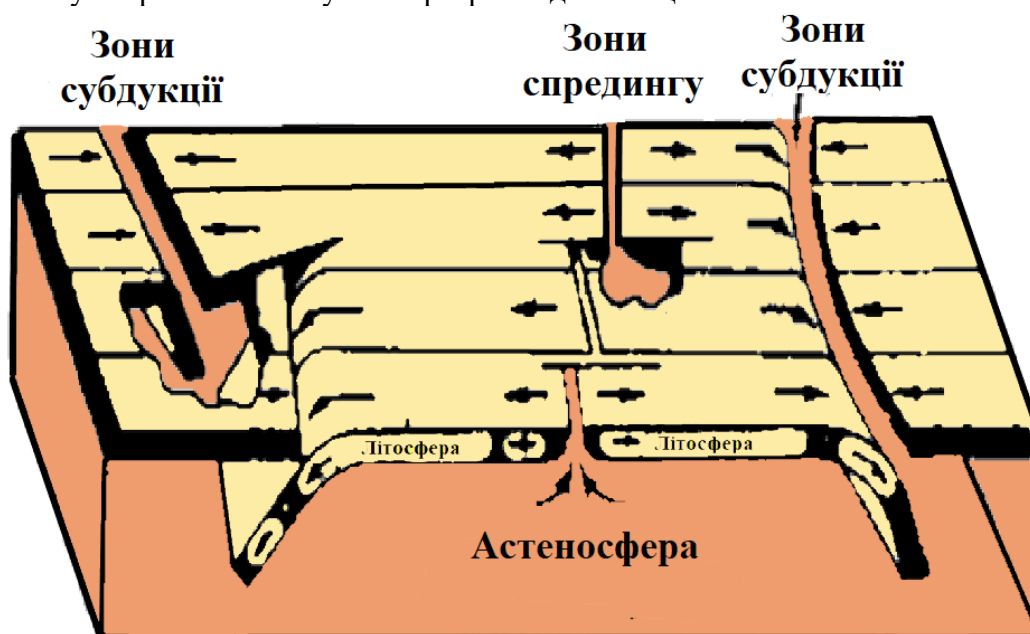


Рис. 2.6. Динаміка зародження (спредингу) і поглинання (субдукції) літосфери

На сьогоднішній день у верхній оболонці Землі виділяють 7 великих плит (рис. 2.7):

1. Тихоокеанська,
2. Євразійська,
3. Індо-Австралійська,
4. Антарктична,
5. Африканська,
6. Північноамериканська,
7. Південноамериканська.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

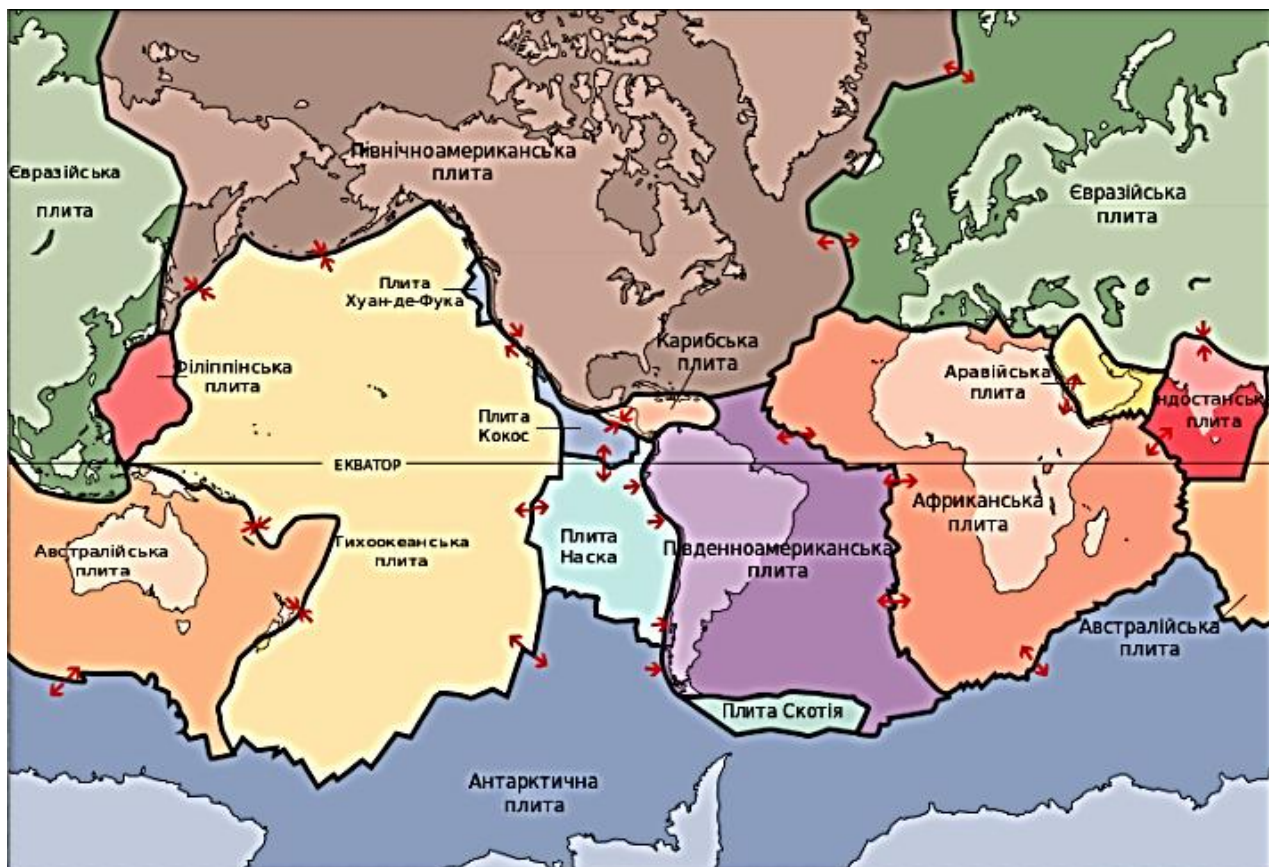


Рис. 2.7. Основні літосферні плити

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	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 29

3. ПРОЦЕСИ ЗОВНІШНЬОЇ ДИНАМІКИ ЗЕМЛІ

3.1. 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.

Екзогенні процеси, що виникають і розвиваються внаслідок господарської або будівельної діяльності людини, називають інженерно-геологічними.

Таблиця 3.1

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.

3.2 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 куласті уламки різної величини.

У вертикальному розрізі виокремлюють кілька підзон вивітреного матеріалу (рис. 3.1), 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.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 30

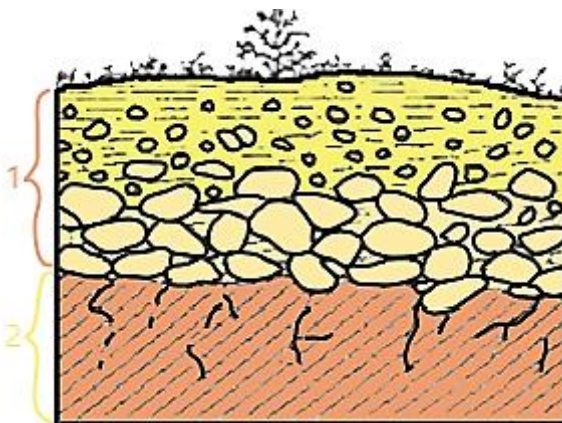


Рис. 3.1. Схема вивітрювання ґрунтових гірських порід

1 – кора вивітрювання; 2 – корінна порода (порода, не зачеплена вивітрюванням)

Хімічне та органогенне 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 породи, що залишилися 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.

3.3 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), *коразії* (обточування), перенесення та акумуляції (накопичення). Це складний єдиний процес.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 31

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, пилюватих 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 проектування 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 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 далеку відстань переносяться вітром пилюваті частинки, які при накопиченні утворюють еолові леси.

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. 3.2.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. 3.2.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.

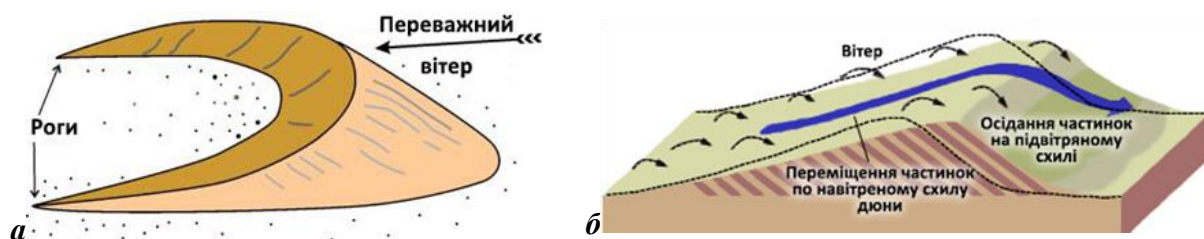


Рис. 3.2. Бархан (а) і дюна (б)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 32

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 лесів ускладнюють будівництво та експлуатацію споруд у районах їхнього розвитку, потрібні спеціальні заходи щодо закріплення ґрунтів і значні фінансові витрати.

3.4 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.

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. 3.3).

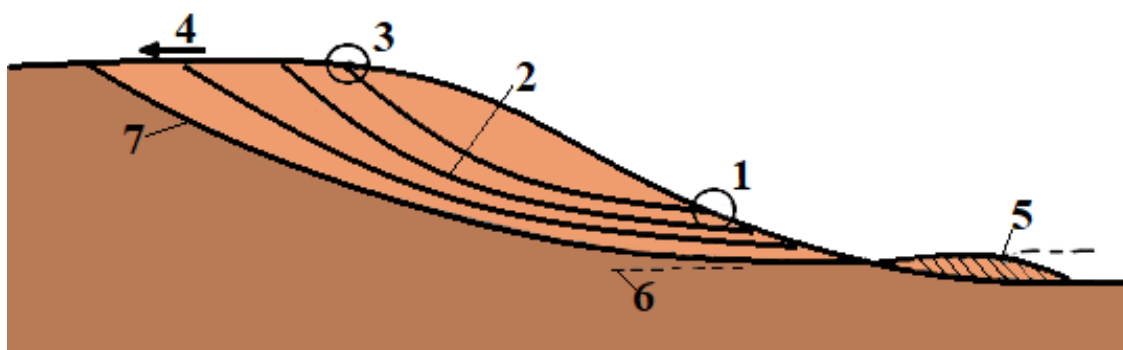


Рис. 3.3. Поздовжній профіль яру

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. 3.4). 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 33

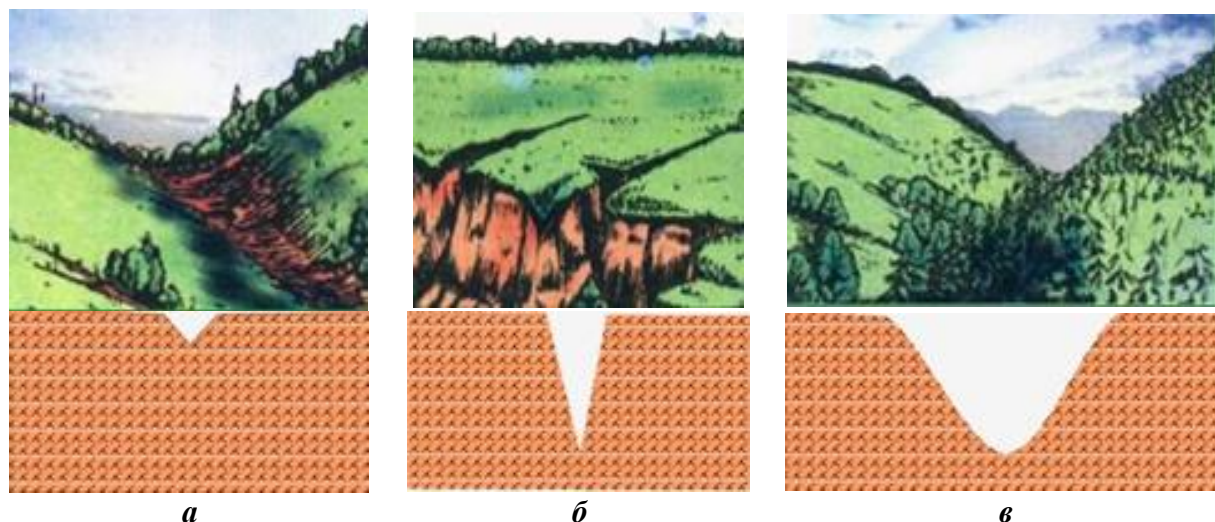


Рис. 3.4. Стадії розвитку яру
а – вимоїна; б – яр; в – балка

3.5 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, 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 витоків 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 (акумуляція). 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 акумуляції 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 34

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 акумуляцією, 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 акумулятивні (вкладені та притулені), ерозійні та змішані (рис. 3.5).

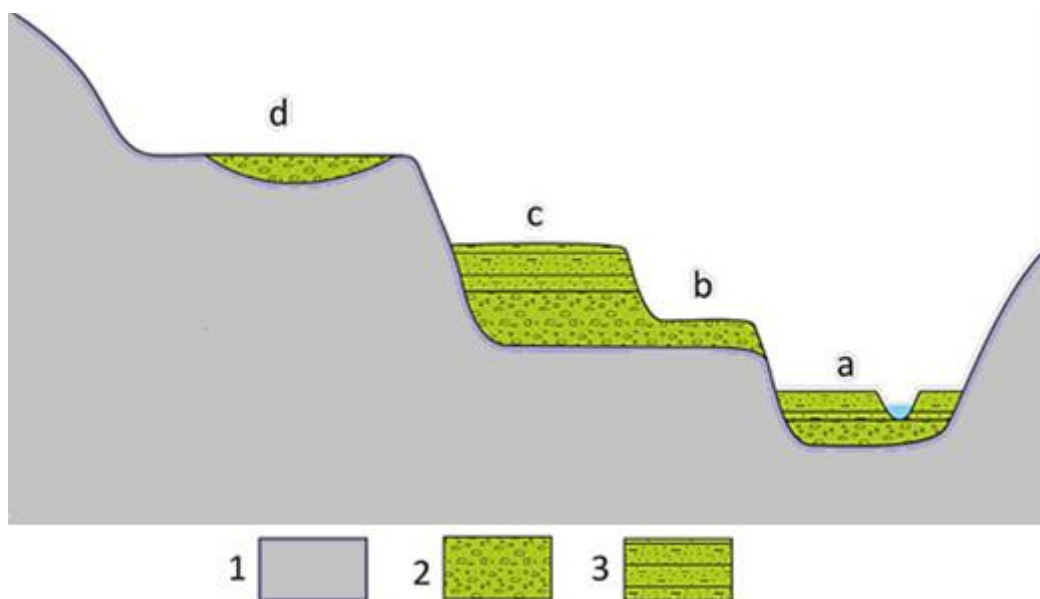


Рис. 3.5. Приклади генетичних видів річкових терас
a – заплава; b – цокольна (перша надзаплатна) тераса; c – акумулятивна (друга надзаплатна) тераса; d – ерозійна (третя надзаплатна) тераса;
1 – корінні породи; 2 – русловий алювій; 3 – заплатний алювій

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;
- заплатні – відклади представлені супісками, суглинками, пілуватими пісками різного складу, нерідко з органічним включенням;
- старичні – відклади містять мулісті 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 35

3.6 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 (акумулятивну) 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 осади.

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 осадкові породи, що часто містять корисні копалини, нафту, горючі речовини.

Руйнівна робота моря (рис. 3.6) 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.

Руйнівна робота моря називається *абразією*. Особливо інтенсивно руйнуються береги, які складені осадковими 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, 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.

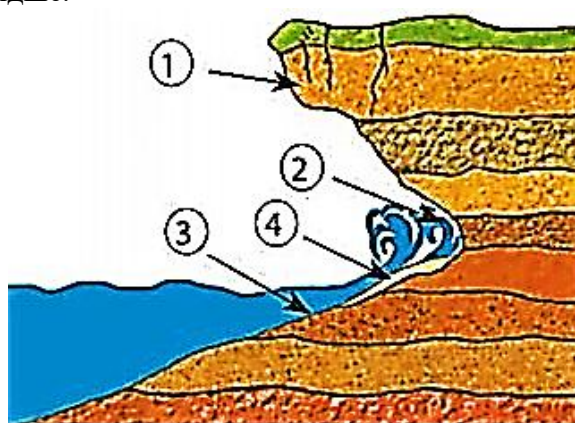


Рис. 3.6. Механізм абразійного процесу

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

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 осади. Під час наступу моря на суходіл (трансгресії) і відступі (регресія моря) фаціальні зони зміщуються і в результаті накопичуються потужні шаруваті товщі морських відкладів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 36

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.

3.7 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.

Западниці, зайняті озерами, мають різноманітне походження:

- тектонічне – озера в западинах тектонічного походження (наприклад оз. Байкал, Ладозьке, Онезьке),
- ерозійне – озера в котлованах розмиву;
- карстове – озера в заповнених водою карстових воронках (наприклад оз. Ая на Алтаї та ін.).
- гребельне і запрудне – озера утворюються внаслідок обвалів, сходження селів, заготовування річок, відсіпання дамб тощо.

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.

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. 3.7). *Верхові* болота розташовуються на рівних вододільних просторах або на високих терасах, живляться переважно за рахунок атмосферних опадів, торф бідний на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

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.

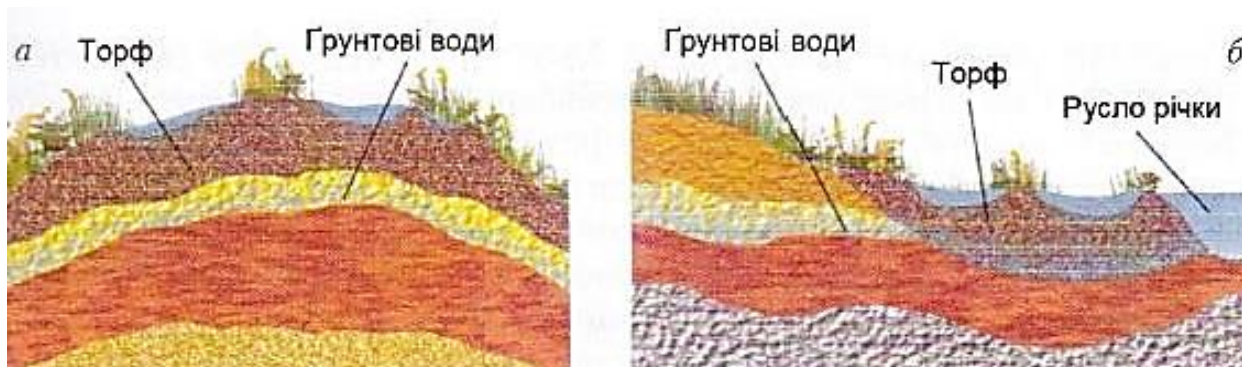


Рис. 3.7. Типи боліт
а – верхове; б – низинне

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 відсипанням або намівом глинистих, піщаних, гравійно-галечникових або щебених 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.

3.8. 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 заледеніння 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.

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 38

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. 3.8).

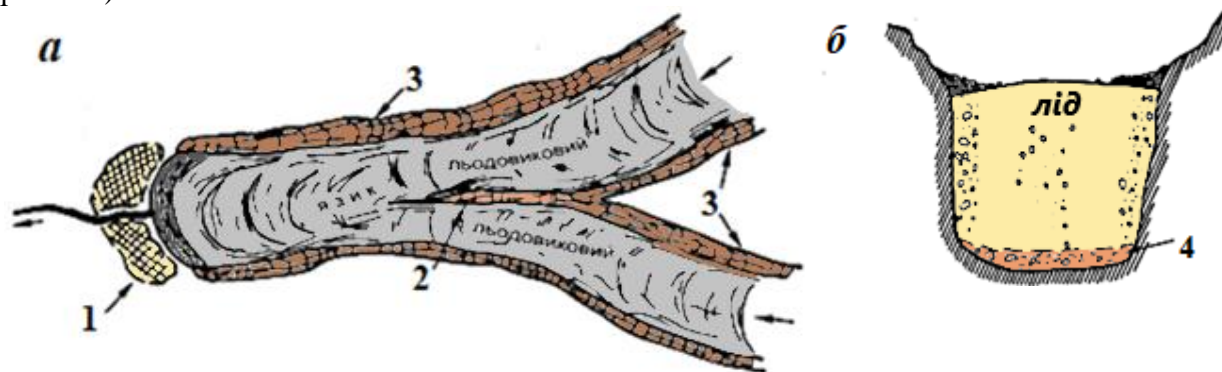


Рис. 3.8. Морени гірського льодовика

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:

- бічні – у вигляді витягнутих валів або гряд уздовж льодовикового язика;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 39

- кінцеві – гряди моренного 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. 3.9).

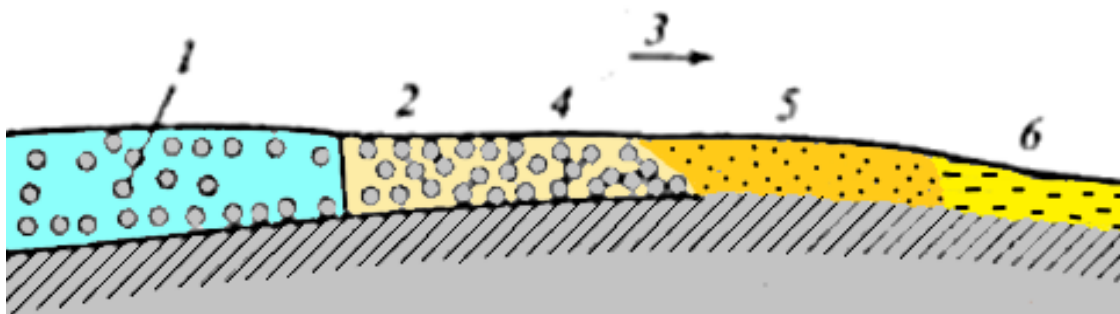


Рис. 3.9. Схема утворення флювіогляціальних відкладів:
1 – льодовик; 2 – кінцева морена; 3 – потік талих льодовикових вод;
4, 5, 6 флювіогляціальні відклади (великі уламки, піски, глини)

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 40

4. ОСНОВИ ГІДРОГЕОЛОГІЇ

4.1. Види води в гірських породах

Вода в природі має широке поширення. Вона міститься в атмосфері, гідросфері та біосфері.

Гірські породи за своїм походженням і внаслідок вторинних процесів (вивітрювання, вилугування, тектонічних зсувів тощо) не є монолітними, а містять у собі пори, пустоти і тріщини найрізноманітніших форм і розмірів. Це полегшує інфільтрацію атмосферних опадів і конденсацію парів води в корі вивітрювання, сприяючи утворенню в ній водоносних горизонтів. Води можуть стікати за ухилом покрівлі водотривких щільних невивітрених або слабо порушених вивітрюванням порід. Води, що знаходяться у верхній частині літосфери, називають *підземними*. Підземні води відіграють велику роль у житті та господарській діяльності людини.

Для будівельників підземні води слугують або джерелом водопостачання, або виступають як чинник, що ускладнює будівництво. Особливо складним є виконання земляних і гірничих робіт в умовах припливу підземних вод, які затоплюють котловани, кар'єри та інші види виробок. Поява підземних вод у пухких породах веде до погіршення їхніх фізико-механічних властивостей. У глинистих породах насичення водою, як правило, призводить до плинності, а в піщаних – до пливучості. У вапняках, гіпсах, кам'яній солі підземні води спричиняють розчинення речовини з утворенням великих пустот.

Види води залежно від того, в якому стані в ґрунтах перебуває вода, вона класифікується таким чином: пароподібна; зв'язана – міцнозв'язана (гігроскопічна), пухкозв'язана; вільна – капілярна, гравітаційна; у твердому стані (лід); кристалізаційна та хімічно зв'язана.

Пароподібна вода. Поряд з іншими компонентами до складу ґрунтової атмосфери входить водяна пара. Зазвичай кількість водяної пари в ґрунтах не перевищує тисячних часток відсотка від загальної ваги ґрунту. Однак водяна пара відіграє велику роль у процесах, які протікають у ґрунтах, через те що може вільно пересуватися в ґрунті за незначної його вологості (що відрізняє її від усіх інших видів води в ґрунтах), а також через те, що під час конденсації пари на поверхні ґрунтових частинок утворюються інші види води.

Пароподібна вода в ґрунті перебуває в постійній динамічній рівновазі з іншими видами води, наприклад, з гігроскопічною і з водяною парою в атмосфері. Пароподібна вода здатна за певних умов конденсуватися.

Можливість утворення з пароподібної води інших видів пов'язана зі здатністю та інтенсивністю адсорбції пароподібної води мінеральними частинками.

Інтенсивність адсорбції визначається різними чинниками, зокрема, вона залежить від відносної пружності водяної пари. Із зростанням пружності кількість адсорбованої вологи зростає. Близько 50 % конденсаційної води адсорбується поверхнею ґрунтових частинок, а частина, що залишилася, конденсується в мікропорах ґрунту, де вона переходить у зв'язану воду.

Особливістю адсорбції водяної пари на поверхні ґрунтових частинок є те, що крім окремих молекул формуються комплекси молекул водяної пари, а це позначається як на кількості адсорбованої вологи, так і на інтенсивності її взаємообміну з ґрунтовою атмосферою і з атмосферою взагалі.

Рухливість пароподібної вологи в певних умовах впливає на властивості ґрунтів, особливо глинистих, лесових, де вона впливає на їхню природну вологість.

Зв'язана вода. Фахівцями, які вивчали поведінку ґрунтів і гірських порід, встановлено, що мінеральні частинки в них оточені низкою концентричних шарів води. Шари води утримуються частинками з різною силою залежно від того, наскільки даний шар води

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 41

близький до мінеральної частинки: чим ближче, тим міцніше він з нею пов'язаний. Зв'язок між плівками води і мінеральними частинками обумовлений молекулярними силами. Зв'язана вода становить понад 40 % усієї води, що міститься в глинистих породах. Присутність різних категорій зв'язаної води в ґрунтах будь-якого складу різко змінює їхній стан і властивості.

За своїми характеристиками зв'язана вода істотно відрізняється від вільної води (зокрема, від тієї, яку ми знаємо в повсякденному житті). Середня густина її знаходиться у діапазоні 1,20-1,40 г/см³. Тут цікаво зазначити, що наявними способами, наприклад механічними, вдається лише ущільнити воду на частки відсотка, і зазвичай, у всіх розрахунках у діапазоні навантажень, які виникають у будівельній практиці, вода приймається як практично нестислива рідина. Зв'язана вода переміщується в ґрунтах у бік падіння електричного потенціалу, збільшення дисперсності ґрунту, більшого вмісту глинистих мінералів, у бік падіння температур ґрунту. Зв'язана вода замерзає за температури, близької до -4 °С.

Зв'язану воду прийнято поділяти на міцнозв'язану і пухкозв'язану.

Міцно зв'язана вода. Максимальна кількість міцно зв'язаної води в ґрунтах приблизно відповідає максимальній гігроскопічності, тобто тій вологості ґрунту, що утворюється під час адсорбції ґрунтовими частинками пароподібної вологи за відносної її пружності, що дорівнює 100 %.

Сама міцно зв'язана вода має кілька різновидів, кожен з яких істотно впливає на властивості порід; наприклад, так звана вода базальних поверхонь глинистих мінералів (поверхні, перпендикулярні ребрам і сколам їхньої кристалічної ґратки) утворює навколо глинистих частинок суцільні плівки води, внаслідок цього величина зв'язку між окремими частинками зменшується, що веде до зниження міцності глинистих ґрунтів. При повному вмісті всіх видів міцнозв'язаної води, тобто при вологості, близької до максимальної гігроскопічності, зазначена втрата міцності глинистими ґрунтами досить значна.

Вміст міцнозв'язаної води в дисперсних ґрунтах визначається їхнім мінералогічним складом, дисперсністю, ступенем однорідності, формою і характером поверхні мінеральних частинок, а також складом обмінних катіонів у них.

Залежно від комплексу чинників вміст міцно зв'язаної води лежить у межах 0,2-30 % (у монтморилонітових глинах вміст цієї води доходить до 20 %, а в каолінітових – лише близько 1 %).

Пухкозв'язана вода за своїми властивостями істотно відрізняється від міцнозв'язаної, наприклад, має густину, близьку до густини вільної води. Пухкозв'язана вода поділяється на плівкову та осмотичну.

Плівкова волога ніби наділяє собою міцно зв'язану і утримується молекулярними силами значно меншою мірою, хоча природа її взаємодії з частинками вельми близька до поведінки міцнозв'язаної вологи, але вона рухливіша і диполі молекул води у водній оболонці зорієнтовані відносно частинки ґрунту значною мірою гірше. Сумарний вміст всіх видів міцнозв'язаної та плівкової води становить вологість, яка називається максимальною молекулярною вологоємністю ґрунтів $W_{м.м.в.}$. Величина максимальної молекулярної вологоємності показує, яка кількість зв'язаної води міститься в ґрунті під впливом поверхневих сил тяжіння ґрунтових частинок. Максимальна молекулярна вологоємність у піску в середньому близько 1-2 %, а в монтморилонітових глинах може досягати майже 135 %.

Осмотична вода утворюється внаслідок проникнення молекул води з ґрунтових розчинів. Цей вид води вельми слабо пов'язаний із поверхнею ґрунтових частинок, рухливість її вельми близька до рухливості вільної води і за структурою та властивостями практично від неї не відрізняється.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 42

Наявність у ґрунтах осмотичної вологи обумовлює, особливо в глинистих ґрунтах, їхню пластичність у цілком визначених для різних ґрунтів діапазонах вологості.

Вільна вода. Розглянемо спочатку капілярну вологу.

Капілярну воду поділяють на три види: 1) вода кутів пор; 2) підвішена вода; 3) власне капілярна вода.

Перший вид води (вода кутів пор, або стикова вода) іноді називають капілярно-роз'єднаною водою або капілярно-нерухомим станом вільної ґрунтової води. Цими назвами цілком чітко характеризується цей вид води. Вода кутів пор зазвичай утворюється в місцях зіткнення – на контактах частинок – у вигляді окремих крапель, що займають звужені частини пор і обмежені менісками води. Вміст цього виду води, наприклад у пісках, становить 3-5 %, у супісках – 4-7 %. Зі зростанням дисперсності кількість води до певної межі зростає.

При збільшенні вологості ґрунту капілярні пори можуть бути повністю заповнені водою, у цьому разі капілярну воду підрозділяють на власне капілярну і підвішену воду (залежно від того, з'єднується вона з рівнем ґрунтових вод чи ні).

Власне капілярна вода формується шляхом підняття води вгору від рівня ґрунтових вод, утворюючи під ґрунтовими водами в масиві ґрунту капілярну облямівку. Потужність капілярної облямівки визначається висотою капілярного підняття H_k . Капілярне підняття залежить від низки чинників, наприклад, ступеня дисперсності, неоднорідності ґрунту, його мінералогічного складу, форми і характеру поверхні ґрунтових частинок, щільності та пористості ґрунту (наприклад, у пісках вона дорівнює в середньому 50 см, а в супісках та інших глинистих ґрунтах доходить до 2 - 3 м).

При зменшенні капілярної води у зв'язку з висиханням ґрунту спостерігається її відновлення завдяки підйому по капілярних порах нових порцій води з водоносних горизонтів, подібно до того, як це відбувається в капілярній трубіці, опущеній одним кінцем у воду.

Вологість ґрунту, у якого всі капілярні пори заповнені водою, називають капілярною вологоємністю, яка залежить від тих самих чинників, що й висота капілярного підняття, а також такої специфічної характеристики, як капілярна пористість.

У разі промочування ґрунтів зверху, наприклад, під час атмосферних опадів, при зведенні ґрунтових гребель гідромеханізацією або відсипанням, при зволоженні й укочуванні ґрунту, а також в інших випадках, що виникають у будівельній практиці, у ґрунтах утворюється *підвішена вода*. Найчастіше формування її відбувається в пісках, як в однорідних, так і шаруватих їхніх товщах. Утворення підвішеної води залежить від гранулометричного складу піску та його вихідної вологості.

Найбільша кількість підвішеної вологи, яка може утримуватися ґрунтом, називають *найменшою вологоємністю* або водоутримувальною здатністю ґрунту. Уся волога, яка надходить в ґрунт понад величину найменшої вологоємності, стікає по порах у нижчі шари масиву або шаруваті товщі ґрунту.

Капілярна вода, подібно до гравітаційної води, передає гідростатичний тиск, за іншими властивостями вона має як подібності, так і відмінності, наприклад, температура замерзання в неї, як і в зв'язаній воді, може бути значно нижчою за нуль.

Ця вода здатна переноситися шляхом різниці температур (від холоду до тепла), розчиняти та переносити солі; при випаровуванні води ці солі кристалізуються і цим руйнують структуру ґрунтів і будівельних матеріалів, наприклад у дорожньому одязі.

Гравітаційну воду поділяють на: 1) просочувальну і 2) воду ґрунтового потоку.

Перший вид води переважно розташовується в *зоні аерації* (частині ґрунтового масиву, що розташовується між поверхнею землі та поверхнею ґрунтових вод; у цій зоні ґрунт перебуває в трифазному стані: мінеральні частинки-повітря-вода) і переміщується під дією гравітаційної сили зверху вниз. Цей рух триває доти, доки вода не зустрине на своєму

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 43

шляху шар ґрунту, що має малу водопроникність – фактично водонепроникний, водотривкий горизонт. Після цього подальший рух води відбувається під впливом напору у вигляді потоку ґрунтових вод. Шар ґрунту, в якому рухається вода ґрунтового потоку, називають *водоносним горизонтом*.

У різних за ступенем дисперсності та неоднорідності ґрунтах кількість гравітаційної води може бути різною: так, у крупноуламкових ґрунтах (гравій, галька) і в грубозернистих пісках гравітаційна вода переважає над іншими видами води.

Максимально можливий вміст у ґрунті зв'язаної, капілярної та гравітаційної води за повного заповнення його пор називають повною *вологомісткістю ґрунту*.

Гравітаційна вода має всі властивості звичайної води. Вона містить у собі розчинені солі та гази, а також речовини в колоїдальному стані. Загальна мінералізація лежить у межах від кількох сотень міліграмів до кількох сотень грамів на літр, наприклад, солоність морської води дорівнює 35 г/л.

Мінералізація підземних вод збільшується з глибиною. Розчинені у воді солі перебувають у рухомій рівновазі з твердою складовою ґрунтів і взаємодіють із нею.

Гравітаційна вода практично завжди перебуває в русі. Проблема динаміки підземних вод і впливом їх на будівельні властивості масивів і шаруватих товщ ґрунтів займається наука *гідрогеологія*. Рухома вода здатна до розчинення гірських порід, виносу з них частинок, тобто до зміни структури і складу ґрунтів, до утворення та активізації геологічних процесів.

Вода у твердому стані. За температур нижче нуля гравітаційна вода замерзає і міститься в ґрунті у вигляді льоду. Лід може формувати в ґрунті як прошарки різної, іноді значної потужності, так і розсіяні в його товщі окремі кристали. Кристалічний лід у більшості випадків відіграє роль природного цементу, що скріплює мінеральні частинки одна з одною. Присутність льоду різко змінює властивості ґрунту.

Властивості мерзлих пухких ґрунтів залежать від змін температури, особливо при коливаннях її близько 0 °С, оскільки поблизу цієї межі різко змінюється кількість у ґрунті незамерзлої води. Співвідношення вмісту незамерзлої води і льоду в ґрунті впливає на зміну більшої частини фізичних і хімічних властивостей дисперсних мерзлих ґрунтів.

Різка зміна будови ґрунтів відбувається під час міграції вологи і виділення льоду в процесі промерзання дисперсних, особливо глинистих, ґрунтів. Ці зміни тягнуть за собою природну зміну фізичних і механічних властивостей ґрунтів. Слід мати на увазі, що повторне замерзання і відтавання дисперсних порід призводять до незворотних змін структури (й в тому числі ступеня дисперсності) і властивостей цих порід, так, наприклад, збільшується кількість вільної води, зростає фільтраційна здатність, змінюються міцність, електричні та інші властивості.

Вологі піщані ґрунти при промерзанні різко змінюють свої властивості вже при близьких до нуля негативних температурах; глинисті ж ґрунти при замерзанні змінюють свої властивості більш плавно, монотонно і в більш значному діапазоні негативних температур. Незруйновані скельні породи під час промерзання змінюють свої фізичні та механічні властивості найменшою мірою. Вивченням властивостей мерзлих ґрунтів займається *мерзлотознавство*. Мерзлі ґрунти поширені, тому в будівництві їх використовують дуже часто. Крім того, значні території країни належать до кліматичних зон, де ґрунти зазнають постійного (щорічного) сезонного промерзання-відтавання.

Кристалізаційна та хімічно зв'язана вода, яку часто називають конституційною, бере участь у формуванні кристалічних ґраток різних мінералів. Так, вода входить до складу таких мінералів, як гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) і низки інших. *Кристалізаційна вода*, беручи участь у будові кристалічної ґратки мінералів, зберігає свою молекулярну форму.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 44

Хімічно зв'язана вода входить до складу таких сполук, як, наприклад, лимоніт ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Ця вода не зберігає своєї молекулярної єдності, проте міцніше, порівняно з кристалізаційною, пов'язана з іншими молекулами кристалічних ґраток.

Для того щоб видалити хімічно зв'язану воду з мінералу, його потрібно нагріти приблизно до 200°C , а це може призвести до розпаду (руйнування) мінералу.

У хімічно зв'язаній воді, на відміну від кристалізаційної, у деяких випадках іон водню може заміщуватися іоном металу (Ca, Mg, Na, K, Fe).

Хімічно зв'язана і кристалізаційна вода або одна з них присутні у вторинних мінералах. Серед первинних мінералів значна кількість безводних. Тому в глинистих ґрунтах вода, що входить у кристалічні ґратки мінералів, відіграє значнішу роль, ніж у піщаних ґрунтах.

4.2. Підземні води

Вивчення походження підземних вод, руху, складу та їхніх властивостей займається наука *гідрогеологія*.

Підземні води класифікуються за гідравлічними ознаками, за температурою, за хімічним складом тощо.

За гідравлічною ознакою підземні води поділяються на: безнапірні, напірні.

1. *Безнапірні води* в свою чергу поділяються на:

- верховодку (рис. 4.1) – накопичується в зоні аерації над обмеженими за площею водотривами; має сезонний характер і непостійний хімічний склад
- ґрунтові води (рис. 4.1) – це води над першим від поверхні водотривом; розрізняють: зону аерації, зону насичення, зону капілярного підняття (облямівка);
- міжпластові води – залягають між двома водотривками шарами, живлення йде в місцях виклинювання верхнього водотриву або його розмиву.

2. *Напірні води*, умовами залягання яких є наявність водоносного горизонту між двома водотривами при плікативних дислокаціях – моноклінального або антиклінального залягання шарів, коли області живлення за абсолютними відмітками вищі за області дренажування (рис. 4.2, 4.3).

За температурою підземні води прийнято поділяти на:

- холодні $t < 20^\circ\text{C}$
- теплі t від 20°C до 40°C
- гарячі $t > 40^\circ\text{C}$

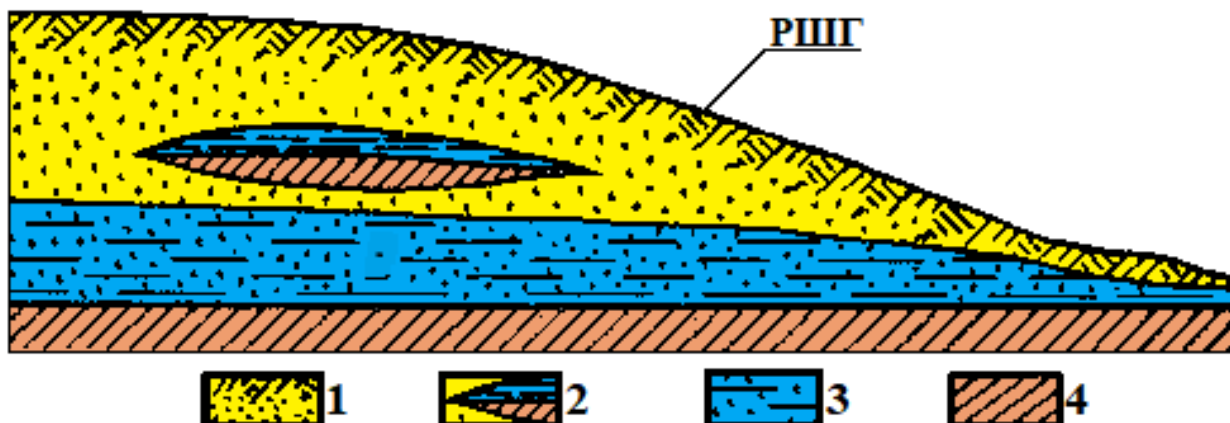


Рис. 4.1. Схематичне зображення верховодки та ґрунтових вод

1 – водопроникний шар; 2 – верховодка; 3 – ґрунтова вода; 4 – водотривкий шар

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 45

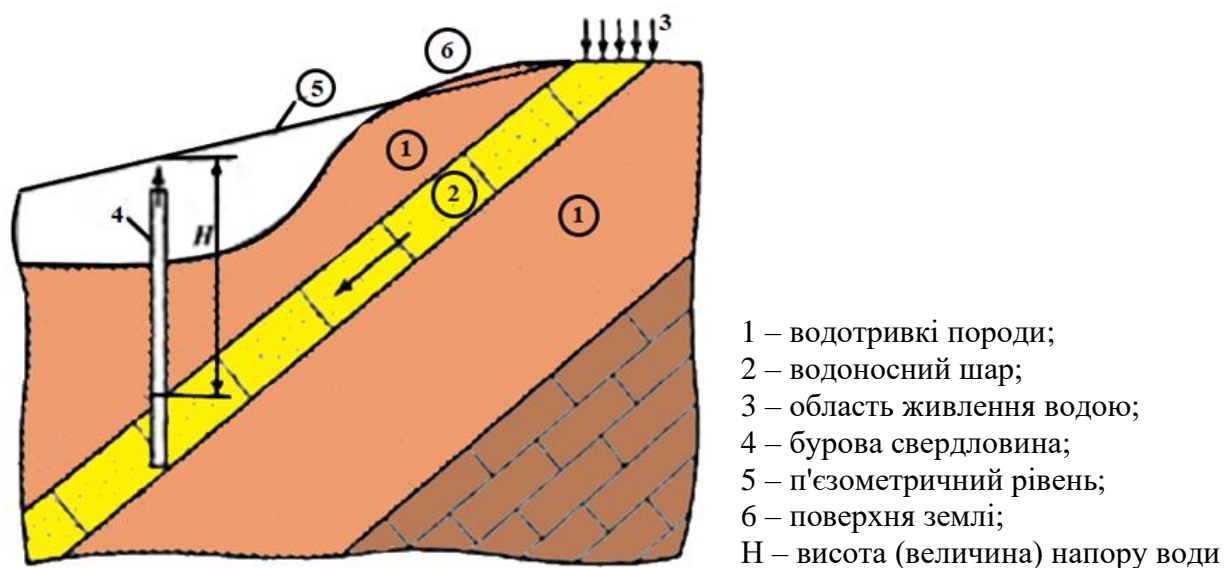


Рис. 4.2. Артезійська вода при моноклінальному заляганні шарів

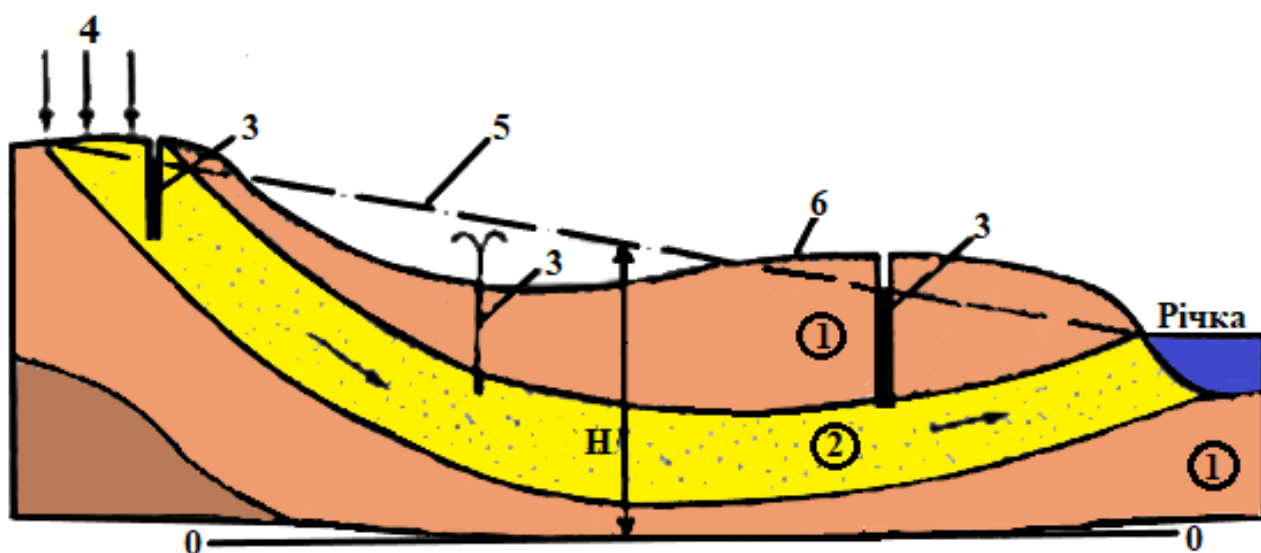


Рис. 4.3. Артезійський басейн (в умовах синклінального залягання шарів порід)

- 1 – водотрив; 2 – водонапірний шар; 3 – бурові свердловини;
4 – область живлення водою; 5 – п'езометричний рівень;
6 – поверхня землі; H – висота (величина) напору води

Під час будівництва фундаментів і підземних споруд у зоні впливу підземних вод останні аналізуються на предмет їхнього агресивного впливу на конструкції. Види агресії: загальнокислотна, вуглекисла, сульфатна, магнезіальна, вилуговувальна. Розрахунки проводять за нормативними документами. Залежно від виду агресивності ґрунтових вод вживають заходів щодо захисту конструкцій.

Вік ґрунтових вод визначають за віком вміщувальних порід. Наприклад, юрські, четвертинні тощо.

Вільну поверхню ґрунтових вод називають *дзеркалом* або рівнем ґрунтових вод. За умовами свого залягання ці води можуть утворювати потоки, озера або басейни. Територія, на якій води просочуються в гірські породи, називається *областю живлення*. Площу, у межах якої вони залягають, називають *областю поширення*. Місцевість, де ґрунтові води

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 46

виходять на поверхню, називають *областю дренажу*. Поверхневі шари гірських порід, що не містять вільної води, називають зоною аерації.

Рівень ґрунтових вод не залишається постійним. Його коливання залежать від пори року, кількості опадів, що випадають, розташування ділянки відносно поверхневих водойм або постійних водотоків. Крім того, як показав досвід будівництва в багатьох містах, рівень ґрунтових вод значно підвищується внаслідок інфільтрації промислових і питних вод під час експлуатації інженерних водоводів.

Знання режиму, напряму та швидкості руху води потоку ґрунтових вод має важливе значення для будівництва.

Наприклад, за результатами вишукувальних робіт, виконаних у посушливу пору року, буде дано висновок про глибоке залягання ґрунтових вод. Однак під час танення снігового покриву або в дощовий сезон рівень ґрунтових вод різко підвищиться і може викликати труднощі не тільки в період будівництва, а й під час експлуатації споруди. Під час витoku неочищених стічних вод відбувається забруднення ґрунтового потоку, і дуже важливо, щоб ці води не проникали в санітарні зони та області живлення водозабірних свердловин.

4.3. Гідрогеологічні карти та динаміка підземних вод

Для оцінки гідрогеологічних умов місцевості, виявлення можливостей водопостачання, влаштування полів фільтрації, зрошення або осушення території, а також боротьби з карстовими провалами та зсувами складають гідрогеологічні карти.

З усіх видів спеціальних гідрогеологічних карт найбільший інтерес і практичне значення для інженерних цілей мають карти гідроізогіпс.

За відсутності карти гідроізогіпс для розв'язання гідрогеологічних завдань, визначення напряму руху ґрунтових вод і аналізу гідрогеологічних умов застосовують метод свердловин. Заміри рівня ґрунтових вод роблять обов'язково в один і той самий час у всіх трьох свердловинах. Свердловини розташовують по кутах трикутника, довжина сторін якого зазвичай від 50 до 300 м.

Гідроізогіпси – це лінії, що з'єднують однакові рівні ненапірних підземних вод. Напрямок потоку визначається як найкоротша відстань між двома гідроізогіпсами в будь-якому місці площадки. Потік спрямований від більшої гідроізогіпси до меншої. Залежно від положення ліній струмів розрізняють потоки плоскі (рис. 4.4 а) – лінії струмів паралельні між собою, радіальні (рис. 4.4 б, в) – лінії струмів розходяться або сходяться, криволінійні (рис. 4.4 г). За наявності декількох видів потоків в одному, його називають складним.

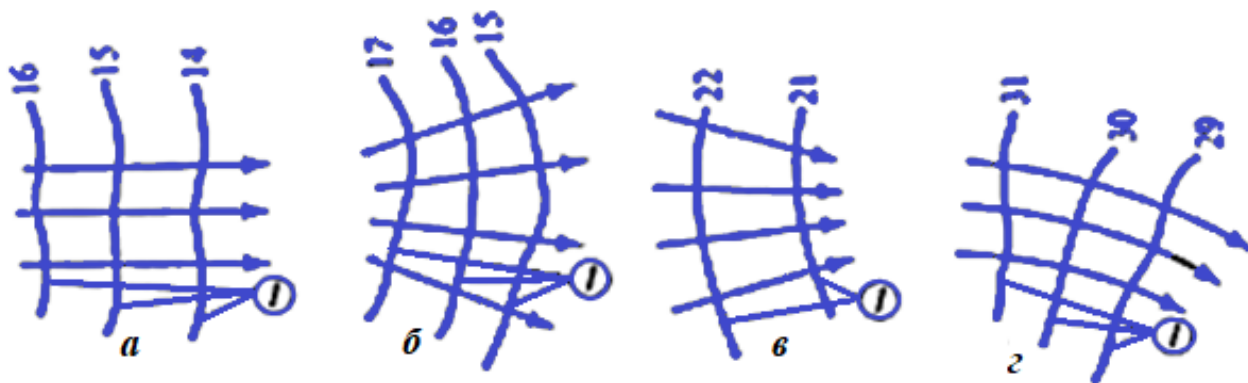


Рис. 4.4. Форми потоків ґрунтових вод
а – плоский; б – радіальний, що розходиться;
в – радіальний, що сходиться; г – криволінійний

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 47

Види водозаборів. Водозабори можуть бути досконалими, коли свердловиною або колодязем пройдено весь водоносний шар і приплив води йде зі стінок на всю потужність водоносного шару і недосконалими, коли водоносний шар повністю не розкритий, а приплив води йде з dna колодязя і зі стінок на розкриту потужність (рис. 4.5).

Рух підземних вод у порах і тріщинах у зоні аерації відбувається за неповного заповнення пор водою і називається *інфільтрацією*. У зоні насичення рух підземних вод відбувається за повного заповнення пор водою, називається *фільтрацією* і підпорядковується закону Дарсі.

$$Q=k \times J \times w;$$

де Q – витрата води в м³/добу;

k – коефіцієнт фільтрації, що характеризує водопроникність породи, м/добу;

J – напірний коефіцієнт – втрата напору на одиницю довжини шляху, величина безрозмірна;

w – поперечний переріз водоносного пласта, м².

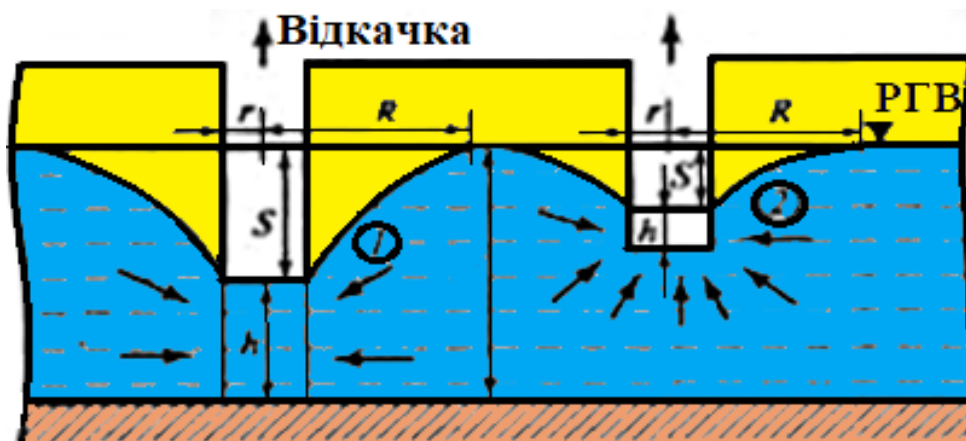


Рис. 4.5. Водозабірні колодязі досконого (1) і недосконого (2) видів

4.4. Боротьба з підземними водами при зведенні та експлуатації споруд

При високому рівні ґрунтових вод, у період будівництва та експлуатації споруд застосовують штучне водозниження. Вибір раціонального способу водозниження залежить від характеру споруджуваного або побудованого об'єкта, геологічної будови та гідрогеологічних умов будівельного майданчика.

Тимчасове зниження рівня ґрунтових вод застосовують на період будівництва і називають будівельним водозниженням, а довгочасне – на період експлуатації споруд, і його називають *дренажем*.

Залежно від призначення та геологічних умов застосовують горизонтальні, вертикальні та комбіновані дренажні системи.

Горизонтальний дренаж забезпечує водозниження за допомогою каналів, траншей та підземних галерей, які мають певний нахил у сторону їх підведення до відкритих водоймищ або у мережу зливової каналізації.

Горизонтальний дренаж може бути відкритим (тимчасове водозниження) та закритим (рис. 4.6).

Найбільш простим та дешевим способом зниження рівня ґрунтових вод є відкритий дренаж. Але при ньому ґрунтові води можуть викликати обвалювання стінок каналів, обливання відкосів котлованів та інші небажані явища.

При закритому дренажі на дно траншеї кладуть перфоровані труби різного діаметру залежно від дебіту водоносного горизонту. При цьому живий перетин труби, тобто рівень

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 48

води, що заповнює трубу, не повинен перебільшувати 2/3 її діаметра. Для запобігання замуленню її обсапають декількома шарами піску та гравію. Глибина горизонтальних дрен не більше 5-6 м.

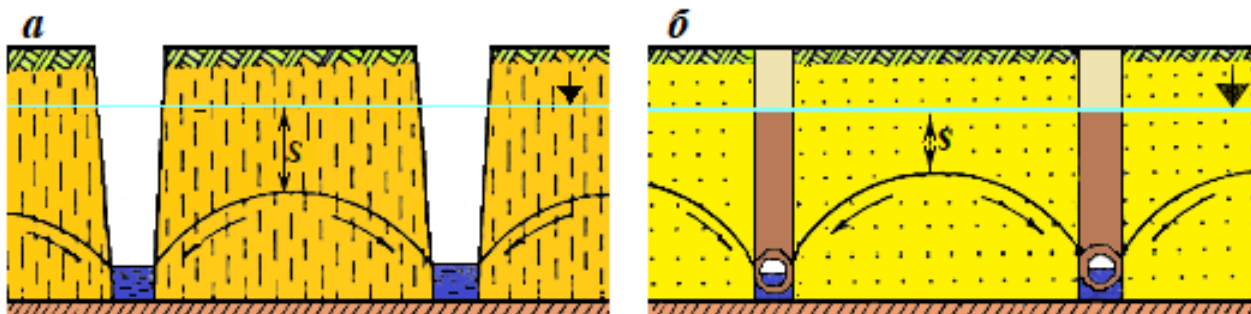


Рисунок 4.6. Дренажні траншеї
а – відкриті; б – закриті

Вертикальний дренаж забезпечує зниження рівня ґрунтових вод за допомогою водознижуючих свердловин, відкачуванням насосами або водоскидом у нижчі водопроникні ненасичені водою гірські породи.

Найбільш розповсюдженим способом водозниження є система голкофільтрів з тонких металевих труб, які занурюють навколо котловану або по лінії, перпендикулярній течії ґрунтових вод. Нижні кінці труб обладнані фільтрами, а верхні приєднують до усмоктувального колектору. Легкий голкофільтровий пристрій знижує рівень ґрунтових вод на 4,5-5 м у піщаних породах з коефіцієнтом фільтрації від 1-2 до 40÷50 м/добу. Для зниження рівня води у пілуватих пісках та супісках з $k_f=0,01\div 1,0$ м/добу застосовують ежекторні голкофільтри, за допомогою яких у водонасичених ґрунтах утворюється вакуум, покращується водовіддача та посилюється ефект водозниження.

Якщо відстань між свердловинами менша двох радіусів депресії, то при одночасному відкачуванні води такі свердловини взаємодіють. Це призводить до змикання кривих депресії, утворення загальної зони зниження рівня підземних вод (рис. 4.7).

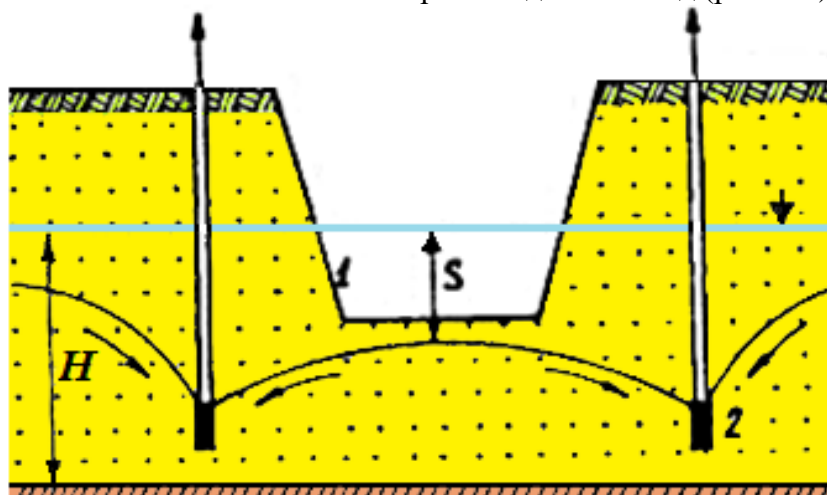


Рис. 4.7. Осушення будівельного котловану голкофільтрами:
1 – будівельний котлован; 2 – голкофільтри

Залежно від конфігурації в плані споруд застосовують лінійні, кільцеві (контурні) та площинні водознижуючі системи.

Лінійні системи водознижуючих установок використовують для захисту витягнутих в плані виробок типу траншей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 49

Кільцеві (або контурні) установки використовують при значних розмірах осушуваної зони, коли лінійні системи не можуть осушити водоносний пласт. Залежно від потрібної глибини зниження і складності гідрогеологічних умов використовують один або декілька контурів водознижуючих установок.

Площинні системи водознижуючих установок застосовують для зниження рівня підземних вод в межах усієї осушуваної зони.

При тривалому водозниженні (дренаж) застосовують головний береговий (лінійні системи), кільцевий (контурні системи) та систематичний (площинні системи) дренажі.

Головний дренаж використовують для зниження рівня ґрунтових вод, живлення яких відбувається зі сторони. Ґрунтові води перехоплюються горизонтальними або вертикальними дренами, які закладають вище осушуваної ділянки (рис. 4.8).

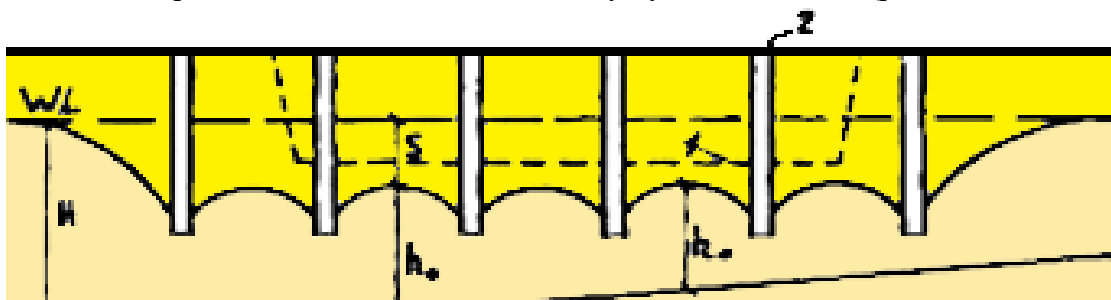


Рисунок 4.8. Головний дренаж

1 – котлован; 2 – вертикальні дрени;

H – потужність водоносного горизонту; S – величина зниження рівня ґрунтової води; h – висота зниженого рівня води; WL – рівень ґрунтових вод

Береговий дренаж застосовують для перехоплення підземних вод, розташованих поблизу відкритих водоймищ. За його допомогою відводять фільтраційний потік, який рухається у берегову зону ріки у період повені при підвищенні рівня води у водоймищі.

Кільцевий дренаж проектують для боротьби з підтопленням окремих споруд з глибокими фундаментами, наприклад підземних ємностей і резервуарів (рис. 4.9). Він може забезпечити повне перехоплення води по контуру осушуваної ділянки, знизити напори та рівні підземних вод і тим самим запобігти спливанню підземних ємностей при їх спорожненні.

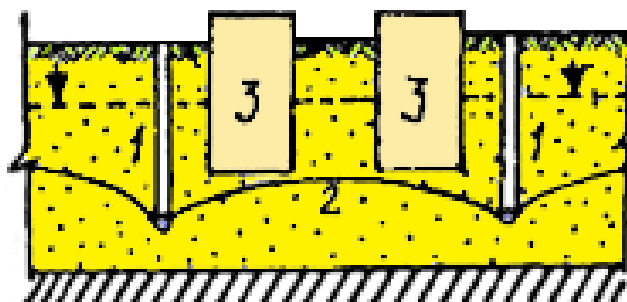


Рисунок 4.9. Кільцевий дренаж горизонтального типу

1 – кільцева дрена; 2 – знижений рівень ґрунтових вод; 3 – резервуари

Систематичний дренаж доцільний для осушення рівнинної ділянки з неглибоким заляганням підземних вод. Дренаж складається з окремих дрен, які забирають воду з ґрунту, та колектора, який відводить воду за межі дренаваної зони.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 50

5. ОСНОВИ ГРУНТОЗНАВСТВА

Грунт – це гірські породи, родючі ґрунти, техногенні утворення, що являють собою багатокomпонентну геологічну систему і є об'єктом інженерно-господарської діяльності людини.

Грунти можуть слугувати:

- матеріалом основи будівель і споруд;
- середовищем для розміщення в них споруд;
- матеріалом самої споруди.

5.1. Класифікація ґрунтів

Класифікація ґрунтів відображає їхні властивості. Нині ґрунти, згідно з ДСТУ Б В.2.1-2-96, поділяють на такі класи: природні: скельні, дисперсні, мерзлі та техногенні утворення. Кожен клас має свої підрозділи. Так, ґрунти скельних, дисперсних і мерзлих класів діляться на групи, підгрупи, типи, види і різновиди, а техногенні ґрунти спочатку поділяються на два підкласи, а далі також на групи, підгрупи, типи, види та різновиди.

Класифікація ґрунтів, згідно з ДСТУ Б В.2.1-2-96.

I. *Скельні ґрунти* – їх структури мають жорсткі кристалічні зв'язки (наприклад граніт, вапняк). Клас включає дві групи ґрунтів:

1) скельні, куди входять три підгрупи порід: магматичні, метаморфічні, осадові зцементовані та хемогенні;

2) напівскельні у вигляді двох підгруп – магматичні, що вилилися, і осадові породи типу мергелю і гіпсу.

Поділ ґрунтів цього класу на типи базується на особливостях мінерального складу: наприклад, силікатного типу – гнейси, граніти; карбонатного типу – мармур, хемогенні вапняки.

Подальший поділ ґрунтів на різновиди проводиться за властивостями: за міцністю – граніт – дуже міцний, вулканічний туф – менш міцний; за розчинністю у воді – кварцит – дуже водостійкий, вапняк – неводостійкий.

II. *Дисперсні ґрунти*. До цього класу входять лише осадові гірські породи. Клас поділяється на дві групи – зв'язних і незв'язних ґрунтів. Для цих ґрунтів характерні механічні та водно-колоїдні структурні зв'язки. В основу різновидів ґрунтів покладено щільність, засоленість, гранулометричний склад та інші показники.

Зв'язні ґрунти поділяють на три типи – мінеральні (глинисті утворення), органомінеральні (мули, сапропелі, тощо) та органічні (торф).

Незв'язні ґрунти представлені пісками і крупноуламковими породами (гравій, жорства та ін.).

III. *Мерзлі ґрунти*. Усі ґрунти мають кріогенні структурні зв'язки, тобто їх цементом є лід. До складу класу входять практично всі скельні, напівскельні та зв'язні ґрунти, що перебувають в умовах мінусових температур. До цих трьох груп додається група крижаних ґрунтів у вигляді надземних і підземних льодів.

Мерзлі ґрунти розподіляються за льодистими (кріогенними) структурами, засоленістю, зміною властивостей міцності від температури та ін.

IV. *Техногенні ґрунти* являють собою, з одного боку, природні породи – скельні, дисперсні, мерзлі, які з будь-якою метою зазнали фізичного або фізико-хімічного впливу, а з іншого боку, штучні мінеральні та органомінеральні утворення, що сформувалися в процесі побутової та виробничої діяльності людини. Останні нерідко називають антропогенним утворенням.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 51

У додатку до ДСТУ наведені обов'язкові терміни та визначення, а також характеристики та різновиди ґрунтів, уточнено стандарти методів лабораторних визначень, назви і характеристики ґрунтів.

5.2. Вплив мінерального складу та органічної речовини на властивості ґрунтів

Під час інженерно-геологічного вивчення гірських порід особливо важливо знати вміст у них породоутворювальних мінералів, які перебувають у переважних кількостях і впливають на їхні властивості. Тому найбільше значення мають мінерали класу первинних силікатів (польові шпати, олівін, піроксени й амфіболи, до них же належить умовно кварц), у яких переважають внутрішньокристалічні зв'язки іонно-ковалентного типу; прості солі (карбонати, сульфати, галоїди), які мають іонний тип зв'язків; глинисті мінерали (гідрослюди, монтморилоніт, каолініт тощо), які характеризуються великим розмаїттям внутрішньокристалізаційних зв'язків, включно з ковалентними, іонними, водневими та молекулярними зв'язками. Крім того, в гірських породах і ґрунтах у значній кількості може міститися органічна речовина, у будові якої велику роль відіграють водневі та молекулярні зв'язки.

Властивості мінералів пов'язані з особливостями їхнього хімічного складу, внутрішньої будови і тих зв'язків, які існують усередині самих мінералів (атомів, іонів, радикалів). Властивості мінералів, своєю чергою, зумовлюють властивості ґрунтів, які вони складають. Від природи хімічного зв'язку атомів і структурного типу кристалічної ґратки залежить стисливість більшості силікатів. Встановлено, що збільшення ступеня щільності упаковки атомів у структурі мінералів веде до зменшення їхньої стисливості. Тому мінерали групи олівіну, для яких характерна висока щільність пакування кремнекисневих тетраєдрів, вирізняються меншою стисливістю порівняно з кварцом і польовим шпатом, які мають менш щільне пакування атомів. Відповідно до цього, за пористості <1 %, стисливість магматичних порід основного складу виявляється меншою порівняно з кислими породами.

Однією з найважливіших інженерно-геологічних властивостей простих солей є їхня розчинність, яка зумовлена переважанням іонного типу зв'язку в ґратці цих мінералів. Виходячи з теорії іонних кристалів, стійкість солі визначається роботою, яка необхідна для руйнування кулонівської взаємодії іонів у ґратці та віддалення їх на відстані, за яких можна знехтувати електростатичною взаємодією між ними. Іонний кристал буде розчинним у воді, якщо тяжіння іонів молекулами води буде більшим за енергію їхнього електростатичного тяжіння, тобто енергія гідратації іонів буде більшою за енергію ґратки.

Великий вплив на властивості дисперсних ґрунтів мають глинисті мінерали. Глинисті мінерали належать до групи шаруватих і шарувато-стрічкових силікатів і вирізняються з-поміж інших мінералів класу силікатів високою дисперсністю і гідрофільністю, здатністю до сорбції та іонного обміну. Висока дисперсність глинистих мінералів є їх природним фізичним станом. У природних умовах глинисті мінерали мають розмір часток не більше ніж 1-10 мкм і тому переважно трапляються в найдисперсній (глинистій) фракції осадових порід, до якої зазвичай відносять частинки розміром <1 мкм або <2 мкм.

Глинисті мінерали є найактивнішою складовою частиною дисперсних гірських порід, що значною мірою зумовлює їхні інженерно-геологічні властивості. Навіть невеликий вміст глинистих мінералів у гірській породі істотно впливає на багато її найважливіших властивостей, таких як гідрофільність, міцність, водопроникність, пластичність, набухання. Багато фізико-хімічних явищ, що відбуваються на поверхні глинистих мінералів, визначаються особливостями їхньої кристалохімічної будови. Зв'язок між шарами у глинистих мінералів може бути різним залежно від особливостей будови шару і величини його заряду. У низки мінералів він є досить міцним і забезпечується взаємодією кисневих і гідроксильних атомів суміжних шарів (водневий зв'язок) або катіонами, що розташовуються в міжшаровому просторі однойменно заряджених шарів (іонно-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 52

електростатичний зв'язок). В інших мінералів зв'язок між шарами менш міцний і зумовлений залишковими (молекулярними) силами.

У першому випадку глинисті мінерали мають жорстку кристалічну ґратку, тобто таку, коли молекули води й обмінні іони не можуть проникати в міжшаровий простір кристала. У мінералів (каолінит, гідрослюда, хлорит) з жорсткою кристалічною ґраткою внутрішнє набухання відсутнє. У другому випадку глинисті мінерали (монтморилоніт, вермикуліт) мають розсувну кристалічну ґратку; у міжшаровий простір такої кристалічної ґратки проникають молекули води й обмінні катіони. Мінерали, що мають розсувну кристалічну ґратку, набухають зі збільшенням міжшарового простору.

Третя група глинистих мінералів об'єднує змішаношарові мінерали, мікрочастинки яких можуть містити як ненабухаючі, так і набухаючі шари. Отже, за своїми властивостями змішаношарові мінерали посідають проміжне місце між мінералами з жорсткими та розсувними кристалічними ґратками. Серед глинистих порід древнішого віку, починаючи від девонського і закінчуючи деякими породами кайнозою, переважним глинистим мінералом найчастіше є гідрослюда (58 %), потім монтморилоніт (30 %) і каолінит (8 %). Отже, під час інженерно-геологічного вивчення глинистих ґрунтів найбільшу увагу необхідно приділяти цим трьом глинистим мінералам. Цікаво, що ці три найпоширеніші глинисті мінерали водночас є типовими представниками трьох різних груп глинистих мінералів, які суттєво різняться за особливостями їхньої кристалохімічної будови.

Органічна речовина накопичується в земній корі в результаті життєдіяльності та відмирання рослинних і тваринних організмів. Найбільшого поширення набули рослинні рештки, які можуть зустрічатися як у вигляді нерозкладених відмерлих рослин і мікроорганізмів, так і у вигляді розкладених – гумусу. У ґрунтах вміст гумусу сягає до 80-90 % від загальної кількості органічної речовини, яка, своєю чергою, сягає в деяких ґрунтах 10-20 %. До складу гумусу входять гумінові кислоти, що мають "губчасту" будову з безліччю мікропор. Цим значною мірою визначаються їхня водоутримувальна здатність і сорбційні властивості. Присутність органічної речовини в гірських породах і ґрунтах у вигляді гумусу завжди підвищує їхню дисперсність і значно впливає на властивості ґрунтів. Густина ґрунтів цілком визначається мінеральним і органічним складом ґрунтів.

Густина мінералів залежить від складу атомів, що складають мінерал, і густини їхнього пакування в кристалічній ґратці. Щільність не залежить від ступеня дроблення матеріалу; великий кристал кварцу і кварцовий пісок мають однакову щільність. Найбільшу густину мають мінерали, що містять важкі елементи і мають найщільнішу упаковку атомів. Прикладом таких мінералів серед первинних силікатів можуть бути олівін, піроксени й амфіболи, у складі яких містяться іони заліза. До того ж кристалічна ґратка цих мінералів побудована за принципом щільного кисневого пакування із заповненням катіонами проміжних пустот. Тому густина олівіну, піроксенів і амфіболів становить 2,8-3,7 г/см³. На противагу їм кварц і польові шпати, що складаються переважно з кремнію і кисню та мають "ажурну" структуру ґратки, мають меншу густину (2,50-2,69 г/см³).

Густина глинистих мінералів (монтморилоніту, гідрослуди, вермикуліту) варіює в значних межах унаслідок ізоморфних заміщень, а також унаслідок того, що параметри кристалічних ґраток цих мінералів (а отже, і густина) істотно змінюються залежно від ступеня їх гідратації. Так, густина монтморилоніту може змінюватися залежно від ступеня його гідратації від 2,35 до 2,70 г/см³, а гідрослуди – від 2,60 до 3,0 г/см³. Густина органічної речовини не перевищує 1,25-1,80 г/см³.

Відповідно до густини найпоширеніших породоутворювальних мінералів середня густина мінерального компонента більшості порід коливається від 2,5 до 2,8 г/см³. Вона збільшується зі збільшенням вмісту в ґрунті важких мінералів. Тому в основних порід густина мінеральної частини становить 3,0-3,4 г/см³, що набагато вище, ніж у кислих порід, густина мінеральної частини яких наближається до густини кварцу (густина мінеральної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 53

частини гранітів, наприклад, складає 2,6-2,7 г/см³). Ґрунти, що містять гумус, характеризуються меншою густиною порівняно з материнськими породами. Дані щодо густини мінеральної частини ґрунтів необхідні для розрахунку їхньої пористості, значення якої використовується для отримання низки інших розрахункових характеристик.

5.3. Вплив будови ґрунтів на їхні властивості

Під будовою ґрунтів розуміють їхню структуру і текстуру, які поділяють: на макро-, мезо- і мікроструктуру і відповідно на макро-, мезо- і мікротекстуру.

Макроструктура гірських порід і ґрунтів легко спостерігається візуально. До нього належать видимі оком елементи ґрунтів і гірських порід, тріщинуватість і пористість, відсутність або наявність видимої шаруватості тощо.

Мезоструктуру гірських порід і ґрунтів вивчають під мікроскопом за порівняно невеликих збільшень, наприклад під поляризаційним мікроскопом. До мезоструктури та мезотекстури належать: 1) усі мінеральні зерна, мікроагрегати і мікроблоки розміром більше 1 мк (див. нижче), 2) орієнтування їх у просторі, 3) мезо- і мікропористість порід і тріщини, видимі в поляризаційному мікроскопі.

Поняття мікробудівництва (мікроструктура і мікротекстура) стосується глинистих і лесових порід і ґрунтів, які містять глинисті мінерали та органічну речовину у вигляді гумусу, тобто частинки розміром < 1-5 мкм. Частинки такого розміру рідко існують ізольовано, зазвичай вони утворюють ультрамікроагрегати й ультрамікроблоки (див. нижче). Їхню форму, розмір і особливо просторове розташування неможливо вивчити без електронного мікроскопа і спеціальної рентгенівської зйомки. Тим часом знати це під час вивчення зазначених ґрунтів дуже важливо, оскільки їхня мікробудова багато в чому визначає особливості мезо- і макробудови ґрунтів.

Найважливішими показниками будови ґрунтів на будь-якому рівні її вивчення є: розмір елементів, що складають гірські породи і ґрунти, пористість і тріщинуватість.

Розмір елементів, що складають ґрунти, може змінюватися від часток мікрона до десятків сантиметрів. Зміна розмірів елементів, що складають ґрунти, в таких широких межах буде особливо сильно позначатися на властивостях дисперсних ґрунтів. Це добре видно навіть у порівнянні загальновідомих властивостей піску і глини.

Пісок непластичний, не набухає, легко водопроникний, володіє незначним капілярним підняттям, при висиханні не дає усадки. Глина має значну пластичність, у воді сильно набухає, важко водопроникна, має велике капілярне підняття, при висиханні дає сильну усадку.

З вищесказаного випливає, що структурні елементи складаються з первинних частинок і агрегатів. Первинні частинки прийнято називати гранулометричними елементами. Межа між макро- і мезоструктурними елементами збігається з межею між гравійною і піщаною фракціями. До гравійної фракції належать частинки, більші за 2 мм. Вони практично не володіють молекулярною вологоємністю і капілярним підняттям води; водопроникність їх дуже велика. Частинки піщаної фракції мають молекулярну вологоємність і капілярне підняття води.

Межа між мезо- і мікроструктурними елементами збігається з межею між пилуватою і глинистою фракціями.

В. Р. Вільямс (1893) до глинистої фракції відніс частинки < 1 мкм на підставі того, що, починаючи з цього розміру, частинки за своїми властивостями близькі до колоїдів, і, зокрема, в суспензії мають броунівський рух. Пізніше багато дослідників відзначали, що частинки < 1 мкм різко відрізняються за своїми властивостями від більших. Таким чином, мікроструктуру зумовлюють частинки породи, що володіють властивостями, які притаманні колоїдним системам. Частинки пилуватої фракції такими властивостями не володіють. За розміром вони займають проміжне положення між глинистою і піщаною

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 54

фракціями і за своїми властивостями ближчі до піщаної фракції, ніж до глинистої. Тому пилувата і піщана фракції об'єднуються одним загальним поняттям "мезоструктура". Межею між цими фракціями слід вважати частинки, які мають розмір 0,05 мм; частинки <0,05 мм мають слабку водопроникність і погано віддають воду.

Серед структурних елементів виділяють агрегати і блоки залежно від орієнтованості частинок, що їх складають. В агрегатах текстура безладна; у них зазвичай присутні пилуваті або піщані частинки, навколо яких групуються глинисті частинки й ультрамікроагрегати та ультрамікроблоки, що складаються з них (рис. 5.1).

Блоки складаються з аксіальноорієнтованих, як правило, глинистих частинок (рис. 2).

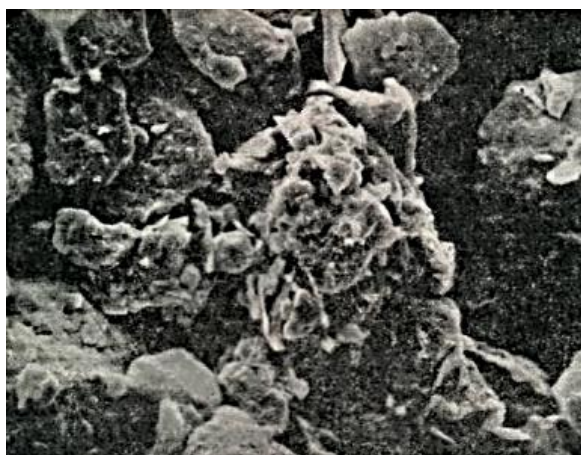


Рис. 5.1. Мікроагрегати глинисто-пилуватих частинок у лесі, збіли. 1000^x

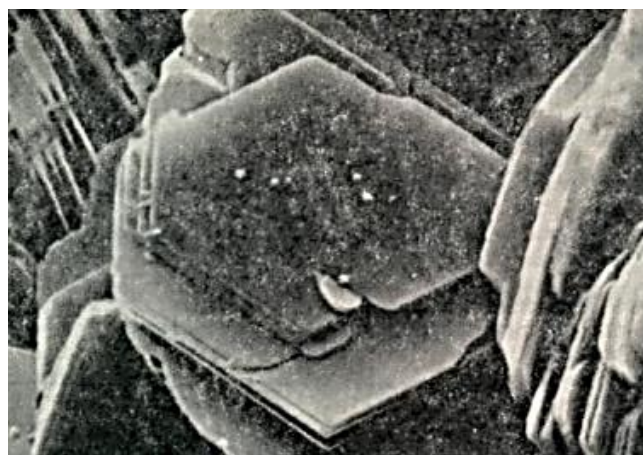


Рис. 5.2. Мікроблоки каолінітових частинок, збілиш. в 7500^x

Унаслідок присутності в дисперсних ґрунтах гранулометричних (первинних) і агрегованих (вторинних) елементів їхня дисперсність характеризується гранулометричним і мікроагрегатним складом.

При характеристиці гранулометричного складу породи повинні враховуватися тільки первинні частинки. Одним із найважливіших завдань при визначенні гранулометричного складу є правильне проведення спеціальної обробки зразка породи, що дає змогу руйнувати агрегати й у такий спосіб ураховувати під час аналізу всі первинні частинки, які перебували як у вільному, так і в агрегованому стані. Число і розмір первинних частинок у породі визначають її можливу максимальну (граничну) дисперсність. Коли поряд із первинними частинками в породі враховують також агреговані елементи, які належать переважно до мікро- і мезоструктури, то визначають її мікроагрегатний склад, тобто дисперсність породи, притаманну їй на даний час.

При інженерно-геологічній характеристиці гірських порід необхідно знати як гранулометричний, так і мікроагрегатний склад. Та обставина, що гранулометричний склад показує граничну дисперсність порід, робить його зручним класифікаційним показником. Мікроагрегатний склад відображає ступінь агрегованості породи за даних умов. Для високодисперсних порід: супісків, суглинків, лесів, глин – вміст часток у різних фракціях за даними гранулометричного і даними мікроагрегатного аналізів може істотно відрізнитися. Це пов'язано з тим, що під час руйнування агрегатів збільшується вміст часток у глинистій фракції та відповідно зменшується кількість часток у пилуватій і піщаній фракціях.

Важливим показником будови всіх ґрунтів є наявність порожнин, які за своїм характером можуть бути поровими або тріщинними.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 55

5.4. Вплив газового компоненту на властивості ґрунтів

Відмінність у складі атмосферного повітря і газів у ґрунтах насамперед полягає у вмісті CO₂, O₂ і N₂. Якщо в атмосферному повітрі вуглекислота становить лише соті частки відсотка (приблизно 0,03 %), то вміст її в ґрунтах і гірських породах сягає десятих і навіть цілих відсотків, а в ґрунтового повітрі майже 10 %. Кисень і азот у товщі ґрунтів містяться в різних кількостях. У ґрунтовій частині ґрунтової товщі їх, як правило, менше, ніж в атмосфері. Це пояснюється тим, що в ґрунті відбуваються процеси поглинання кисню й азоту, виділення вуглекислоти. До складу газоподібної компоненти входить також вода у формі пари.

Гази в порах ґрунтів можуть перебувати у вільному, адсорбованому та защемленому станах. Адсорбовані гази утримуються на поверхні ґрунтових частинок під впливом молекулярних сил. Завдяки цим силам у сухому ґрунті на поверхні частинок утворюються полімолекулярні газові плівки. Кількість адсорбованих газів у ґрунтах залежить від їхнього мінерального складу, присутності гумусу та інших органічних речовин, від дисперсності та величини пористості ґрунтів. Значною адсорбційною здатністю володіють окиси заліза та органічні речовини. Зазвичай вміст адсорбованих газів у ґрунтах підзолистої смуги коливається від 2 до 7 см³ на 100 г ґрунту, а для чорноземів – у межах 8-15 см³ на 100 г ґрунту. Зі зростанням дисперсності ґрунту кількість адсорбованих газів у ньому збільшується. Для кварцового дрібнозернистого піску вміст адсорбованих газів був визначений в 1 см³ на 100 г, тобто в кілька разів менший за його звичайний вміст у ґрунтах.

Під час зволоження ґрунту відбувається витіснення адсорбованих газів водною плівкою. У лесоподібного суглинку і глинистих ґрунтів кількість адсорбованих газів зменшується зі збільшенням вологості.

У тому випадку, коли зволоження пов'язане з капілярним підняттям води, гази, що витісняються з відкритих пір, вільно витікають в атмосферу. При одночасному надмірному зволоженні ґрунту знизу і зверху на окремих його ділянках гази можуть опинитися в замкнутому стані. У цьому разі їх називають "защемленими газами", або "защемленим повітрям", якщо це відбувається в поверхневій частині земної кори. Защемлені гази можуть займати значні ділянки всередині ґрунту або перебувати тільки в невеликих кількостях у найтонших мікропорах.

На відміну від адсорбованих газів, максимальна кількість защемлених газів утворюється за якоїсь оптимальної вологості ґрунту. Глинисті та лесоподібні ґрунти, що зазнали однакового ущільнення, за невеликої вологості містять найменші об'єми защемлених газів. Наприклад, за вологості суглинку 6-10 % кількість защемлених газів була 1-1,5 % від об'єму зразка. Зі збільшенням вологості до 25-30 % об'єм защемлених газів збільшився до 5-6 % від об'єму зразка або до 12-16 % від об'єму пор. З подальшим збільшенням вологості кількість защемлених газів буде зменшуватися. За повного заповнення пор водою і за нульової вологості защемлених газів у ґрунті не міститься. Защемлені гази можуть займати в глинистих ґрунтах 20-25 % від об'єму пор.

Наявність у ґрунтах адсорбованих і защемлених газів зумовлює багаторічну осадку насипів із глинистих ґрунтів, деформації та розриви земляних насипів, зменшення водопроникності ґрунтів.

Гази можуть міститися в розчиненому стані також у воді, що заповнює пори ґрунтів. При цьому змінюються її властивості, і зокрема фільтраційна здатність. Для визначення максимального значення коефіцієнту фільтрації перед фільтрацією газ із води має бути видалений.

5.5. Пористість і тріщинуватість ґрунтів

Структурні елементи, що складають ґрунти, при нещільному приляганні один до одного утворюють проміжки різної величини, які називаються *порами*. Сумарний об'єм усіх

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 56

пор в одиниці об'єму, незалежно від їхньої величини і ступеня заповнення, називається *загальною пористістю* порід.

Величина пористості (П) визначається відношенням об'єму пор у ґрунті до загального об'єму ґрунту. Часто пористість характеризується *коефіцієнтом пористості* (e) – відношенням об'єму пор у ґрунті до об'єму мінеральної частини ґрунту.

Густина ґрунту (А) – це маса одиниці об'єму ґрунту з природною вологістю і непорушеним складанням. Її величина залежить від мінерального складу, вологості та характеру складання (пористості) ґрунтів; зі збільшенням вмісту важких мінералів, ступеню заповнення пір водою і зменшенням пористості щільність ґрунту збільшується.

Розміри пор, зв'язок їх зі структурними елементами і залежність від дисперсності та генезису порід показані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Типи пор дисперсних ґрунтів

Назва пор породи	Розмір пор	Зв'язок пор зі структурою	Рух води в порах	У яких породах переважають
Макропори	>1 мм	пори між уламками гірських порід, макро- і мезоструктурними елементами та залишками рослинних організмів	вільний рух гравітаційної води; капілярне підняття води практично відсутнє	крупно-уламкові; біогенні; леси
Мезопори	1-0,01 мм	пори утворені мезоструктурними елементами, піщаними й пилюватими зернами, залишками рослинних організмів	рух гравітаційної води відбувається за певного напору; капілярне підняття відбувається швидко на невелику висоту	піщані; лесові; біогенні;
Мікропори	10-0,1 мкм	пори, утворені мікроагрегатами і мікроблоками, окремими мінеральними частинками, залишками рослинних і тваринних організмів	капілярне підняття води відбувається повільно на велику висоту; рух гравітаційної води відсутній	органо-хімічні та слабо-зцементовані; глинисті; біогенні
Ультра-капілярні пори	<0,1 мкм	пори мікроагрегатів і мікроблоків	пори заповнені зв'язаною водою	глинисті

Від загальної пористості та розміру пор залежать властивості ґрунтів. За величиною пористості судять про ступінь ущільнення порід і їхню стисливість у різних умовах. З величиною пористості тісно пов'язані водо- і газопроникність порід, їхні термічні та електричні властивості. Значення загальної пористості гірських порід змінюються в дуже широких межах – від часток відсотка до 90 %. Найнижчу пористість (1-3 %) мають більшість нетріщинуватих інтрузивних і метаморфічних порід. Пористість властива усім ґрунтам, але найбільша вона у дисперсних ґрунтів; для них її значення коливається від 20 до 90 %.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 57

Тріщинуватість теж властива майже всім ґрунтам, але, на відміну від пористості, вона має найбільше значення для скельних ґрунтів. Багато порід із кристалізаційними структурними зв'язками (особливо магматичні та метаморфічні) за пористості 1-5 % можуть мати тріщинувату порожнистість, що досягає 10-20 %. Зрозуміло, що проникність, термічні та механічні властивості таких порід визначатимуться не стільки їхньою пористістю, скільки тріщинуватістю.

Під час вивчення гірських порід буває важко розділити тріщинувату і порову порожнистість, оскільки тріщинуватість може розглядатися як лінійна пористість. У цьому разі доводиться вказувати загальну пустотність породи.

За шириною тріщини поділяють на:

- тонкі (<1 мм),
- дрібні (1-5 мм),
- середні (5-20 мм),
- великі (20-100 мм),
- дуже великі.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 58

6. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

6.1. Кристалічні породи

Усі магматичні породи мають, з погляду використання їх у будівельній справі, багато спільного. Узагальненість їхніх фізико-механічних властивостей зумовлена наявністю у магматичних порід структурних кристалізаційних зв'язків між мінеральними зернами, що виникають у процесі формування породи. Усі магматичні породи в непорушеному стані мають високу міцність, що значно перевершує навантаження, які відомі в інженерній практиці, не розчиняються у воді і практично водонепроникні. Тому вони широко використовуються як основи споруд.

Разом з тим, низка обставин ускладнює будівництво на магматичних породах. Насамперед до них належать тріщинуватість і вивітреність масивів. Слід мати на увазі, що хоча показники фізико-механічних і деформаційних властивостей цих порід і є високими залежно від складу, структури та тріщинуватості, вони можуть коливатися в дуже широких межах.

При інженерно-геологічній характеристиці інтрузивних порід велике значення має розмір зерен, тому що в загальному випадку дрібнозернисті породи є міцнішими та стійкішими ніж крупнозернисті. Властивості інтрузивних та ефузивних порід визначаються їхнім мінеральним складом, структурно-текстурними особливостями й особливо – тріщинуватістю.

Серед інтрузивних порід найпоширенішими є граніти, гранодіорити, кварцові діорити габроїди. Міцність гранітів на стиск коливається в широких межах. Навіть у породах, не порушених вивітряннями, величина тимчасового опору стисненню окремих зразків змінюється від 48 до 270 МПа. У середньому цей показник гранітів перевищує 100 МПа. Показники властивостей деформації гранітів у масивах цілком визначаються їхньою тріщинуватістю. За показниками міцності і властивостями деформації гранодіорити і діорити наближаються до гранітів. Інтрузивні породи основного складу типу габро за поширенням значно поступаються гранітам. Водонепроникність інтрузивних порід визначається закономірностями поширення в їхній масі тріщин і зон тектонічних порушень. Наприклад, тріщинуваті габрові породи мають коефіцієнт фільтрації до 40 м/добу, тоді як слаботріщинуваті є практично водонепроникними.

Ефузивні породи характеризуються великою різноманітністю складу та умовами залягання. Найпоширеніші серед них базальти та супутні їм андезити. Фізико-механічні властивості базальтів і андезитів дуже різні. Це пояснюється різноманітністю мінерального складу, структури і текстури порід. Так, базальти мікрокристалічної структури мають тимчасовий опір на стиск до 500 МПа, тоді як у пористих базальтах величина цього показника може бути менш як 20 МПа.

Особливу групу порід становлять вулканічні туфи, серед яких зустрічаються як дуже слабкі різновиди, так і високоміцні.

За фізико-механічними властивостями метаморфічні гірські породи багато в чому подібні до магматичних, що зумовлено наявністю в них жорстких, переважно кристалізаційних зв'язків. Усі метаморфічні породи в непорушеному стані мають міцність, що значно перевищує навантаження, які існують у будівельній практиці. Метаморфічні породи водонепроникні, за винятком карбонатних різновидів.

Серед регіонально-метаморфізованих порід широко поширені гнейси, кварци, кристалічні сланці. Рідше зустрічаються мармури. Найміцнішими і найстійкішими метаморфічними породами є кварцити, які мають дуже високу механічну міцність. Значення цього показника для них – 150-200 МПа.

Фізико-механічні властивості гнейсів залежно від їхньої структури і текстури змінюються в широких межах (при вивітрянні – дуже сильно). Найбільшу стійкість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 59

проти вивітрювання мають кварцові гнейси. Кристалічні та метаморфічні сланці утворюють групу, представники якої за фізико-механічними властивостями найбільше різняться. Спільними ознаками, що відрізняють їх від масивних метаморфічних порід, є шаруватість і сланцюватість, яка часто сприяє зісковзуванню і сповзанню сланців як на природних схилах, так і в штучних виробках.

Залежно від складу і ступеня метаморфізму властивості міцності сланців змінюються в широких межах – від кількох десятків МПа у кристалічних порід до кількох МПа у глинистих.

Серед контактово-метаморфізованих найпоширенішою породою, що утворюється за термального контактового метаморфізму, є роговики. Для них характерна повна перекристалізація вихідного матеріалу. Зазвичай це темні щільні породи, що мають однорідну текстуру і дрібно-зернисту структуру. В інженерно-геологічній практиці роговики розглядаються як вельми сприятливі основи для відповідальних споруд. Від інтрузивних порід їх вигідно відрізняють менша тріщинуватість і більша однорідність. Характерною породою цієї групи також є мрамур. Фізичні та механічні властивості мрамурів залежать від їхньої структури та текстури. Тимчасовий опір на стиск мрамурів у середньому становить 100 МПа.

Динамометаморфізовані породи – це роздроблені (типу брекчії), іноді перетерті породи, різною мірою зцементовані. Опір зсуву цих порід невеликий завдяки сланцюватій текстурі, наявності роздроблених прошарків і хлоритизації. Вони інтенсивно вивітрюються, відносно легко розмиваються, постачають матеріал для осипів та інших схилових процесів. Глинисті брекчії є слабкими породами, і з основ відповідальних споруд, особливо гребель, видаляються.

6.2. Осадкові зцементовані літифіковані гірські породи

Інженерно-геологічні особливості осадкових зцементованих порід багато в чому визначаються розміром зцементованих уламків або частинок, характером цементу і ступенем літифікації породи. Найбільш характерними цементами в теригенних породах є кварцовий, залізистий, карбонатний і глинистий. Набагато рідше зустрічаються породи, які зцементовані гіпсом. Найміцніші з них – кварцовий і залізистий цемент.

Карбонатний цемент також має високу міцність, але розчиняється у воді. Особливо важливо при оцінці фізико-механічних властивостей враховувати високу розчинність гіпсового цементу. Глинистий цемент маломіцний.

За ступенем літифікації осадкові зцементовані породи поділяють на сильно- і слаболітифіковані, а також на хімічні та біохімічні (органогенні) різного ступеня літифікації.

Найбільш типовими осадковими зцементованими сильнолітифікованими породами є крупноуламкові породи – конгломерати. Міцність їх залежить від багатьох чинників. Зустрічаються досить міцні (опір стиску – до 100 МПа) і маломіцні конгломерати. Для міцних цементів слугує основою поліміктовий середньозернистий пісковик, для маломіцних – вапняний, вапняно-глинистий, вапняно-залізистий (опір стиску – 3-25 МПа); дрібноуламкові – пісковик. Найбільшу міцність мають кварцові пісковики з кременистим або залізистим цементом. Величина опору на стиск – 150-200 МПа. Найменш міцні, зазвичай зцементовані глинистим цементом, мають величину цього показника 1-2 МПа.

Типовими представниками зцементованих порід пилуватого і глинистого складу є алевроліти й аргіліти. Вони утворюються під час скам'яніння піщано-пилуватих і глинистих порід внаслідок їхнього ущільнення, впливу температури, кристалізації колоїдів. Великий вплив на показники міцності алевролітів і аргілітів мають склад і тип цементу. Залежно від цементу алевроліти й аргіліти утворюють велику низку послідовних переходів від слабоміцних різновидів, які близькі за своїми властивостями до щільних глин, до

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 60

окварцованих порід, міцність яких перевищує 100 МПа. По базальних поверхнях алевроліти й аргіліти легко вивітрюються, часто утворюють на схилах рухомі осипи з плитчастою щєбінки.

У природі широко поширені осадові зцементовані слаболітифіковані породи крем'янистого і карбонатного складу (діатоміти, крейда, мергель та ін.), які характеризуються наявністю слабких кристалізаційних зв'язків. Ці зв'язки не міцні, і при їх руйнуванні водонасичені породи здатні перейти в пластичний стан.

Серед хімічних та органічних порід найбільш поширеними є карбонатні, сульфатні, кременісті та галоїдні породи.

Інженерно-геологічному вивченню карбонатних порід приділяється особлива увага в зв'язку з їхньою здатністю карстуватися. Детальне вивчення закарстованих масивів проводять у зв'язку з гідротехнічним, дорожнім, промислово-міським будівництвом, з розробкою родовищ корисних копалин і будівництвом підземних споруд. Найбільш широко поширеними представниками карбонатних порід є вапняки і доломіти.

Вапняки – карбонатні породи, в мінеральному складі яких переважає. Найміцніші – дрібнозернисті вапняки (їхній тимчасовий опір стиску досягає 100 МПа). Міцність грубозернистих вапняків коливається в дуже широких межах (від 70 до 25 МПа). Найменш міцні вапняки-черепашники (опір стиску – 2-3 МПа, а в багатьох випадках – менше 1 МПа). Для вапняків характерна тріщинуватість.

Доломіти, поряд з вапняками, є широко поширеними породами карбонатного комплексу. Склад доломітів істотно впливає на їхню міцність. Чисті різновиди цих порід характеризуються величиною межі міцності на стиск ($\sigma_{ст}$) до 100 МПа, вапнякові доломіти мають міцність $\sigma_{ст}=80$ МПа, а глинисті – $\sigma_{ст}=60$ МПа. Великий вплив на міцність доломітів має мікротріщинуватість.

Сульфатні породи – це гіпс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), який часто зустрічається з ангідритом ($CaSO_4$). Ангідрит у зіткненні з водою легко гідратує і переходить у гіпс, причому це супроводжується значним збільшенням об'єму, з чим часто пов'язані механічні деформації в сусідніх породах і покрівлі.

Типовим представником кременістих порід є опоки. Спільними інженерно-геологічними особливостями опок є: висока пористість (45-60 %); велика вологоємність (50-70 %); порівняно висока міцність у сухому стані (25-35 МПа) та значне її зменшення під час водонасичення; слабка морозостійкість. З деякою умовністю до осадових сильнолітифікованих порід можна віднести трепел. За характером деформації він поводить як порода з жорсткими кристалізаційними зв'язками, але водночас у водонасиченому стані володіє пластичністю, що є типовим для дисперсних порід. За пористості трепелів 55-65 % вони мають міцність на стиск у сухому стані 7-10 МПа, у водонасиченому – 0,5-1 МПа.

Галоїдні породи (галіт ($NaCl$)) мають обмежену можливість їх використання в інженерно-будівельних цілях.

6.3. Незв'язні породи

Група уламкових незцементованих порід поділяється на дві підгрупи: крупноуламкові та піщані.

Крупноуламкові породи складаються переважно з кутастих або обкатаних уламків гірських порід розміром понад 2 мм, які мають переважно полімінеральний склад. Їх можна поділити за розміром і формою уламків на кам'яністі та валунні, щебеністі та галькові, жорствяні (хрящуваті) і гравійні ґрунти. Пори у крупноуламкових ґрунтах можуть бути вільними або заповненими пилюватим чи глинистим матеріалом. Наявність або відсутність такого заповнювача пор різко позначається на інженерно-геологічних особливостях усіх типів крупноуламкових порід. У разі відсутності дрібнозернистого матеріалу вони мають

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 61

високу водопроникність, причому рух води має часто турбулентний характер. Крупноуламкові ґрунти із заповнювачем можуть мати невелику водопроникність, величина якої визначається складом заповнювача. Присутність заповнювача також знижує кут внутрішнього тертя. Тому під час подальшого підрозділу крупноуламкових порід необхідно насамперед виділити валунні (кам'янисті), галькові (щербенисті) і гравійні (жорствяні) із заповнювачем і ґрунти без заповнювача.

Форма уламків крупноуламкових порід, розмір і характер заповнювача визначаються їх генезисом. Їхні інженерно-геологічні особливості різні. Наприклад, пролювіальні крупноуламкові породи (і відклади конусів виносу, та особливо селеві утворення) характеризуються дуже слабким відсортуванням і обкатаністю уламків. У них поряд із великими валунами, галечником і гравієм міститься піщаний, пилюватий і глинистий матеріал, що заповнює проміжки між великими уламками. Загальна пористість розглянутих крупноуламкових порід може бути дуже низькою (15-20 %). Ущільненню і збільшенню міцності матеріалу, крім різномірності механічного складу, сприяє глибоке і тривале просихання з утворенням міцних цементацийних зв'язків між уламками.

Утворення морських крупноуламкових порід пов'язане з руйнуванням берегів у процесі абразії. Постійний вплив прибою зумовлює хорошу відсортованість морських галечників. Як правило, вони мають невелику кількість заповнювача і високу водопроникність. Практично нестисливі, вони водночас можуть володіти зниженим опором зсуву, внаслідок того, що округлі гальки мають гладку, відшліфовану поверхню. Інші генетичні типи крупноуламкових порід мають свої інженерно-геологічні особливості.

Інженерно-геологічні особливості пісків (піщані породи) багато в чому визначаються їх генезисом. Порівняємо деякі з генетичних типів пісків.

Серед найпоширеніших алювіальних пісків трапляються різні за гранулометричним складом різновиди, що відрізняються структурно-текстурними особливостями та інженерно-геологічними властивостями. Багато в чому це визначається їхньою фаціальною приналежністю.

Спільною характерною рисою руслових пісків є закономірна зміна їхньої дисперсності. За поздовжнім профілем річки вниз за течією зменшуються розміри зерен піску і одночасно з цим підвищується його однорідність. Невисока дисперсність руслових пісків, їхня досить хороша відсортованість і обкатаність, переважна середня і пухка будова зумовлюють значну водопроникність, величина якої в горизонтальному напрямку зазвичай вища, ніж у вертикальному.

Заплавні та старичні піски представлені головним чином дрібно- і тонкозернистими та пилюватими пісками, горизонтально, косо- або лінзоподібно-шаруватими, що містять домішки глинистого та органічного матеріалу. Ці піски мають меншу величину водопроникності порівняно з русловими, стиснення їх значно вище.

Флювіогляціальні піски представлені різними за дисперсністю різновидами (переважають крупно-, середньо- і дрібнозернисті), що містять, як правило, певну кількість грубоуламкового матеріалу. Серед флювіогляціальних широко розвинені зандрові піски, які представлені всіма різновидами, причому серед них переважають дрібні піски і піски середньої крупності. Зандрові піски можуть складати площі в сотні тисяч км². Їх пористість досить висока: у гравелистих пісків – 40-41 %, у дрібних – 40-46 %, у пилюватих – 42-51 %. Величина коефіцієнту фільтрації флювіогляціальних пісків не перевищує 10 м/добу, у дрібних – 2,5, у пилюватих – 1 м/добу. Кут природного відкосу флювіогляціальних пісків у повітряно-сухому стані змінюється від 30° до 40°, під водою він знижується до 24°-33°.

Піски різних генетичних типів під впливом гідродинамічного тиску можуть переходити в пливунний стан. Крім того, було виділено "істинні пливуні" як особливий тип ґрунтів, для якого характерні пливунні властивості. Істинні пливуні досить різноманітні за мінеральним і гранулометричним складом, але для них характерний вміст

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 62

органічної речовини, що по відношенню до глинистої фракції становить 5-35 %. Несуча здатність істинних пливунів, визначена в польових умовах, що унеможливають рух і випирання, досягає 0,8 МПа. Водоутримувальна здатність істинних пливунів сягає 240 %. Їхня водопроникність незначна $K = 10^{-4} - 10^{-5}$. Велика водоутримувальна здатність і мала водопроникність істинних пливунів унеможливають осушення їх звичайним способом водозниження. Справжні пливуні мають найбільшу величину деформації порівняно з іншими породами. Особливо небезпечні вони через їх значну природну вологість.

6.4. Зв'язані породи

Група зв'язних ґрунтів об'єднує лесові, глинисті ґрунти та біогенні породи. Для них характерна залежність властивостей міцності та інших властивостей від вологості. Залежно від вологості переважають структурні зв'язки різного характеру: іонно-електростатичні, капілярні, молекулярні.

Лесові породи поширені дуже широко. За умовами залягання лесові породи – повсюдно покривні. Потужність їхньої товщі коливається від декількох сантиметрів до десятків і навіть сотень метрів. У межах рівнинних областей потужність лесових товщ зростає від першої надзапальної тераси до міжрічкових (вододільних) просторів. Для передгірних і гірських районів, навпаки, характерне збільшення потужності лесових порід у міру наближення до долин річок: тут найпотужніші їхні товщі приурочені до депресій.

Глинисті породи є одними з найпоширеніших порід. Склад, структурно-текстурні особливості та властивості, а також будова товщ визначаються їхнім генезисом. Величезний вплив на їхні властивості також мають вік, ступінь літифікації та умови залягання. Елювіальні глини характеризуються різними інженерно-геологічними властивостями, зокрема різною пластичністю. Найбільш пластичні їхні різновиди формуються під час вивітрювання основних вивержених та ефузивних порід. При вивітрюванні кислих порід зазвичай утворюються слабопластичні глини (каоолінові).

Глинисті делювіальні породи мають загальну схильність руху по схилах. Штучне підрізування делювіальної товщі (спорудження котловану під будівлю, дорожньої виїмки тощо), особливо в нижній частині схилу, нерідко спричиняє зрушення зсувного характеру. Поверхня ковзання може проходити як усередині делювіальної товщі, так і по контакту її з корінною породою, що підстилає. В інженерно-геологічній практиці є приклади, коли рух глинистого делювію по поверхні глинистих порід відбувається за дуже малих кутів нахилу до поверхні контакту (кілька градусів). Боротьба з рухом у цих умовах ускладнюється властивостями цих порід, зокрема їхньою практичною водонепроникністю та неефективністю внаслідок цього застосування дренажних пристроїв.

Пролювій – це генетичний тип континентальних відкладів тимчасових потоків у межах передгірних рівнин. Сюди віднесено й відклади конусів виносу. Пролювіальні глинисті породи, які сформовані в передгірних рівнинах, вирізняються гарною відсортованістю. Серед алювіальних утворень глинисті породи розвинені дуже широко, особливо в долинах рівнинних річок. Вони відрізняються великою різноманітністю як за складом, так і за властивостями. Така різноманітність визначається різними умовами формування тих чи інших глинистих алювіальних товщ. Найгіршими за своїми інженерно-геологічними особливостями серед них виявляються глинисті породи, що формуються в старицях і представлені зазвичай досить високодисперсними різновидами зі значною кількістю органіки. Вони перебувають переважно в м'якопластичному стані.

Льодовикові відклади представлені супісками, суглинками і глинами, що містять різну кількість жорстви, гравію, гальки і валунів. Відмінною рисою глинистих моренних утворень є їхня висока щільність: об'ємна маса зазвичай коливається від 1,8-2,3 г/см³. Пористість цих порід мала – зазвичай 25-35 % (найчастіше – близько 30 % або дещо нижча). Відповідно до високої густини стисливість моренних відкладів незначна: показники

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 63

механічних властивостей характеризують морену як щільний, слабостисливий ґрунт. Модулі стисливості, отримані під час компресійних випробувань в інтервалі навантажень 0,1-0,3 МПа, перебувають у межах від 9 до 10-15 і навіть до 20 МПа. Опір зсуву моренних ґрунтів також зазвичай досить високий. Моренні глинисті ґрунти здебільшого вважаються надійними основами для найважчих і найвідповідальніших споруд, що зумовлено їхньою щільною структурою, дуже низькою пористістю та слабкою стисливістю.

Типовим представником глинистих водно-льодовикових відкладів є добре відомі в інженерно-геологічній практиці стрічкові глини, яким властива висока пористість (до 60-65 %) і висока природна вологість. Найчастіше вона вища за вологість верхньої межі пластичності, тобто в природних умовах глини перебувають у приховано-текучому стані. Стрічкові глини мають чітко виражену анізотропію щодо цілої низки властивостей завдяки особливостям своєї мікробудови. Зокрема, їхня водопроникність, що є взагалі величиною дуже невеликою, значно вища вздовж нашарування, ніж перпендикулярно до нього. У піщаних і пилюватих прошарків (які в основному визначають водопроникність уздовж нашарування) коефіцієнт фільтрації складає 10-8 см/с, а у глинистих він знижується. Стрічкові глини в природному стані можуть без значних деформацій витримувати навантаження до 0,3-0,4 МПа, навіть якщо їхня природна вологість перевищує верхню межу пластичності. Осідання товщі водонасичених стрічкових глин під спорудою посилюється в разі перешарування глинистих і піщаних порід. Останні в цьому разі відіграють роль природних дренажів, які відводять витиснену із глинистих прошарків воду.

Опір стрічкових глин різний залежно від місця розташування поверхні зсуву. Він більший для піщаних і менший для глинистих прошарків. Крім того, зважаючи на анізотропність породи, цей опір змінюється залежно від напрямку зусилля, що зрушує, по відношенню до поверхні нашарування.

Озерні суглинки та глини мають порівняно нешироке розповсюдження. Висока пористість глинистих озерних порід, значний вміст у них органіки та висока природна вологість зумовлюють велику стисливість цих порід і низькі показники опору зсуву.

Глинисті породи дуже широко поширені серед морських відкладів. Для морських глин характерна наявність водорозчинних солей. При висиханні ці солі кристалізуються і створюють жорсткі зв'язки між частинками породи, збільшуючи її міцність. Наявність кремнезему й оксидів заліза в морських глинах ще більше підвищує їхню зв'язність, міцність і водостійкість. Протилежну роль відіграють сульфідні заліза та органічні речовини, які, розкладаючись, спричиняють зміну стану і погіршення властивостей глинистих порід.

Більшість давніших глин на платформі перебуває в приховано-текучому або тугоплавкому стані. Сильно ущільнені глинисті породи, що перебувають у напівтвердому або твердому стані, зустрічаються найчастіше в геосинклінальних і сильно дислокованих областях, а також у межах платформи на значній глибині.

Багато глинистих морських відкладів, незважаючи на свою високу ущільненість, підлягають на схилах до розвитку зсувів, що досягають іноді величезних розмірів.

Ґрунти й торфи. Особливості ґрунтів відмінні від особливостей гірських порід, що їх підстилають. Ця своєрідність пояснюється насамперед тим, що в ґрунтах неорганічна мінеральна речовина тісно поєднується з органічною. Це й визначає специфіку властивостей ґрунтів. Ці особливості доводиться враховувати під час використання ґрунтів як ґрунтів під час будівництва аеродромів, залізниць та інших інженерних споруд. В основу інженерно-геологічного підрозділу ґрунтів доцільно покласти значення рН. Ґрунти, що мають рН > 7, різко відрізняються за складом органічної речовини, будовою та властивостями від ґрунтів, у яких рН < 7 (рН > 7 – сіроземи, каштанові та бурі, чорноземи, засолені тощо; рН < 7 – лісостепові, підзолисті й дерново-підзолисті, тундро-болотні, тундро-болотяні та ін.).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 64

Ґрунти лужної реакції – це група монтморилоніту, а ґрунти кислої реакції – група каолініту. В обох випадках зазвичай містяться різні модифікації вторинного кварцу та оксидів заліза.

Важливе значення мають прості солі, які в ґрунтах перебувають у твердому стані. Їхня загальна кількість коливається від часток відсотка (наприклад, у підзолистих ґрунтах) до десятків відсотків (у нижніх горизонтах чорноземів, каштанових ґрунтів, у солончаках). Наявність цих солей впливає на низку інженерно-геологічних особливостей ґрунтів (наприклад, їхню агресивність щодо будівельних матеріалів).

Вміст органічної частини ґрунтів (гумусу) коливається від часток відсотку до 20-22 % за вагою. Особливо великий вміст гумусу характерний для чорноземних і чорноземоподібних ґрунтів. Під час інженерно-геологічної оцінки слід враховувати вертикальну будову. Різні горизонти ґрунтів різняться за генезисом, складом, фізико-механічними та фізико-хімічними особливостями і властивостями

Торф – своєрідна, геологічно відносно молода, що не пройшла стадій діагенезу, фітогенна гірська порода. Утворюється в результаті відмирання і розкладання болотної рослинності в умовах надмірного зволоження і недостатнього доступу кисню. Виділяють два типи за генезисом: озерно-болотний і алювіально-болотний. Поділ біогенних порід з інженерно-геологічною метою доцільно здійснювати за ступенем їхнього розкладання та зольності (вміст мінеральних речовин у торффі озерно-болотного походження сягає 18 % у та 40 % – у торфів алювіально-болотного генезису). Виділяють: слабзорозкладені торфи (ступінь розкладання $R=5 - 20$ %), середньорозкладені ($R=30-40$ %), сильнорозкладені ($R>40$ %) торфи. Вони у зв'язку з цим розрізняються за своїми властивостями.

За малої загальної вологості торфуги (50 %) вся вода перебуває у зв'язному стані. Вміст гравітаційної води в торффі невеликий навіть при високій його вологості і становить 4-9 %. Кількість води залежить від складу і ступеня розкладання торфуги, його зольності, ступеня осушення покладу і тиску, під яким він перебуває. Вологість торфуги особливо залежить від ступеня його розкладання. Що вищий ступінь гуміфікації торфуги, то він щільніший, то менше в ньому рослинних залишків і здатність вбирати воду. Під час висихання торфів спостерігається значна усадка, величина якої визначається початковою вологістю, ступенем розкладання і зольністю. У високозольних торфів вона сягає 14-44 %. Торф є водонепроникним, але величина його коефіцієнту фільтрації мала щодо його великої пористості. Аналіз стисливості вказує на досить тісний її зв'язок із генезисом торфів, їхнім ступенем розкладання, щільністю та вологістю.

Алювіально-болотні торфи, зазвичай середньо- і високозольні, володіють вищою об'ємною масою і характеризуються найнижчою стисливістю, причому її величина зменшується зі збільшенням її зольності та зниженням вологості торфів.

Для нормальнозольних торфів озерно-болотного генетичного типу найважливішою характеристикою, що визначає їхні компресійні властивості, є ступінь розкладання. За рівних умов найбільшу стисливість мають слабзорозкладені торфи, найменшу – сильнорозкладені.

Найбільшу міцність мають низинні торфи алювіально-болотного генезису, що мають високу зольність. Для нормальнозольних торфів спостерігається досить закономірне зростання величини зсувного зусилля зі збільшенням ступеня розкладання торфів. Торф може мати досить високий опір зсуву навіть за значної вологості.

6.5. Лесові породи

Лесові породи мають широке поширення і являють собою петрографічний тип континентальних осадків. За умовами залягання лесові породи повсюдно покривні. Лесові товщі часто містять прошарки піску, різні включення, поховані ґрунти та гумусовані прошарки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 65

Лесові породи зазвичай поділяють на леси та лесоподібні ґрунти. В основу цього підрозділу можуть бути покладені різні ознаки. При інженерно-геологічній характеристиці найважливішою їхньою особливістю є просідання. За цією властивістю і слід поділити лесові породи: леси є просадними, лесоподібні – непросадними або малопросадними.

Леси є найбільш однорідними за гранулометричним складом. У всіх районах вони характеризуються високим вмістом крупнопилуватих частинок (0,05-0,01 мм), незначною кількістю частинок, більших за 0,25 мм, і невеликим вмістом глинистих фракцій (не більш як 16 %, зазвичай – 1-2 %).

Лесоподібні породи характеризуються різним гранулометричним складом. Серед них виділяються лесоподібні піски, лесоподібні супіски, лесоподібні суглинки і навіть лесоподібні глини.

Потужності товщ лесових порід сягають десятків і навіть сотень метрів. Зазвичай лесові породи поділяють на первинні леси та перевідкладені лесоподібні суглинки. У будівельній практиці їх поєднують, а за гранулометричним складом і пластичністю поділяють на супіски, суглинки та глини. *Ґрунт лесовий* – пилувато-глинистий ґрунт, що за гранулометричним складом містить понад 50 % пилуватих (розміром 0,05-0,005 мм) часток, легко- і середньо-розчинні солі та карбонати кальцію; однорідний, переважно макропористий. Макропори можуть бути інкрустовані карбонатами або гідрокислотами заліза; пористий ґрунт у маловологому стані здатний тримати вертикальний відкіс; при замочуванні маловологий ґрунт дає просідання, легко розмокає і розмивається, а при повному водонасиченні може переходити в пливунний стан.

Для лесових порід характерна анізотропність фільтраційних властивостей. По вертикалі вона в 5-10 разів перевищує величину водопроникності по горизонталі. Природна вологість лесових порід – 10-14 %.

Тонка фракція лесових порід представлена гідрослюдами, кварцом, кальцитом, монтморилонітом. Решта глинистих мінералів мають другорядне значення.

Основною відмінною властивістю багатьох лесових порід є їхня здатність давати просідання при замочуванні.

Ґрунт просадний – ґрунт, який під дією зовнішнього навантаження і власної ваги (I тип просідання) або тільки від власної ваги (II тип просідання) при замочуванні водою або іншою рідиною зазнає вертикальної деформації (просідання) і має відносну деформацію $\xi_s > 0,01$. Найбільше просідання приурочене до горизонтів, що залягають безпосередньо під сучасними і похованими ґрунтами. Просідання зростає в зоні сезонного промерзання та відтавання ґрунтів і зменшується до основи товщі лесових порід. Величина просадності з глибиною загалом зменшується, але під горизонтами похованих ґрунтів значно зростає, їх сумарна пористість коливається від 30 до 64 %. Їх значення пористості, що найчастіше зустрічаються – 44-50 %. Коефіцієнт просадності (відносний) лесів досягає 0,06-1,12 при $\sigma_{сж} = 0,3$ МПа.

Характерною ознакою всіх лесових порід є їхня мала водоміцність. Водопроникність змінюється в широких межах: коефіцієнт фільтрації коливається від 0,001 до 8,5 м/добу. Величина кута внутрішнього тертя лесових ґрунтів варіюється залежно від різних чинників від 5° до 31°, а величина зчеплення – від 0 до 0,042 МПа. Однією з характерних особливостей є значне зниження їхнього опору зсуву в момент змочування. Кут внутрішнього тертя зменшується на 4°-8°, а величина зчеплення також швидко падає. Лесові породи характеризуються невисокою пластичністю.

Проблема генезису лесів досі ще остаточно не вирішена. Існує низка гіпотез і теорій походження лесових порід. Найвідоміші – еолова, пролювіальна, алювіальна та інші.

У геологічній історії формування лесових порід розрізняють два основні етапи:

1. Накопичення осадів.
2. Перетворення їх під час літифікації на лесові породи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 66

Вирішальна роль у набутті лесовими породами різного генезу просідання належить сезонному і багаторічному промерзанню-відтаванню і швидким фазовим переходам вологи за схемою лід-вода-пара.

Під час проєктування та спорудження будівель і споруд на лесових просадних ґрунтах повинні передбачатися заходи щодо усунення небезпечного впливу можливих осідань на їхню стійкість, а також зовнішній моніторинг за станом проєктного положення об'єктів

6.6. Штучні породи як ґрунти основ

Можна виокремити штучні ґрунти з міцними кристалізаційними зв'язками, зі слабкими кристалізаційними і структурними іонно-електростатичними зв'язками; штучні ґрунти з іонно-електростатичними, капілярними і структурними молекулярними зв'язками.

Штучні скельні ґрунти. Для надання міцності скельним породам у тріщини нагнітають цемент або силікат. Якщо немає потреби прагнути до значного підвищення міцності, але треба надати їм монолітності для зменшення водопроникності масивів, то тріщини тампують глинистими або глинисто-силікатними розчинами і бітумами.

Під час закріплення тріщинуватих і кавернозних ґрунтів для додання їм міцності та монолітності в тріщини нагнітають розчини, які при твердінні утворюють або хімічні ковалентні зв'язки кристалізаційного характеру всередині речовини і зі стінками тріщин (наприклад, цемент), або іонно-електростатичні зв'язки (глини). Можна зробити так, що гірська дисперсна порода скам'яніє і перетвориться на скельний ґрунт.

При цьому використовують методи:

- зміцнення дисперсних ґрунтів цементом, продуктами золівіднесення, вапном, рідким силікатом, карбамідними і фурфіролоніліновими смолами та іншими речовинами;
- випал лесових і глинистих ґрунтів.

Надійним методом штучного "скам'яніння" великоуламкових, піщаних, лесових і глинистих порід є внесення в них портландцементу.

Штучні дисперсні ґрунти можна поділити на сильно змінені та значно змінені ґрунти.

Сильно змінені дисперсні штучні ґрунти поряд з іонно-електростатичними та структурними молекулярними зв'язками мають слабкі структурні кристалізаційні зв'язки, що утворюються внаслідок гарячої та холодної бітумізації лесових і глинистих порід, а також за умови впливу на них електростатичного струму (електрохімічне закріплення) та порівняно невисоких температур (прогрівання). Такі ж структурні зв'язки можуть утворитися в піщаних породах при введенні в них бітумних емульсій.

Прогріті ґрунти – це породи, які зазнали впливу температури близько 300-400 °С.

Значно змінені дисперсні штучні ґрунти – це різні типи штучних ґрунтів, що мають іонно-електростатичні, капілярні та молекулярні, але не структурні кристалічні зв'язки.

Поліпшені ґрунти – один з основних методів хімічної модифікації ґрунтів. До методів хімічної модифікації належить обробка лесових і глинистих порід солями під час диспергації та агрегації частинок, а також і гідрофобізації цих порід поверхнево-активними і кремнійорганічними сполуками.

Штучне внесення в ґрунт різних солей може сильно змінити їхні властивості. Наприклад, добавка до зв'язних ґрунтів хлористого натрію в результаті фізико-хімічних процесів зменшує або повністю усуває водопроникність. Обробка ґрунтів солями Na призводить не лише до зміни їхньої водопроникності, а й пластичності та ущільнення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 67

7. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ЯВИЩА І ПРОЦЕСИ

7.1. Суфозійні та карстові 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 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 виклинюється у вигляді 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 дронування та вище тріщинуватості масиву (рис. 7.1).

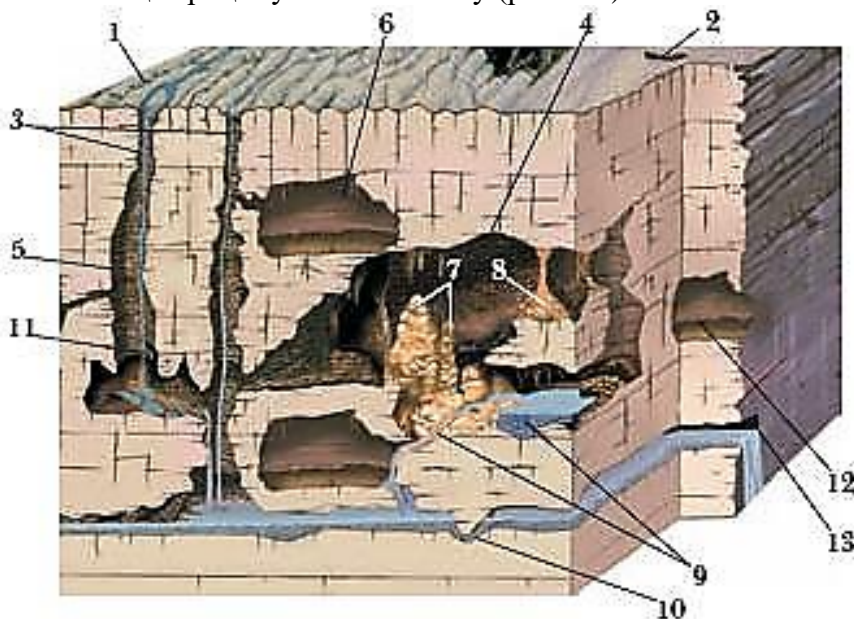


Рис. 7.1. Схема карстових процесів у гірському масиві

- 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; 12 – грот; 13 – 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.).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 68

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.

7.2. 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.

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 збвтаний 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 огородження або заморожування ґрунту.

7.3. Гравітаційні процеси на схилах і в котлованах

Проявляються ці процеси, 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 69

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 схилівий делювій. Згодом такий схил задерновується, але будівельники повинні пам'ятати, що основою споруд у цих випадках мають бути виключно корінні породи, які не порушені рухом. У подальшому схилівий 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.

Зсуви. Зміщення називають зсувом при плавному або швидкому русі породи, що відірвалася, без обертання і перекидання. Характер зсуву залежить від будови схилу (рис. 7.2). 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.

Класифікація зсувів ґрунту:

За кутом поверхні ковзання:

- пологі – до 5° ,
- круті – $5-15^\circ$,
- дуже круті – понад 15° .

За глибиною залягання поверхні ковзання:

- дрібні (опливини) – 0,5 м,
- неглибокі – до 5-8 м,
- глибокі – 10-20 м,
- дуже глибокі – понад 20 м.

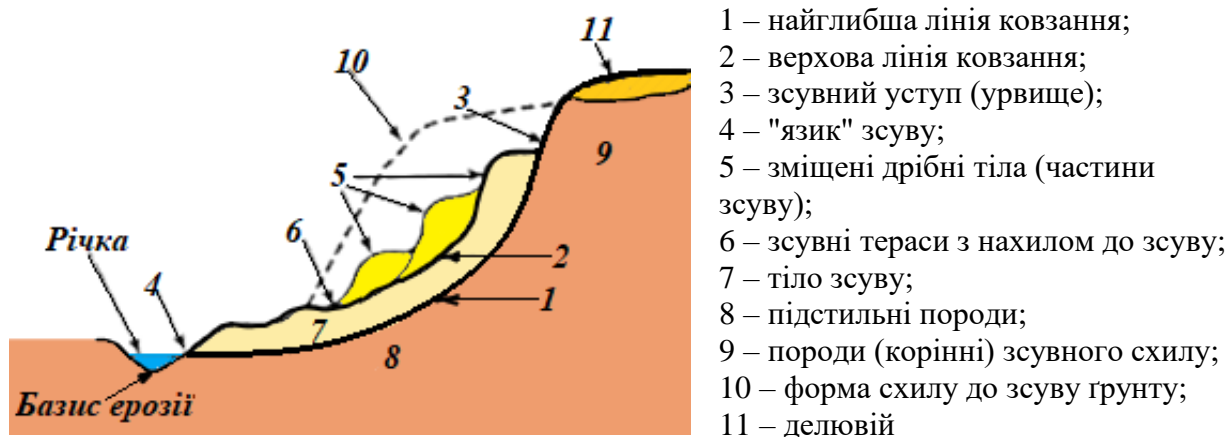


Рис. 7.2. Основні елементи зсувного цирку

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 70

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.

7.4. Селеві потоки

Селі або селеві потоки являють собою короткочасні 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.

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.

7.5. Мерзлота

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 71

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

Ґрунт багаторічномерзлий (ґрунт вічномерзлий) це ґрунт, 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.

7.6. Зрушення гірських порід

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 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 72

8. ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВИШУКУВАННЯ

8.1. Гідрогеологічні вишукування

При гідрогеологічних вишукуваннях детально вивчають гідрогеологічні умови з метою прогнозування їх змін при будівництві та експлуатації будівель та споруд, в тому числі можливого підтоплення території та зміни хімічного складу підземних вод.

Технічне завдання на інженерно-гідрологічні вишукування містить:

- цілі виконання інженерно-гідрологічних вишукувань;
- відомості про раніше виконані інженерно-гідрологічні вишукування;
- відомості про водообіг, впливи на підземну гідросферу, режим підземних вод;
- характеристику функціонувальних гідротехнічних споруд;
- схему водоносних комунікацій і топографічний план території в межах природних кордонів живлення й розвантаження водоносних горизонтів;
- технічні вимоги до результатів вишукувань.

У програмі виконання інженерно-гідрологічних робіт передбачають:

- збір і аналіз літературних і фондових матеріалів та оцінювання можливості їх використання;
- попереднє оцінювання складності інженерногідрологічних умов;
- обґрунтування планового положення гідрогеологічних меж території, що підлягає вивченню;
- обсяги польових і лабораторних робіт із зазначенням методів їх виконання;
- методи виконання камеральних робіт і методи відображення отриманої інформації (таблиці, графіки, карти, схеми тощо).

Види й обсяги інженерно-гідрологічних робіт визначаються цільовим призначенням вишукувань і ступенем гідрогеологічної вивченості території. Ступінь вивченості території оцінюють із врахуванням вивченості басейну стоку (природного або виділеного в межах урбанізованої території) і складових балансу ґрунтових вод, фільтраційних характеристик ґрунтів, природних і техногенних процесів.

Основними водно-технічними властивостями гірських порід є вологість, вологоємність та водовіддача.

Під природною вологістю розуміють зміст води в ґрунтах природного залягання:

$$W_{\text{пр}} = \frac{P_w}{P_c} \cdot 100 \%$$

де P_w P_c , – відповідно маса ґрунту у вологому стані та його скелета, тобто висушеного ґрунту при температурі 105 °С.

Вологість ґрунту визначають шляхом висушування зразків, а також непрямыми методами, що ґрунтуються на змінах електроопору або капілярного натягу, теплових властивостях ґрунтів або їх властивостях ослаблювати проходження через ґрунтову вологу гамма-променів або перетворювати швидкі нейтрони в повільні.

Вологоємність ґрунту – це здатність його вміщувати або втримувати певну кількість води. Залежно від кількості та стану води, що є в ґрунті, розрізняють повну, найменшу капілярну вологоємність та максимальну гігроскопічність. Повна вологоємність $W_{\text{гр}}$ відповідає стану ґрунту, при якому весь простір, який займають пори, заповнений водою:

$$W_{\text{гр}} = \frac{n}{\gamma_c}$$

де n – пористість ґрунту;

γ_c – об'ємна маса ґрунту.

Найменша вологоємність відповідає випадку, коли в ґрунті знаходиться найбільша можлива кількість завислої води. Орієнтовно найменша вологоємність дорівнює 30-35 %

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 73

об'єму в суглинкових та глинистих ґрунтах, 15-30 % в легкосуглинкових, 6-15 % в супіщаних та 2- 6% в піщаних.

Капілярною вологоємністю називають найбільшу кількість вологи, яка може вміщуватися в ґрунті. Вона залежить від щільності його складу, механічного та агрегатного стану, а також висоти розміщення цього прошарку над рівнем ґрунтових вод. Характеристикою капілярної вологоємності є капілярна крива, що характеризує розподілення вологи над дзеркалом ґрунтових вод.

Максимальна гігроскопічність – це найбільша кількість парової вологи, яку може поглинути ґрунт із повітря, що насичено водяною парою.

Ступінь вологи ґрунтів характеризується коефіцієнтом водонасичення:

$$K_v = \frac{W_{пр}}{W_{гр}}$$

якщо $K_v < 0,5$, то породи вважають маловологими; при $K_v = 0,5 \dots 0,8$ – породи вважають вологими; при $K_v = 0,8 \dots 1,0$ породи є насиченими.

Під набуханням розуміють властивість ґрунту збільшувати свій об'єм при всмоктуванні води. Найбільш підпадають під вплив набухання тяжкі глинисті ґрунти, а найменше – супіски та піски.

Усадкою називають здатність вологого ґрунту зменшувати свій об'єм при висиханні. Глини та суглинки дають найбільшу усадку, а супіски – найменшу.

Розмокання – це здатність ґрунту втрачати в'язкість у воді та перетворюватися в масу, що не чинить опір навантаженням, які діють. Характер та швидкість розмокання визначається вмістом в ґрунті глинистих частинок та водорозчинних частинок (солей), ступенем ущільнення та початковим зволоженням.

Водовіддача – здатність порід, що насичені до повної вологоємності, віддавати частину води шляхом вільного стікання під дією сили ваги. Водовіддача збільшується зі збільшенням пористості та пор.

Найбільшу водовіддачу має галечник, а глина та торф майже не віддають воду, але вологоємність їх досить висока. Максимальна водовіддача дорівнює різниці між повною та найменшою вологоємністю.

В процесі гідрогеологічних вишукувань визначається водопроникність порід, режим підземних вод, що характеризується зміщенням їх рівня, витрати, швидкості, напрямку течії, температури та хімічного складу в часі під впливом природних або штучних факторів.

Природні фактори: зміна кількості атмосферних осадків, що випадають, умови живлення та розвантаження підземних вод, а штучні фактори: зведення гребель, іригаційних та дренажних каналів, водозабір підземних вод, водозниження або нагнітання води в свердловини, витікання води із водоводів та інші заходи, що пов'язані з діяльністю людини.

Коливання рівня підземних вод обумовлено різними умовами. Річні коливання рівня визначаються кількістю осадків, характером поверхневого та підземного стоку, випаровуванням, водопроникністю порід зони аерації, глибиною залягання підземних вод. Зведення промислових та цивільних будівель змінює природні гідрологічні умови ділянки та зазвичай призводить до поступового підвищення рівня ґрунтових вод, затоплення підвалів та підземних комунікацій.

Хімічний склад підземних вод досить різноманітний. В них можуть бути знайдені іони, що утворюють істинні розчини, колоїдні речовини, гази, органічні сполуки, тверді речовини, тваринні та рослинні мікроорганізми. Зміст окремих елементів в підземних водах залежить від термодинамічних та геохімічних умов та змінюється при зміні температури, тиску, вмісту кисню та складу порід. Природні води вміщують ряд елементів, які можуть бути агресивними відносно бетону, тобто можуть обумовлювати агресивні властивості

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 74

води відносно бетону, цементу та заліза. Наявність агресивної вуглекислоти призводить до розчину та вилуджування вільного кристалічного вапна із цементу, що обумовлює послаблення міцності бетону. Під впливом сульфатів, що вміщуються в підземній воді, із підземного вапна утворюється гіпс, в результаті чого знижується міцність бетону через його розтріскування та розкришення.

Під *водопроникністю* розуміють властивість пропускати воду через пори породи. До водопроникних порід відносяться галечник, гравій, пісок, тріщинуваті породи, до напівводопроникних – торф, мергель, лес, супісок, до непроникних – глини, щільні суглинки та нетріщинуваті скальні породи.

Інфільтрація – рух води через товщу неводоносних порід, що відбувається при повному заповненні водою пор або тріщин.

Водопроникність порід характеризується коефіцієнтом фільтрації k_f , тобто швидкістю фільтрації при напірному градієнті рівному одиниці. Дуже водопроникні породи мають $k_f > 30$ м/добу; середньопроникні – $k_f = 1 \dots 30$ м/добу; водотривкі $k_f < 0,001$ м/добу. Значення коефіцієнтів фільтрації залежить від структурно-текстурних особливостей ґрунтів, розміру частинок та співвідношення окремих фракцій.

Існує декілька методів визначення коефіцієнта фільтрації: польовий – шляхом проведення гідрогеологічних робіт; лабораторний – за допомогою приладів різної конструкції; розрахунковий – з використанням даних гранулометричного складу та пористості ґрунтів, за даними геофізичних досліджень.

Рух гравітаційної води в порах гірських порід підпорядковується основному закону фільтрації. Одиничні витрати потоку, тобто кількість води, що протікає за одиницю часу через переріз потоку товщиною 1 м:

а) при горизонтальному водоупорі:

$$g = \frac{k_f(h_1^2 - h_2^2)}{2}$$

б) при похилому водоупорі:

$$g = \frac{k_f(H_1 - H_2)(h_1^2 + h_2^2)}{2l}$$

де k_f – коефіцієнт фільтрації;

h_1, h_2 – напір води в свердловинах;

l – відстань між першою та другою свердловинами;

H_1, H_2 – напір води в свердловинах відносно умовної горизонтальної площини.

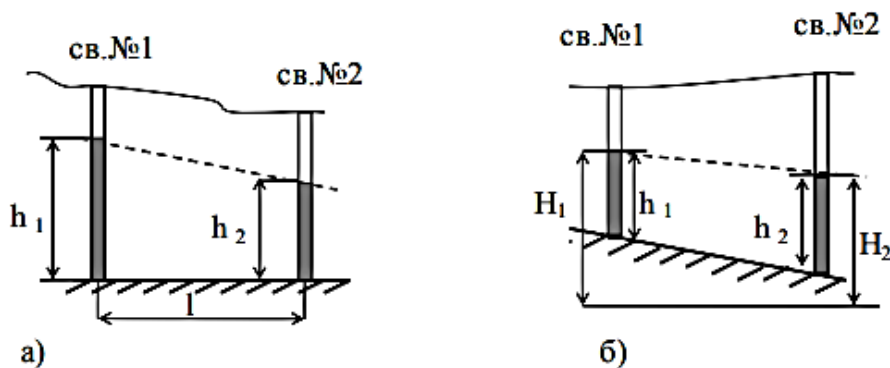


Рис. 8.1. Схема плоского потоку при горизонтальному (а) та похилому (б) водоупорі

При польових гідрогеологічних дослідженнях глибину та потужність водоносного безнапірного пласта знаходять замірами відстаней від гирла свердловини до дзеркала водоносного горизонту та від дзеркала підземних вод до покриття водотривкого пласта. В напірному водоносному пласту потужність горизонту визначається відстанню між верхнім

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 75

та нижнім водоупорами. Рівень заміряється за допомогою хлопавки або електрорівнемірами. Спостереження за режимом ґрунтових вод повинно тривати не менше 1 року, щоб можна було виявити характер зміни режиму та в зв'язку із сезонними змінами характеру живлення підземних вод атмосферними опадами. Напрямок та ухил потоку підземних вод розраховують за матеріалами вимірювання рівня вод в системі не менше 3 свердловин. За результатами вимірювання будують карту гідроізогіпс. Лінії, що перпендикулярні до напрямку гідроізогіпс, вказують напрямку уклону водної поверхні та, відповідно, напрямку руху потоку. Швидкість підземного потоку вимірюють використовуючи як мінімум 2 свердловини. Для цього у верхню за течією свердловину вводять індикатор та спостерігають за його появою у нижній свердловині. Залежно від конструкції індикатора та способу оцінювання появи його в нижній свердловині застосовують хімічний, колориметричний та електролітичний методи. Швидкість ґрунтового потоку та його напрямку можна встановити також методами електророзвідки при наявності тільки однієї свердловини.

Для обґрунтування проектів дренажу територій, що підтоплюються, способів тимчасового водозниження на будівельних майданчиках, тимчасового та постійного водопостачання, для визначення очікуваних втрат води із водосховищ виконують дослідні відкачки. Метод відкачок можна застосовувати з використанням як однієї свердловини, так і куша свердловин. Тривалість відкачок залежить від характеру та витрат водоносного горизонту. Для визначення водопроникненості ґрунтів, які не вмщують води, але після завершення будівництва споруд можуть виявитися заповненими водою, виконують дослідні нагнітання або наливи.

Метод виконання гідрогеологічних досліджень слід обирати залежно від гідрогеологічних параметрів, які визначаються, характеру водоносних порід, наявності відповідних приладів, потрібної точності отриманих результатів та матеріальних витрат.

Результати інженерно-гідрологічних вишукувань оформлюють у вигляді глави в звіті про комплексні інженерно-геологічні вишукування або у вигляді окремого звіту.

Звіт має містити:

- перелік і глибини залягання водоносних горизонтів у зоні активної несучої та планованої взаємодії об'єктів будівництва і підземної гідросфери;
- опис і графічне відображення граничних умов з оцінкою їх ролі у формуванні гідродинамічного режиму території;
- воднобалансові характеристики і особливості режиму підземних вод;
- гідродинамічну характеристику підземних вод;
- фільтраційні характеристики ґрунтів до глибини вивчення;
- наявність і характеристику негативних і небезпечних процесів у підземній гідросфері;
- виділення і опис інженерно-гідрологічних районів та ділянок;
- пошуковий та нормативний прогнози розвитку підземної гідросфери в зоні взаємодії;
- висновки та рекомендації.

8.2. Інженерно-геологічні вишукування

Інженерно-геологічні вишукування проводяться:

- для забезпечення проєктування різних видів будівництва інженерно-геологічною характеристикою будівельних майданчиків;
- під час розвідки та експлуатації родовищ будівельних матеріалів;
- для забезпечення даними про інженерно-геологічні умови при реконструкції та інших видах будівельних робіт на забудованих територіях;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 76

Основні завдання інженерно-геологічних вишукувань:

– вивчення геоморфологічних, геологічних, гідрогеологічних умов і сучасних геологічних процесів;

– визначення властивостей міцності і деформаційних властивостей ґрунтів для розрахунків раціональних типів фундаментів і конструкцій;

– визначення поширення умов залягання, генезису, віку, потужності, інженерно-геологічних властивостей порід у масиві й властивостей, приурочених до них підземних вод, а також усі види сучасних геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ.

Підсумки досліджень:

- інженерно-геологічний висновок з оцінкою геологічних умов будівництва.

- карти, розрізи, таблиці результатів лабораторних і польових досліджень ґрунтів – графіки, схеми, таблиці, фотографії.

Програма інженерно-геологічних вишукувань складається на основі технічного завдання, оцінки категорії складності інженерно-геологічних умов, складності геотехнічного будівництва, ступеня вивченості ділянки (території) і порядку розроблення проектною документації. Програма інженерно-геологічних вишукувань містить такі відомості:

– найменування та місце розташування об'єкта з визначенням адміністративної належності району вишукувань;

– коротку фізико-географічну характеристику району та місцевих природних умов, що впливають на організацію та виконання вишукувань;

– відомості про геоморфологічні та геологічні дані району, гідрогеологічні умови, несприятливі фізико-геологічні процеси та явища, склад, стан та властивості ґрунтів району будівництва;

– обґрунтування категорій складності природних умов, складу, об'ємів та методів, послідовності виконання вишукувань;

– обґрунтування площ, місць та масштабів інженерногеологічної зйомки та систем опробування ґрунтів та підземних вод з врахуванням складності інженерногеологічних умов та типу будівель, що проектуються, термінів, та частоти проведення стаціонарних спостережень;

– вимоги, пов'язані з охороною навколишнього середовища, при виконанні вишукувань;

– особливі вимоги, які висуваються до складу, об'ємів та методів робіт на ділянках розвитку несприятливих фізикогеологічних процесів та явищ, а також розповсюдження специфічних за складом та станом ґрунтів.

За складом інженерно-геологічні вишукування є комплексними і включають види робіт, які направлені на вивчення геологічної будови, стану та властивостей ґрунту, гідрогеологічних умов, інженерногеологічних процесів і явищ.

До складу комплексних інженерно-геологічних вишукувань входять такі види робіт:

– відбір, аналіз та узагальнення даних про природні умови району будівництва – оцінка вивченості території;

– польове рекогносцирувальне обстеження;

– геофізичні роботи;

– бурові та гірничопрохідницькі роботи;

– геотехнічні вишукування, які включають лабораторні та польові дослідні роботи;

– гідрогеологічні вишукування;

– стаціонарне спостереження;

– вивчення інженерно-геологічних процесів і явищ;

– камеральна обробка матеріалів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 77

Для оцінювання вивченості в підготовчий період збирають, аналізують та узагальнюють дані про природні умови з метою:

- розробки робочої гіпотези про інженерно-геологічні умови району;
- визначення категорії складності цих умов;
- обґрунтування направленості вишукувань;
- визначення потрібного складу робіт, оптимальних обсягів та раціональних методів їх виробництва.

Особливу увагу необхідно приділяти збору матеріалів щодо умов виникнення та причин розвитку несприятливих фізико-геологічних процесів та явищ, розповсюдження та фізико-механічних властивостей специфічних за складом та станом ґрунтів.

В польових умовах виконують рекогносцирувальне обстеження з метою:

- оцінювання якості та уточнення зібраних матеріалів, які характеризують інженерно-геологічні умови району будівництва;
- порівняльної оцінки інженерно-геологічних умов за наміченими варіантами проекту майданчика та трас інженерних комунікацій;
- отримання матеріалів, що дозволяють виконати попередню оцінку можливого природного розвитку фізико-геологічних процесів та змін геологічного середовища під впливом будівництва та експлуатації підприємств та інженерних споруд .

В процесі рекогносцирувального обстеження виконують маршрутні спостереження, опробовування ґрунтів та підземних вод. Маршрутні спостереження включають описання та картування відслонень та індикаторів інженерно-геологічних процесів, уточнення меж геоморфологічних елементів і екзогенних форм рельєфу, замірювання елементів залягання гірських порід у відслоненнях, оцінювання ефективності інженерної підготовки території, уточнення доступності та проведення польових робіт.

Опробовуванням встановлюють літологічний вид ґрунтів та попередньо оцінюють їх можливість використання як основи будівель та споруд. В районах розвитку несприятливих фізико-геологічних процесів та явищ встановлюють орієнтовні контури площ розповсюдження цих процесів та явищ, виявляють умови та причини їх виникнення та розвитку, наявність деформацій будівель, намічають ділянки для проведення стаціонарних спостережень.

Геофізичні роботи виконують для визначення структурно-тектонічної будови, меж розповсюдження та потужності ґрунтів різного літологічного складу і стану, властивостей ґрунтів, рівнів підземних вод, напрямку та швидкості водного потоку, виявлення інженерно-геологічних процесів та геофізичних аномалій, а також сейсмічного мікрорайонування.

Геофізичні роботи проводять у комплексі з гірничопрохідницькими, геотехнічними та гідрогеологічними роботами або передують їм.

Бурові та гірничопрохідницькі роботи виконують для отримання інформації про склад ґрунтів і умови їх залягання, глибину залягання ґрунтових вод та інших водоносних горизонтів, наявність напору та особливості рівневого режиму, відбору зразків ґрунтів та проб для лабораторних випробовувань; виконання польових досліджень властивостей ґрунтів; обладнання системи спостережень за компонентами геологічного середовища; встановлення меж прояву геологічних процесів.

Гірничі виробки проводяться з метою: встановлення геологічного розрізу та умов залягання ґрунтів; відбору зразків ґрунтів та проб води для лабораторного вивчення їх властивостей та складу; польових досліджень властивостей ґрунтів та їх водного і температурного режимів; режиму та хімічного складу підземних вод, гідрологічного параметра, водоносних горизонтів, а також взаємозв'язку підземних вод з поверхневими.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

Вид гірничих виробок залежить від задач вишукувань з врахуванням умов залягання та літологічного стану ґрунтів, їх стану та необхідної глибини розкриття.

Розміщення, кількість і глибину гірничих виробіток (закопушок, розчисток, канав, шурфів та дудок, свердловин) призначають, виходячи з необхідності повного та достовірного відображення інженерно-геологічних умов будівництва залежно від конструктивних особливостей проєктованих споруд та складності інженерно-геологічних умов ділянки.

Для розкриття ґрунтів при потужності перекиваючих відкладів не більше 0,5 м роблять закопушки. Для розкриття ґрунтів на схилах при потужності перекивальної відкладень осипами як гірничу виробку можна застосувати розчистки глибиною до 1,5 м. Для розкриття крутоспадних шарів гранту при потужності перекиваючих відкладів не більше 1,5 м влаштовують канали. Для розкриття ґрунтів, що залягають горизонтально або моноклінально, роблять шурфи чи дудки глибиною до 20 м.

Гірничі виробки розміщують по контурах і (або) осях проєктованих будівель та споруд. Мінімальну кількість гірничих виробок у межах контурів кожної будівлі (споруди) і відстань між ними визначають із урахуванням раніше пройдених виробок та суміжних (якщо проєктується група будівель) згідно з табл.8.1.

Таблиця 8.1.

Мінімальна кількість гірничих виробок у межах контурів будівлі (споруди) і відстань між ними

Категорія складності інженерно-геологічних умов	Відстань між гірничими виробками (м) – у чисельнику; мінімальна кількість (шт.) – у знаменнику		
	Рівень відповідальності будівель та споруд		
	I	II	III
I (прості)	75-50 / не менше 3	100-75 / не менше 3	100-75 / 1-2
II (середньої складності)	40-30 / не менше 4-5	50-40 / не менше 3	50-45 / 1-2
III (складні)	25-20 / не менше 4-5	30-25 / не менше 3	30-25 / не менше 3

Примітка. Максимальні відстані між виробками треба приймати для будівель та споруд малочутливих до нерівномірних осідань, мінімальні – для чутливих

Крім того, у місцях різкої зміни навантажень на фундамент, глибини їх закладання, висоти споруди, а також на межі різних геоморфологічних елементів необхідно розміщати додаткові виробки.

Глибини гірничих виробок при вишукуваннях для будівель і споруд на природній основі призначають з урахуванням зони взаємодії з геологічним середовищем і величини стискуваної товщі ґрунтів, із заглибленням в підстильні ґрунти на 1...2 м.

За відсутності даних про стискувану товщу ґрунтів, глибини гірничих виробок допускається встановлювати відповідно до табл. 8.2. На ділянках поширення скельних ґрунтів з тектонічними порушеннями глибину гірничих виробок встановлюють програмою вишукувань.

При вишукуваннях під плитний тип фундаменту (ширина фундаменту більше 10 м) глибину гірничих виробок встановлюють за розрахунком, а за відсутності необхідних даних глибину виробок приймають рівною половині ширини фундаменту, але не менше 20 м для нескельних ґрунтів. Відстань між виробками повинна бути не більше 50 м, кількість виробок під один фундамент – не менше трьох.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	

Глибину гірничих виробок для паливних фундаментів у нескельних ґрунтах приймають нижче проектованої глибини занурення нижнього кінця палів не менше ніж на 5 м.

Таблиця 8.2

Рекомендована глибина гірничих виробок при зведенні будівель із різними основами

Будівля на стрічкових фундаментах		Будівля на окремих опорах	
навантаження на фундамент, кН/м (поверховість)	глибина гірничої виробки від подошви фундаменту, м	навантаження на опору, кН	глибина гірничої виробки від подошви фундаменту, м
до 100 (1)	4-6	до 500	4-6
200 (2-3)	6-8	1000	5-7
500 (4-6)	9-12	2500	7-9
700 (7-10)	12-15	5000	9-13
1000 (11-16)	15-20	10000	11-15
2000 (понад 16)	понад 20	15000	12-19
-	-	50000	понад 19

Діаметр буріння розвідувальних свердловин має забезпечувати можливість опису ґрунтів, відбору проб порушеної структури, а також відбір проб води і обладнання свердловин для спостереження за рівнем підземних вод.

До геотехнічних вишукувань відносяться роботи, які пов'язані з вивченням складу, стану та властивостей ґрунтів як основ, середовища для влаштування підземних споруд, а також для оцінки стійкості природних або штучних масивів, що формуються, схилів і укосів.

Геотехнічні вишукування у процесі будівництва виконують для:

- визначення фактичної несучої здатності та розрахункового навантаження на палі;
- визначення стану і властивостей переміщених ґрунтів або перетворених у природному заляганні (у т. ч. контроль ущільнення);
- виявлення причин неприпустимих осідань і деформацій масивів ґрунтів і споруджуваних об'єктів.

Геотехнічні вишукування виконують як у складі інженерно-геологічних вишукувань, так і самостійно, на територіях, де вже вивчені інженерно-геологічні умови.

Геотехнічні вишукування включають:

- визначення складу, стану і властивостей ґрунтів;
- прогноз змін стану і властивостей ґрунтів під впливом різних факторів (зволоження, обводнення та осушення, термічні впливи, статичні і динамічні навантаження);
- прогноз оцінки стійкості схилів і відкосів;
- моделювання та розроблення документації з підвищення стійкості природних і створення штучних геотехнічних масивів ґрунтів;
- розробку рекомендацій із влаштування основ, фундаментів і захисних споруд;
- розробку рекомендацій з використання природних і штучних ґрунтових матеріалів у будівництві.

Геотехнічні вишукування включають лабораторні та польові дослідні роботи, які виконують для визначення властивостей ґрунтів та ґрунтових вод, місць їх залягання.

Гідрогеологічні вишукування виконують на основі комплексної або спеціальної програми робіт, розробленої з урахуванням технічного завдання, гідрогеологічної вивченості території та складності інженерно-гідрогеологічних умов.

Стаціонарні спостереження за станом елементів геологічного середовища, конструкцій будівель і споруд здійснюють як у процесі моніторингу, так і в процесі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 80

виконання вишукувальних робіт, якщо це передбачено програмою. Стаціонарні спостереження проводять з метою отримання інформації про розвиток інженерно-геологічних та гідрогеологічних процесів, їх циклічність, вплив на стан та експлуатаційну придатність будівель і споруд. Тривалість стаціонарних спостережень обґрунтовується програмою виконання робіт.

Вивчення інженерно-геологічних процесів і явищ виконують на основі аналізу і синтезу інформації, отриманої на усіх етапах виконання польових, лабораторних і камеральних робіт. За відповідного обґрунтування у програмі виконання робіт передбачають спеціальні види робіт (у т.ч. аерокосмічну зйомку, стаціонарні наземні спостереження, фізичні роботи, лабораторні випробування та моделювання). У районах розвитку небезпечних геологічних процесів (карст, суфозія, зсуви, обвали, селі, перероблення берегів водосховищ, озер і рік, сейсмічність тощо) до інженерно-геологічних вишукувань висуваються додаткові вимоги відповідно до діючих норм.

Завершальний етап інженерно-геологічних вишукувань – камеральне оброблення матеріалів. Камеральне оброблення включає опис, аналіз та модельне відображення інформації про геологічну будову, властивості ґрунтів, стан та режим гідросфери, поширення та активність інженерно-геологічних процесів та явищ.

Під час камеральної обробки матеріалів на основі польових відомостей та матеріалів складають інженерно-геологічну карту, що являє собою зменшене зображення на площині геологічних факторів місцевості, відібраних, охарактеризованих та узагальнених відповідно до вимог проектування, будівництва та експлуатації будівель та споруд. Карти масштабу 1:1 000 000 та дрібнішого призначені для вивчення загальних закономірностей інженерно-геологічних умов, а також складання робочих гіпотез про геологічну будову значною за площею території, а також вибір місця будівництва споруди в межах області. Карти масштабу 1:500 000 – 1:50 000 використовуються для розміщення значних за площею промислових та цивільних комплексів споруд, для вибору загального напрямку трас лінійних інженерних споруд, для складання схеми енергетичного використання рік. Карти 1:25 000 та більшого масштабу призначені для вибору місця та розміщення об'єктів промислового та цивільного будівництва, складання генеральних планів та детального планування міст.

Результати камеральної обробки повинні відповідати технічному завданню, програмі виконання робіт і вимогам до звіту про вишукування. Обов'язковою складовою частиною інженерно-геологічних робіт та обов'язковим елементом звіту є розробка пошукового та нормативного прогнозів.

8.3. Інженерно-геологічні вишукування за видами будівництва Промислове та цивільне будівництво (ПЦБ).

Вишукування проводять в одну або дві стадії. Для малоповерхового будівництва і для районів забудови зазвичай обмежуються стадією ПЗ. При внутрішньо-квартальній забудові вишукування проводять у 2 стадії. Глибина і кількість виробок залежать від геологічних умов і класу споруд, але в будь-якому разі розвідувальні виробки повинні пройти всю глибину впливу споруд. Будівельні норми і правила на вишукування при будівництві регламентують обсяги польових робіт.

Гідротехнічне будівництво.

Вишукування проводять у три етапи:

I. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) – збір і систематизація матеріалів і польове обстеження району будівництва спільно з геодезистами з метою вибору можливого місця розташування дамби та можливі варіанти її положення.

II. Пояснювальна записка (ПЗ) – загальні інженерно-геологічні дослідження долини річки, вибір району гідровузла, інженерно-геологічна зйомка, буріння за низкою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 81

поперечників, спостереження за рівнем річки. Дається загальна і порівняльна характеристика окремих варіантів.

ІІІ. Розрахункова частина (РЧ) – проводять докладні дослідження на площах обраного варіанту будівництва. Обов'язково проводять польові геофізичні роботи, польові дослідні роботи з визначення коефіцієнта фільтрації та інші види робіт.

Автомобільні та залізничні дороги.

Вишукування проводять у дві стадії, кожна з яких має свої завдання.

Перший етап – проводять вишукування для вибору раціонального напрямку дороги, виявляють шкідливі та небезпечні для будівництва та експлуатації геологічні процеси та явища, такі як зсуви ґрунту, глибокі болота, солончаки, лавинонебезпечні місця, місця прояву криги та ін.

На другому етапі виконується зйомка і розвідувальні роботи на обраній трасі та місцях інженерних споруд – мостів, трубопроводів, дамб, насипів і врізок у ґрунт, тобто де буде зміна рельєфу. Глибина і відстані між розвідувальними виробками залежать від геологічних і геоморфологічних умов траси, класу дороги, особливостей її будівництва та експлуатації. Інженерно-геологічний висновок має містити не тільки геологічну оцінку траси, а й прогнозувати ті зміни, які відбудуться в результаті будівництва та експлуатації доріг.

Тунелі та метро. Вишукування ведуть за спеціальним завданням, проходять більш глибокі виробки, проводять відкачування води зі свердловин, що зустріли водоносні горизонти, досліджують корозійні властивості ґрунту і інші види робіт.

Трубопроводи. Сюди відносять водоводи, нафтопроводи, газопроводи, паропроводи, розсолонпроводи, шламопроводи, хвостопроводи, каналізаційні трубопроводи. Вишукування проводять за наміченими трасами магістральних трубопроводів і розвідних мереж. Розвідку і проектування проводять у дві стадії, які включають вибір траси, її профілю, роботи на трасі остаточного варіанту і за складних інженерно-геологічних умовах на окремих ділянках виконуються додаткові спеціальні дослідження.

8.4. Інженерно-геологічні та геоекологічні проблеми міст

Містобудування ведеться у всіх природних зонах у різноманітних і, нерідко, складних інженерно-геологічних умовах.

Неврахування одного з цих чинників призводить до скорочення термінів експлуатації об'єктів і подорожчання вартості під час їхньої реконструкції або відновленні, до підвищеного забруднення геологічного середовища.

Особливості інженерної геології та геоекології міст включають:

- Багатогалузеве будівництво цивільне, промислове, гідротехнічне, гірниче, комунальне, транспортне, наземне, заглиблене, підземне, тобто різні види впливу на геологічне середовище.

- Велика різноманітність типів споруд за вагою, розміром, конфігурацією, конструкціями, режимом експлуатації, навантаженнями (статичними, динамічними, змінного режиму).

- Великі площі міських територій, де ведеться нове будівництво, піддаються повному знесенню старих споруд або реконструюють наявні об'єкти (підводять новий фундамент, надбудовують поверхи, змінюють внутрішнє планування, тип покрівлі та ін.). При цьому породи основ відчують не тільки наростання навантажень, але іноді й низку циклів навантаження і розвантаження. В результаті відбувається ущільнення ґрунту в зоні впливу споруди, змінюються деякі фізико-механічні властивості ґрунтів.

- У наявних містах піддані техногенній зміні атмосфера, гідросфера, рельєф, рослинний і ґрунтовий покрив (насипи, підрізування, планування та ін.); і чим древніше місто, тим ці процеси значніші. Під впливом динамічних впливів від рухомого транспорту

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 82

під проїжджою частиною доріг відбувається ущільнення ґрунтів до глибини 1,5-2,0 м. Під час витoku води з інженерних мереж формуються техногенні водоносні горизонти.

- У багатьох містах (наприклад, Київ) будівництво ведеться на намивних ґрунтах.

- Під час розширення міських територій у межах міста опиняються старі сміттєзвалища, кладовища, відпрацьовані та ще діючі кар'єри, сільськогосподарські угіддя, що ускладнює геоекологічну обстановку міської території.

Основний містобудівний документ – *генеральний план міста*, на підставі якого розробляють детальні плани забудови та планування окремих житлових комплексів, промислових вузлів, транспортних та інженерних комунікацій. У генеральному плані мають враховуватися особливості геологічної будови території, гідрогеологічні умови, інженерно-геологічне та геоекологічне районування з урахуванням видів та особливостей техногенного навантаження на геологічне середовище.

Під час виконання робіт, як і під час експлуатації об'єктів, порушення природного середовища практично неминучі. Завдання будівельників зводиться до того, щоб завжди знаходити засоби і технічні можливості для їх усунення. Для цього в проекти будівництва і на період експлуатації об'єктів слід закладати природосумісні рішення, за допомогою яких можна або не допускати, або зводити до мінімуму порушення природного середовища. Природоохоронні заходи необхідно розробляти на основі досвіду будівництва, прогнозу динаміки розвитку і зміни земної поверхні внаслідок дії природних і техногенних чинників. Про виконання цих заходів у період будівництва має бути зазначено в акті на здавання об'єктів в експлуатацію.

Будівельники повинні ставитися до охорони природи, як до найважливішого свого службового обов'язку, бути організаторами і керівниками всіх природоохоронних робіт. Під час проектування слід оцінювати ступінь майбутнього порушення природи. Можливі випадки, коли від будівництва необхідно відмовитися. Небажано займати землі, придатні для сільського господарства, для забудови доцільніше використовувати землі непридатні або малопридатні. У період будівництва необхідно особливу увагу приділяти збереженню ґрунтів.

Розкриті ґрунти, які утворюються під час розкриття котлованів, слід залучати у сферу будівництва (відсіпання насипів, планування територій тощо) і не робити відвалів.

Не менш важливим заходом з охорони природи під час будівництва та експлуатації об'єктів є боротьба із запиленням повітря, забрудненням водойм і зелених масивів, проти посилення ерозії, отруєння ґрунтів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 83

ПИТАННЯ ДЛЯ ПОВТОРЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ

1. Охарактеризуйте взаємний вплив інженерних споруд і геологічного середовища.
2. Назвіть основні розділи інженерної геології.
3. Дайте коротку характеристику геосфер.
4. Для яких цілей визначається вік гірських порід, які існують методи.
5. Що називають мінералами?
6. Що називають гірськими породами.
7. Як поділяють гірські породи за генезисом.
8. Утворення та форми залягання магматичних порід, їхня тріщинуватість і будівельні властивості.
9. Утворення та умови залягання осадових порід, їх класифікація, застосування в будівництві.
10. Метаморфічні породи. Основні чинники метаморфізації.
11. Процеси внутрішньої динаміки Землі.
12. Види тектонічних рухів.
13. Види дислокацій, їхній вплив на інженерно-геологічні умови під час будівництва.
14. Сейсмічні явища. Види сейсмічних хвиль і характер землетрусів.
15. Літосферні плити верхньої оболонки Землі та види їхніх контактів.
16. Що вивчає гідрогеологія.
17. Види води в гірських породах.
18. Класифікація підземних вод.
19. Що характеризує карта гідроізогіпс.
20. Види водозаборів. Закон Дарсі.
21. Назвіть процеси зовнішньої динаміки Землі та їхній вплив на геологічне середовище.
22. Процеси вивітрювання та продукти вивітрювання. Елювій.
23. Геологічна діяльність вітру: дефляція, коразія, транспортування та акумуляція.
24. Площинна та глибинна ерозія.
25. Утворення ярів. Елементи яру.
26. Геологічна діяльність річки. Елементи долини.
27. Види річкових терас, інженерно-геологічні особливості при будівництві.
28. Охарактеризуйте небезпечні геологічні процеси, такі як: суфозія; карст; пливуні. Назвіть особливості будівництва.
29. Геологічна діяльність озер і боліт, особливості будівництва в цих умовах.
30. Види льодовиків. Особливості будівництва на моренних відкладах.
31. Селеві потоки. Райони прояву та заходи збереження схилів.
32. Види мерзлоти. Умови залягання, гідрогеологія та особливості будівництва.
33. Гравітаційні процеси на схилах і котлованах: осипи, обвали, зсуви.
34. Зародження зсувних процесів, механізм руху, класифікація, заходи боротьби.
35. Інженерно-геологічні особливості лесових порід.
36. Мета та завдання інженерно-геологічних вишукувань.
37. Завдання гідрогеологічних вишукувань.
38. Вишукування за видами будівництва.
39. У чому полягають геоекологічні проблеми міст?
40. У чому полягають інженерно-геологічні та геоекологічні проблеми міст?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05-05.01/ 192.00.1/Б/ОК14-2023
	Екземпляр № 1	Арк 84 / 84

ЛІТЕРАТУРА

1. Бакка М.Т., Ремезова О.О. Основи геології. – Житомир: РВВ ЖІТІ, 2000. –380 с.
2. Інженерна геологія [Текст]: конспект лекцій для студентів освітньо-професійної програми «Будівництво та експлуатація будівель і споруд», спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», денної форми навчання/ уклад. С.М. Данилік – Любешів: Любешівський технічний коледж Луцького НТУ, 2020. – 67 с.
3. Інженерні вишукування для будівництва. ДБН А.2.1 – 1 – 2008. – Київ, 2008. – 72 с.
4. Іськов С.С. Гідрогеологія Ч. 1 Основи гідрогеології: навч. посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 348 с.
5. Костюченко М.М., Шабатин В.С. Гідрогеологія та інженерна геологія: Підручник.– К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – 144 с.
6. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Лялюк О. Г. Інженерні вишукування. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2009 – 150 с.
7. Свинко Й.М., Сивий М.Я. Геологія. – К.: Либідь, 2003. – 480 с.