



Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Геологічний факультет
Кафедра гідрогеології та інженерної геології**

А.В.ШОСТАК

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Київ – 2010

УДК 624.131.631.43(075.8)

Р е ц е н з е н т и:

канд. геол.-мін. наук, доц. Корнеєнко С.В.,
канд. геол.-мін. наук, доц. Кошляков О.Є.

*Рекомендовано до друку вченою радою геологічного факультету
(протокол №2 від 27 жовтня 2010 року)*

Шостак, А.В.

Інженерна геологія : навчальний посібник/ А.В.Шостак. – Інтернет-ресурс Київського університету. – geol.univ@kiev.ua. – 92 с.

В навчальному посібнику подається опис тієї геологічної обстановки, котра вивчається й піддається оцінці під час інженерно-геологічних досліджень. Розглядаються інженерно-геологічні завдання, що розв'язуються за допомогою геоморфологічних, тектонічних та інших методів досліджень, а також питання встановлення за цими даними раціонального об'єму і характеру вишукувальних робіт. Далі розглядаються фізико-геологічні й інженерно-геологічні процеси, котрі впливають на оцінку умов будівництва. Два останні розділи посібника містять поняття про стадійність проектування, склад інженерно-геологічних досліджень та методи інженерно-геологічної оцінки масивів гірських порід.

Для студентів геологорозвідувальних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 624.131.631.43(075.8)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ З ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ. ЗАВДАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ І ГОСПОДАРСТВА.	5
1.1. Взаємозв'язок інженерної геології з іншими науками.	6
РОЗДІЛ 2. ПОНЯТТЯ ПРО ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ.	9
2.1. Інженерно-геологічна оцінка геоморфологічних умов місцевості.....	11
2.2. Інженерно-геологічна оцінка тектонічних особливостей місцевості та умов залягання порід.....	13
2.2.1. Тріщинуватість гірських порід та її значення під час інженерно-геологічної оцінки порід.....	15
2.2.2. Виявлення зон подрібнення і тріщинуватості гірських порід	16
2.3. Основні завдання літологічних і петрографічних досліджень для інженерно-геологічної оцінки місцевості.	18
2.3.1. Вплив петрографічних особливостей порід на оцінку інженерно-геологічних умов будівництва.	19
2.3.2. Петрографічна характеристика основних типів гірських порід.	20
2.4. Інженерно-геологічна оцінка гідрогеологічних умов місцевості.	24
РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ЯВИЩА. ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ І ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.	26
3.1. Інженерно-геологічна класифікація процесів і явищ.	28
3.2. Вивітрювання гірських порід і основні його чинники.....	29
3.2.1. Шляхи проникнення агентів вивітрювання в земну кору.....	31
3.2.2. Зони вивітрювання порід.....	33
3.2.3. Вивчення вивітрювання для інженерно-геологічних завдань.	34
3.2.4. Зовнішні ознаки вивітрювання порід та їх опис.	35
3.2.5. Спостереження, необхідні для встановлення характеру і потужності захисних покриттів і ціликів.	38
3.2.6. Лабораторне вивчення вивітрілих порід.	39
3.2.7. Заходи боротьби з вивітрюванням гірських порід.....	39
3.3. Сезонне та багаторічне промерзання гірських порід.	41
3.3.1. Будова товщі багаторічномерзлих порід.	42
3.3.2. Основні типи підземних льодів і процеси, що їх утворюють.	43
3.3.3. Фізичні процеси у промерзаючих гірських породах.....	44
Фізичні і механічні властивості мерзлих і відталих гірських порід.....	44
3.3.4. Фізико-геологічні явища, характерні для областей розвитку багаторічномерзлих порід.	45
3.3.5. Деформація споруд внаслідок явищ промерзання і відтанення.	48
3.3.6. Особливості інженерно-геологічних досліджень в умовах розвитку багаторічномерзлих порід.	48
3.3.7. Умови будівництва в районах розвитку багаторічномерзлих порід.	49
3.4. Діяльність вітру (еолові процеси).....	50
3.4.1. Інженерно-геологічні дослідження еолових процесів.....	50
3.4.2. Заходи боротьби з рухомими пісками.....	51
3.5. Діяльність поверхневих вод.	52
3.5.1. Площинний змив і струменева ерозія.	52
3.5.2. Яругоутворення.....	53
3.5.3. Діяльність річок.	54
3.5.4. Формування берегів природних і штучних водоймищ.	56
3.5.5. Заходи боротьби з морською абразією.	58
3.5.6. Переробка берегів і формування чаші водосховищ.....	58
3.5.7. Захист берегів водоймищ від переробки і супутних явищ.....	60
3.6. Просідні явища в гірських породах.	60
3.6.1. Будівництво на просідних породах.	61
3.7. Карст.....	62
3.7.1. Умови утворення і розвитку карсту, заходи боротьби з ним.	62
3.8. Болота і заболочені території.	65
3.8.1. Умови утворення боліт. Будівництво на заболочених територіях.....	65
3.9. Діяльність підземних вод.	67
3.9.1. Суфозійні явища.....	67
3.9.2. Завдання інженерно-геологічних досліджень і заходи боротьби з суфозією.	68
3.9.3. Пливуни.	68
3.9.4. Завдання інженерно-геологічних досліджень і заходи боротьби з пливунями.	70
3.10. Дія гравітаційних сил на схилах.	71

	4
3.10.1. Зсуви.	71
3.10.2. Умови виникнення зсувного процесу.	72
3.10.3. Класифікація зсувів.	73
3.10.4. Заходи боротьби зі зсувами.	73
3.10.5. Методи інженерно-геологічного вивчення зсувів.	74
3.10.6. Осипи, обвали, розсипи.	75
3.11. Діяльність внутрішніх сил Землі (землетруси).	77
3.11.1. Причини виникнення землетрусів.	77
3.11.2. Фізичні явища в породах, що відбуваються під час землетрусів.	77
3.11.3. Оцінка сили землетрусів.	78
3.11.4. Сейсмічне районування.	79
3.11.5. Умови будівництва в сейсмічноактивних районах.	79
3.12. Процеси, пов'язані з інженерно-господарською діяльністю людини.	80
3.12.1. Стискання ґрунтів під спорудами.	80
3.12.2. Деформації, пов'язані зі зміною побутового тиску.	82
3.12.3. Гірничий тиск.	82
3.12.4. Осідання земної поверхні під впливом відкачувань підземних вод або рідких чи газоподібних корисних копалин.	83
РОЗДІЛ 4. СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СКЛАД ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.	84
4.1. Категорії складності інженерних споруд.	84
4.2. Класифікація інженерно-геологічних умов ділянок будівництва інженерних споруд.	85
4.3. Стадії проектування інженерних споруд. Склад та порядок розробки проектної документації.	86
4.4. Інженерні вишукування для будівництва інженерних споруд.	87
4.5. Інженерно-геологічне випробування.	89
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД.	90
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	92

ВСТУП

Інженерна геологія має свій предмет, свої завдання і методи досліджень. Вона розробляє широке коло наукових геологічних проблем і розв'язує практичні завдання, що виникають під час проектування та будівництва різноманітних споруд (цивільних і промислових будівель, міст, доріг, мостів, гідровузлів, теплових і атомних електростанцій, тунелів і метрополітенів, аеродромів, портів, шахт, кар'єрів тощо), під час виконання інженерних робіт з покращання територій (осушення, зрошення, боротьба зі зсувами, сільовими та іншими геологічними явищами), а також під час виконання гірничих робіт на родовищах корисних копалин.

В підручнику розглядається коло завдань, питань і проблем, що становлять зміст головної частини курсу інженерної геології. В ньому наводяться основні положення про геологічні умови будівництва, які визначаються на підставі вивченні рельєфу території будівництва, її геологічної будови, гідрогеологічних умов, поширення тих чи інших типів гірських порід, структурно-тектонічної обстановки розвитку геологічних процесів і явищ. В основу посібника покладено курс лекцій, який автор читає на геологічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Посібник відповідає програмі курсу, котра була свого часу скорочена у зв'язку з переходом на нові освітні стандарти. Тому посібник розрахований не лише на студентів спеціальності «гідрогеологія», але й на студентів ряду інших геологічних спеціальностей. Автор намагався відібрати з циклу інженерно-геологічних дисциплін те, що конче необхідно знати геологам інших спеціальностей. Внаслідок скорочення обсягу лекційних годин довелося відмовитися від викладення в посібнику основ регіональної інженерної геології, яка є невід'ємною частиною інженерної геології і читається тепер лише для студентів-гідрогеологів. Під час розробки посібника автор базувався на результатах новітніх теоретичних досліджень в галузі інженерної геології та суміжних наук, практики інженерних вишукувань та досвіду проектування, будівництва і експлуатації будівель і споруд.

Перший розділ посібника містить короткі відомості про суть інженерної геології, місце її в ряду інших геологічних наук та історію становлення й розвитку.

У другому розділі посібника подається опис тієї геологічної обстановки, яка вивчається й піддається оцінці під час інженерно-геологічних досліджень. Тут розглядаються інженерно-геологічні завдання, що розв'язуються за допомогою геоморфологічних, тектонічних та інших методів досліджень.

У третьому розділі розглядаються фізико-геологічні та інженерно-геологічні процеси і явища, які впливають на оцінку умов будівництва.

Четвертий розділ містить у собі поняття про стадійність інженерно-геологічних вишукувань відповідно до чинних нормативних документів, а п'ятий – короткі відомості про методи інженерно-геологічної оцінки масивів гірських порід.

Автор висловлює подяку завідувачу кафедри гідрогеології та інженерної геології О.Є.Кошлякову та доценту С.В.Корнєєнку за рецензування посібника і цінні зауваження, висловлені при цьому, а також співробітникам кафедри, котрі надавали технічну допомогу під час підготовки електронної версії посібника до публікації.

РОЗДІЛ 1. ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ З ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ. ЗАВДАННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ І ГОСПОДАРСТВА.

Інженерна геологія входить у систему геологічних знань про Землю і є геологічною наукою, що межує з технічними науками (будівельною, гірничою), тісно пов'язана з

геологічними (стратиграфією, тектонікою, літологією, гідрогеологією) та іншими природними науками.

Основоположник інженерної геології акад. Ф.П.Саваренський вважав, що “інженерна геологія є галуззю геології, яка трактує питання прикладення геології до інженерної справи”. В одній із своїх робіт (ще у 1934 р.) він писав, що перед інженерною геологією постає подвійне завдання: 1) вибрати і вивчити на наукових засадах місця зведення споруд і 2) дати прогноз зміни природних умов внаслідок втручання людини.

Приблизно в той же час Г.М.Каменський (1936) ввів поняття про інженерно-геологічні процеси та явища. Їх вивчення, оцінка і прогнозування складають основне завдання інженерної геології. До них належать сучасні геологічні процеси та явища, викликані природними факторами, але змінені (активізовані) інженерно-будівельною діяльністю людини, а також утворені знову під її впливом. Типові приклади – це переробка берегів водосховищ, вплив фільтраційних потоків на гірські породи, зсуви на берегах кар’єрів і укосах виїмок і т.д. У кожного геологічного процесу є свій інженерно-геологічний аналог.

На думку В.В.Приклонського (1949), інженерна геологія складається з трьох основних розділів:

- 1) вчення про гірські породи як ґрунти, включаючи і технічну меліорацію;
- 2) вчення про інженерно-геологічні явища;
- 3) регіональна інженерна геологія.

За означенням І.В.Попова, інженерна геологія – це галузь геології, що вивчає будову і динаміку верхньої частини літосфери (геологічного середовища), як об’єкт будівельної діяльності людини.

Головними теоретичними й практичними завданнями інженерної геології на сучасному етапі є:

- 1) вивчення діяльності людини у верхній частині літосфери як геологічного фактора;
- 2) оцінка інженерно-геологічних умов (гірських порід, підземних вод, геологічних процесів тощо);
- 3) просторово-часовий прогноз взаємодії геологічного середовища та інженерних споруд (у кількісній формі);
- 4) обґрунтування методів управління геологічними та інженерно-геологічними процесами;
- 5) спеціалізована типізація та районування території і масивів порід з метою раціонального їх використання, охорони оточуючого середовища і виконання вишукувань.

Таким чином, інженерна геологія є наукою про формування й зміни інженерно-геологічних умов територій, про геологічні умови будівництва і експлуатації споруд, раціональне використання геологічного середовища та його охорони в зв’язку з розвитком геологічних процесів і явищ.

1.1. Взаємозв’язок інженерної геології з іншими науками.

На сьогодні інженерна геологія займає цілком визначене положення в науці про Землю і є однією з двох її головних складових. Дійсно, де б у нашій країні або за її межами не виконувалися геологічні дослідження – на суші чи на морі, вони завжди спрямовані на розв’язок одного з двох основних завдань: 1) виявлення, розвідку та промислову оцінку родовищ корисних копалин і 2) вивчення й оцінку геологічних умов будівництва різноманітних споруд. Інженерна геологія розвивається на базі інших фундаментальних наук про речовину земної кори, про її історію та будову. Історична геологія, палеонтологія, стратиграфія, кристалографія, мінералогія, петрологія магматичних, метаморфічних і осадових порід, а також геотектоніка, геоморфологія, гідрологія і гідрогеологія, мерзлотознавство, геофізика, фізична і колоїдна хімія, вчення про водні розчини, фізика і механіка пружних, пластичних і в’язких, суцільних і дискретних тіл – ось далеко неповний

перелік наук про Землю та інших природничих наук, здобутками яких користується інженерна геологія.

У наш час гірничо-інженерно-будівельна та господарська діяльність людини є найважливішим геологічним чинником, що змінює стан верхньої частини літосфери та хід сучасних геологічних процесів. Свідченням цього є штучні землетруси, видобуток з надр гігантських мас порід (лише у вугільній промисловості більше 3 млрд. м³/рік), підземних вод, нафти, активізація зсувів об'ємами до сотень мільйонів кубічних метрів, переробка берегів водосховищ та ін.

У 1944 р. В.І.Вернадський ввів поняття про “ноосферу” – сферу розуму, де людина стає найбільшою геологічною силою”. Справедливість його слів стає все більш очевидною з розвитком науково-технічного прогресу.

Наскільки великим і різноманітним є вплив людини на верхню частину земної кори, стає зрозумілим, якщо пригадати лише деякі факти і цифри, пов'язані з цим впливом. Наприклад, у районі всесвітньо відомої Курської магнітної аномалії свого часу були створені найбільші кар'єри для видобутку залізних руд відкритим способом. При підготовці цих кар'єрів (Михайлівського і Лебединського) до експлуатації було знято більше, ніж 170 млрд. м³ порід, які перекривали руди. Із величезних котлованів площею в декілька км² і глибиною більше 100 м, відбувалося щоденне відкачування 120 тис. м³ води. Це призвело до зміни рівня підземних вод у всьому прилеглому районі.

Гідротехнічне та іригаційне будівництво також охопило території в десятки і навіть сотні тисяч км². На початок ХХІ століття площі зрошуваних земель у всьому світі досягають 200 млн. га. На жаль, зрошення і створення водосховищ у багатьох випадках призводить до засолення ґрунтів, заболочування значних територій, до інтенсивного розвитку зсувів, обвалів та інших негативних явищ.

Діяльність людей, пов'язана з гірничими і будівельними роботами, призводить до переміщення порід об'ємом не менше 1 км³ на рік, що порівнюється до денудаційної роботи річок.

Вся інженерно-господарська діяльність людей тісно пов'язана між собою, і в такому ж тісному зв'язку опиняються різні види впливу людини на земну кору. Такий інтенсивний вплив на верхню частину земної кори вимагає вивчення інженерно-геологічних умов для великих територій та прогнозу їх зміни під впливом людської діяльності на тривалий час. При цьому під інженерно-геологічними умовами розуміють існуючі в даний час особливості геологічної будови території, складу і властивостей гірських порід, геологічних процесів, рельєфу та підземних вод.

Наприклад, можливе виникнення зсувів у результаті порушення природних схилів, виникнення сельових потоків при вирубці лісу, зміна мерзлотних умов при будівництві і т.д. Процеси і явища, викликані діяльністю людей, дістали назву інженерно-геологічних. Вони відрізняються від подібних, які розвиваються природним шляхом, тим, що для їх проявлення потрібно, як правило, менше часу. Інколи інженерно-геологічні процеси виявляються більш інтенсивними, ніж відповідні процеси у природних умовах.

Інженерна геологія вивчає і оцінює геологічні фактори, що впливають на інженерні споруди: на вибір місця їх розташування, на конструкцію, на способи виконання робіт і т.п. Інженерна споруда, в свою чергу, може змінити існуючі природні геологічні умови і процеси.

Є.М.Сергєєв (1978) визначає інженерну геологію як “науку, що вивчає земну кору як середовище життя і діяльності людини” (згадаймо “ноосферу” В.І.Вернадського).

При цьому, об'єктом її вивчення є сучасний стан і динаміка зміни верхньої частини земної кори в зв'язку з інженерною діяльністю людини. Це поняття дуже широке: воно включає в себе всі зміни, що відбуваються у складі, структурі і текстурі гірських порід, зміни їх властивостей і, як наслідок цього, виникнення і розвиток або, навпаки, зникнення різних геологічних процесів, що, в свою чергу, призводить до зміни інженерно-геологічних умов окремих територій.

Відповідно до цього в інженерній геології і виділяють три основні інженерно-геологічні дисципліни:

- 1) ґрунтознавство (вивчає гірські породи як ґрунти);
- 2) інженерну геодинаміку (вивчає як природні геологічні так і інженерно-геологічні процеси і явища);
- 3) регіональну інженерну геологію (вивчає закономірності просторово-часової мінливості інженерно-геологічних умов в залежності від історії розвитку земної кори і сучасних фізико-географічних умов).

Виникнення інженерної геології (ІГ) і розвиток її на перших етапах були пов'язані з будівництвом. Передісторія ІГ складається з двох етапів.

Перший етап, коли будівельники та гірничі інженери самостійно вивчали гірські породи, що є основою, середовищем і матеріалом для різних споруд. Навряд чи можна хоча б приблизно з певністю вказати, коли почали вивчатися гірські породи в зв'язку з будівництвом. Траплялися і казуси. Про один з них свідчить давньоримський історик Корнелій Тацит (55-120 рр.): “Якийсь Отілій, вільновідпущеник, зважившись побудувати в Фіденах амфітеатр для гладіаторських вистав, з одного боку, не поклав фундамент на міцному ґрунті, з іншого, не скріпив міцними скріпами дерев'яних крокв... Переповнена будівля здригнулася і, обвалюючись всередині та розсипаючись зовні, стрімголов захопила з собою й накрила велику масу смертних, котрі як споглядали видовище зсередини, так і стояли навкруги амфітеатру...”.

Початком же перших наукових досліджень і узагальнення накопиченого матеріалу можна вважати перші десятиліття ХІХ ст. З розвитком промислового капіталізму в Європі, і зокрема в Росії, з'явилися і перші наукові праці: Д.Лачинова “Рассуждение об устройении и укреплении плотин” (1816), М.Герсеванова “Лекции о морских сооружениях” (1861), В.Карловича “Основания и фундаменты” (1869) та ін. В цих працях гірські породи вже звалися “ґрунтами”. Але на цьому етапі такими питаннями займалися лише будівельники.

Другий етап передісторії ІГ пов'язаний із залученням геологів до вишукувань під будівництво (з середини ХІХ по 20-і роки ХХ ст.). Для будівництва залізниць, каналів та ін. Серед геологів, які консультували будівельників, було чимало відомих вчених: Сміт (Англія), Берклі (США), І.В.Мушкетов, В.О.Обручев, О.П.Павлов та ін. О.П.Павлов розробив класифікацію ґрунтів, побудовану на розгляді сил зчеплення в ґрунтах, від яких залежать такі їх властивості як стисливість і розмивність.

Початком формування ґрунтознавства слід вважати створення в Петрограді у 1923 р. Дорожньо-дослідницького бюро. Виникло дорожнє ґрунтознавство, яке з часом при використанні для інших видів будівництва втратило прикметник “дорожнє” і стало зватися більш широко – “ґрунтознавство”. У 1930 р. була відкрита кафедра ґрунтознавства в Ленінградському університеті, а у 1938 р. – така ж у Московському. Велике значення для його розвитку (ґрунтознавства) мали праці П.А.Зем'ятченського, М.М.Філатова, В.В.Охотіна, В.О.Приклонського, І.В.Попова, С.С.Морозова та ін.

У 1925 р. вийшла монографія Карла Терцагі “Будівельна механіка ґрунтів”, яка поклала початок нової науки “Механіка ґрунтів”. Це, як відомо, поєднання фізико-математичних, будівельних і геологічних наук.

Власне назва “інженерна геологія” з'явилася невідомо коли. За спогадами І.В.Попова, “вона носилася в повітрі і застосовувалася російськими геологами вже в 20-х роках”. Вперше під назвою “інженерна геологія” у 1929 р. вийшла книга Редліха, Кампе і Терцагі німецькою мовою, але в ній обґрунтування назви і методологічних основ інженерної геології не було. На думку академіка Є.М.Сергеєва, інженерна геологія як наука сформувалася вперше в Радянському Союзі. Великий внесок в її становлення й подальший розвиток мали праці Ф.П.Саваренського, Г.М.Каменського, Н.Ф.Погребова, І.В.Попова, М.М.Маслова, М.П.Семенова, В.О.Приклонського та ін. вчених, що брали участь у вишукуваннях під будівництво гідроелектростанцій на Волзі, Дніпрі, по трасі каналу Волга-Москва та ін.

В 1929 р. була відкрита кафедра інженерної геології в Ленінградському гірничому інституті, а в у 1931 р. – у Московському геологорозвідувальному інституті.

У 1937 р. вийшли в світ книги: "Інженерна геологія" Ф.П.Саваренського та "Методика інженерно-геологічних досліджень для гідротехнічного будівництва" (М.П.Семенов, М.І.Біндерман, М.М.Гришин). В 1951 р. вийшов підручник "Інженерна геологія" І.В.Попова.

В ті ж роки за кордоном виникла "геотехніка", в якій на перше місце висувалися механіко-математичні методи аналізу геологічних та інженерно-геологічних явищ, що впливають на стійкість споруд, а загальноприйнятими дослідженнями відводилася другорядна роль. Сьогодні не можна сказати, що розвиток інженерної геології завершився. Коло її завдань постійно розширюється.

Як і вся геологія, інженерна геологія використовує досягнення математики, механіки, фізики і хімії. Серед геологічних наук вона найтісніше пов'язана з гідрогеологією та геокріологією: структура і текстура мерзлих порід, їх властивості значно відрізняються від подібних властивостей порід, не охоплених мерзлотою; геологічні процеси в мерзлих породах протікають своєрідно. В інженерній геодинаміці природні води розглядаються як один із основних чинників, що зумовлюють розвиток геологічних процесів.

Сполучною ланкою між інженерною геодинамікою та ґрунтознавством виступає механіка ґрунтів, а між ґрунтознавством і регіональною інженерною геологією – регіональне ґрунтознавство (вивчає основні закономірності формування і просторового розташування гірських порід як ґрунтів).

Запитання для самоконтролю.

1. Дайте означення інженерної геології як науки.
2. З яких основних частин складається інженерна геологія?
3. Назвіть теоретичні і практичні завдання інженерної геології.
4. З якими науковими дисциплінами пов'язана інженерна геологія?
5. Вкажіть головні етапи становлення інженерної геології.

РОЗДІЛ 2. ПОНЯТТЯ ПРО ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ.

Виконуючи інженерно-геологічні дослідження, зазвичай дають інженерно-геологічну характеристику умов будівництва тієї чи іншої споруди. В цьому випадку під інженерно-геологічними умовами розуміють такі, від наявності чи зміни яких залежать місце розташування споруди, її конструкція, способи виконання робіт, а також вибір заходів боротьби з несприятливими явищами. Отже, до інженерно-геологічних умов може бути віднесено будь-яке геологічне явище (наприклад наявність тріщин, особливості залягання порід, наявність і динаміка зсувних процесів, просідання лесів), якщо воно здійснює вплив на споруду.

Одна і та ж інженерно-геологічна умова оцінюватиметься неоднаково залежно від типу і конструкції споруди. Наприклад, якщо в товщі однорідних і міцних порід, які складають природну основу споруди, міститься тонкий прошарок слабкої глини, то такий прошарок оцінюватиметься по різному залежно від того, що саме буде тут споруджено: будинок, гребля, мостовий перехід тощо.

Інженерно-геологічні умови, як правило, діляться на більш-менш однорідні групи, з тим, щоб їх можна було систематично вивчати, застосовувати специфічні методи досліджень. Так, наприклад, їх можна поділити на:

- 1) геологічну обстановку;
- 2) фізико-геологічні явища;
- 3) інженерно-геологічні процеси.

Під геологічною обстановкою зазвичай розуміють різноманітні геологічні умови, що так чи інакше впливають на споруду: геоморфологічні, тектонічні, гідрогеологічні, а також літологічний склад порід і т.п.

Стосовно фізико-геологічних явищ академік Ф.П.Саваренський у 1941 р. дав їх класифікацію, яка ґрунтується на відмінностях причин утворення і розвитку цих явищ. Пізніше її доповнив М.В.Коломенський (1956) і на сьогодні вона виглядає наступним чином.

Табл. 1

Основні причини виникнення і розвитку явищ	Фізико-геологічні явища
1. Діяльність агентів вивітрювання	Вивітрювання
2. Діяльність поверхневих вод (морів, озер, річок, каналів)	Підмивання берегів та їх обвалення (морська і річкова абразія). Розмивання схилів (балки, яри) Селі
3. Діяльність поверхневих і підземних вод	Болота, просідання, карст
4. Діяльність поверхневих і підземних вод на схилах	Зсуви
5. Діяльність підземних вод	Суфозія Пливуни
6. Промерзання і відтанення ґрунту	Промерзання і пучинність Багаторічна мерзлота та її прояви
7. Дія внутрішніх сил Землі	Сейсмічні явища
8. Інженерна діяльність людини	Осідання, стискання, набрякання, поверхневі і підземні деформації в штучних підземних виробках

Як видно, в цій класифікації вказано на причини виникнення тих чи інших фізико-геологічних явищ, в чому і полягає її практична цінність, тому що заходи боротьби з цими явищами перш за все повинні бути спрямовані на усунення причин їх виникнення і розвитку, а якщо це неможливо (землетруси), то на послаблення їх дії на споруди. Однак, наведена класифікація дещо схематична в аналізі процесів, пов'язаних з інженерною діяльністю людини і називаються інженерно-геологічними процесами. Тому можна навести ще одну класифікацію (І.В.Попов, 1951). В ній, на відміну від класифікації Ф.П.Саваренського, природні геологічні процеси співставляються з аналогічними інженерно-геологічними процесами.

Табл. 2

Природні геологічні явища	Інженерно-геологічні процеси
1. Ущільнення осадків в процесі діагенезу під впливом ваги наступних відкладів. Ущільнення порід під впливом навантажень від льодовиків і т.п.	Ущільнення порід в основах споруд
2. Ущільнення лесів в процесі епігенезу з утворенням степових блюдець	Просадкові явища в лесах внаслідок протікань з водогонів та фільтрації води з каналів
3. Наледі, льодяні бугри, термокарст і т.п.	Мерзлотні деформації порід в основах споруд та пучіння на дорогах
4. Зсуви, спливання, обвали, осипання	Деформація штучних укосів
5. Абразія по берегах морів та озер	Переробка берегів водосховищ

6. Провали над карстовими порожнинами	Зрушення гірських порід при підземних роботах
---------------------------------------	---

Отже, в подальшому ми розглянемо вплив геологічної обстановки на інженерно-геологічну оцінку місцевості, а потім перейдемо до характеристики фізико-геологічних явищ (за класифікацією Ф.П.Саваренського) і паралельно інженерно-геологічних процесів.

2.1. Інженерно-геологічна оцінка геоморфологічних умов місцевості.

Основні завдання геоморфологічних досліджень при інженерно-геологічній оцінці місцевості:

1. Встановлення наявності і характеру фізико-геологічних явищ (зсувів, карсту і т.п.), які впливають на проектування і будівництво споруд.

2. Встановлення, особливо на ранніх стадіях інженерно-геологічних досліджень, форм і розмірів морфологічних елементів, розташування їх у просторі, складу і ступеня однорідності гірських порід, які в тій чи іншій мірі визначають розташування, конструкції споруд та умови їх будівництва і експлуатації.

3. Раціональне визначення об'єму і характеру розвідувальних робіт (особливо на перших стадіях досліджень), що проводяться для інженерно-геологічних цілей (тип і глибина виробок, їх конструкція, розташування по площі, режим проходки).

Фізико-геологічні явища (зсуви, карст, мерзлотні явища та ін.) в значній мірі впливають на розташування споруд, вибір їх конструкції, на способи виконання будівельних робіт.

Як правило, практична необхідність встановлення наявності і характеру фізико-геологічних явищ виникає на перших стадіях інженерно-геологічних досліджень, коли вибирається та оцінюється ділянка, район забудови, створ греблі і т.ін. На перших стадіях досліджень саме геоморфологічний метод, очевидно, є єдиним методом дослідження, що дозволяє встановити наявність, характер, а в ряді випадків і розміри фізико-геологічних явищ.

За формами рельєфу досить точно вдається встановити наявність зсувів (характерні зсувні цирки, бугристість зсувного тіла, стінки відриву, бугри випирання, відкинуті уступи і т.п.), карсту (наявність лійок, блюдцеподібних знижень і т.п.), явищ, пов'язаних з багаторічною мерзлотою тощо.

За допомогою геоморфологічних досліджень можна не лише встановити наявність того чи іншого явища, але і його розміри, тобто площу і глибину поширення. Наприклад, оконтурення зсувного тіла дозволяє дати корисні рекомендації щодо проектування споруд. Прикладом ігнорування геоморфологічних особливостей може служити проектування і будівництво одного із санаторіїв у м. Сочі. Ця будівля була розташована на зсувному уступі, причому, довга сторона будівлі збігалася з напрямком руху зсуву. Північно-східна частина споруди розташована на корінних породах схилу, а південно-західна, більша частина споруди, була розташована на зсувному тілі. Не зважаючи на те, що протягом 24 років з моменту забудівлі зсувні рухи не відбувалися, у будинку утворилася тріщина, що йшла від лінії контакту корінних порід з породами зсувного тіла. Пояснюється така деформація тим, що основою південно-західної частини будівлі є породи, що стискаються і які складають зсувне тіло. Звідси й більше осідання у порівнянні з корінними породами. Але навіть у тому випадку, якби північно-східна частина не розташовувалася на корінних породах, а була б впритул присунута до стінки зриву, то деформація споруди все одно відбувалася б через нерівномірне осідання, обумовлене різною потужністю зсувних накопичень під різними частинами споруди.

Одним із важливих об'єктів геоморфологічного вивчення для інженерно-геологічних потреб є річкові долини, особливо при дослідженнях для проектування і будівництва гідротехнічних споруд. Як відомо, на основі геоморфологічних досліджень встановлюється

історія розвитку річкових долин, форма і розміри їх елементів (положення і напрямки дна та тальвегу долини, ширина долини, розміри заплави, терас, їх склад, крутизна схилів і т.п.).

Під час інженерно-геологічних досліджень для гідротехнічного будівництва важливим є виділення в межах річкових долин древніх, інколи похованих русел (їх інколи називають прарічками). Дно таких русел буває розташоване нижче сучасних русел, а склад відкладів, які заповнюють древні долини, суттєво відрізняється від сучасних відкладів.

Ширина річкових долин і крутизна їх схилів обумовлюють розміри гідротехнічних споруд і можливості розгортання будівельних робіт, планування населених пунктів, спрямування доріг і т.ін.

Для інженерно-геологічної оцінки умов місцевості важливо знати походження, кількість, висоту і поширення терас річкових долин, а також склад і потужність порід, з яких вони складаються. Походження терас впливає на їх літологічний склад і геологічну будову. З цієї точки зору слід розрізняти акумулятивні, ерозійні, змішані і заплавні тераси.

Акумулятивні тераси складені характерними алювіальними та озерними відкладами інколи надзвичайно строкатого складу. При цьому окремі літологічні різновиди цих порід перебувають у складних взаємовідносинах один з одним. Відклади акумулятивних терас бувають представлені галечниками, гравієм, пісками, супісками, суглинками, глинами, прошарками і лінзами мулу і торфу. Всі вони, зазвичай, наділені різними фізико-механічними властивостями.

Дуже часто чітко спостерігається укрупнення механічного складу алювіальних відкладів згори вниз за глибиною і знизу вгору за напрямком течії річки. Характерною особливістю багатьох типів алювіальних відкладів є вміст в них тієї чи іншої кількості органічних речовин.

Ерозійні тераси представляють собою майданчики, вироблені протічною водою в корінних породах. Тому всі споруди в цьому випадку будуть розташовані на корінних породах, наділених залежно від їх складу різною міцністю. Інколи такі тераси утворюються в міцних скельних породах (Кавказ, Урал, Альпи).

Змішані тераси з інженерно-геологічної точки зору мало чим відрізняються від акумулятивних, тому що в цьому випадку товща різноманітних алювіальних відкладів підстеляється корінними породами.

Заплавні тераси найчастіше бувають складені різними комплексами піщано-глинистих утворень, які інколи вміщують значну кількість органічних речовин.

При порівнянні геологічної будови і складу порід, що складають акумулятивні і ерозійні тераси, стає зрозумілим вся важливість виділення цих геоморфологічних елементів місцевості. По-перше, якщо це акумулятивні тераси, то при їх інженерно-геологічній оцінці доводиться враховувати велику неоднорідність літологічного складу (отже, і фізико-механічних властивостей порід), їх часту фаціальну мінливість (звідси нерівномірні осідання і деформації).

По-друге, у випадку будівництва напірних споруд (гребель) піщані, гравійно-галькові та валунні відклади можуть бути шляхами для витоку води із водоймищ. Ці відклади можуть бути також однією з причин суфозії дрібніших за механічним складом підстеляючих чи перекриваючих порід.

По-третє, глинисті алювіальні відклади, особливо у верхніх частинах надзаплавних терас, піддаються періодичному просушуванню, за рахунок якого їх міцність збільшується.

По-четверте, в умовах сухого, жаркого клімату глинисті відклади терас можуть містити водорозчинні солі, вилуговування яких призведе до зменшення міцності (при роботі напірних споруд), а лесовидні відклади можуть мати просідні властивості.

По-п'яте, пухкі піщані утворення терас можуть ущільнюватися під впливом динамічних навантажень (при роботі механізмів, водозливних гребель, проходженні залізничних составів, виконанні вибухових робіт і т.п.), що приведе до неприпустимих осадок споруд.

Цей перелік інженерно-геологічних особливостей алювіальних відкладів суттєво зміниться, якщо розглянути ерозійні тераси. По-перше, як вже говорилося, інколи ерозійний вріз відбувається в досить міцних і стійких скельних породах. По-друге, корінні породи мають, як правило, більшу міцність, ніж глинисті алювіальні. По-третє, корінні породи більш однорідні за глибиною і площею поширення, що забезпечує основу споруди від нерівномірного осідання. По-четверте, корінні породи мають більшу щільність і не схильні ущільнюватися під дією динамічних навантажень.

Найбільш несприятливими для будівництва, очевидно, є відклади заплавних терас, а особливо мулисто-глинисті відклади стариць. Породи, які заповнюють стариці, – це мулисто-глинисті утворення, збагачені органічними рештками. Вони перебувають у водонасиченому, м'якопластичному, а інколи і текучому чи прихованотекучому стані. Ці породи часто наділені тіксотропними властивостями і мають велику стисливість та низький опір зсувним зусиллям (кут внутрішнього тертя $\varphi < 8^\circ$, а зчеплення порядку кількох тисячних долей МПа). Старичні породи нестійкі у стінках котлованів і виїмок, дають великі й нерівномірні осідання, а інколи й витискаються під вагою споруди. Породи з такими ж властивостями можуть зустрічатися і в складі заплавних відкладів (не терас).

Під час інженерно-геологічної оцінки окремих елементів річкових долин слід рахуватися з тим, що часто в заплавних і руслових відкладах можуть у великих кількостях зустрічатися так звані “топляки”, тобто поховані в алювіальних відкладах дерева, нанесені річкою. Інколи вони зустрічаються цілими пластами, що ускладнює роботи під час проходження різних виїмок.

На вимогу сучасних нормативних документів під час геоморфологічних досліджень встановлюється раціональний об'єм і характер розвідувальних робіт, до яких висуваються наступні вимоги:

1. Кожний геоморфологічний елемент повинен бути охарактеризований виробками.
2. На більш пізніх стадіях досліджень виробки повинні згущуватися.
3. Дуже бажаним є висвітлення місць стикування окремих геоморфологічних елементів (наприклад, місце переходу делювіальних відкладів в алювіальні).
4. Отримані для одного геоморфологічного елементу дані можуть переноситися на такі ж елементи, розташовані в районі досліджень.

Що стосується техніки, то, наприклад, обводнені заплавні відклади доцільно проходити механічним бурінням з відбором проб ґрунтоносами, або ж відкритими виробками із заморожуванням. Якщо ж маємо справу з абразійною терасою, то раціональним є колонкове буріння. На схилах, наприклад, найчастіше застосовують розчистки. Глибина виробок залежить від характеру і розмірів геоморфологічних елементів.

Запитання для самоконтролю.

1. Що називається інженерно-геологічними умовами?
2. На які групи можуть поділятися інженерно-геологічні умови?
3. Що таке геологічна обстановка?
4. Дайте характеристику класифікації фізико-геологічних явищ за Ф.П.Саваренським.
5. Як пов'язуються природні геологічні явища і інженерно-геологічні процеси у класифікації І.В.Попова?
6. Якими є основні завдання геоморфологічних досліджень під час інженерно-геологічної оцінки місцевості?
7. Назвіть основні типи річкових терас.
8. Які відклади характерні для кожного типу річкових терас?

2.2. Інженерно-геологічна оцінка тектонічних особливостей місцевості та умов залягання порід.

Дія тектонічних сил проявляється у формі підйому або опускання земної кори, зміни умов залягання, деформування порід. Це супроводжується роздрібненням порід і утворенням в них напружених зон. По суті, у процесі інженерно-геологічних досліджень можна виявити і вивчити тільки наслідки тектонічних зрушень.

Слід зазначити, що умови залягання порід можуть визначатися не тільки тектонічними умовами, але й умовами утворення порід, подальшою геологічною історією їх існування, денудаційними процесами та ін.

Основними завданнями тектонічних досліджень під час інженерно-геологічної оцінки місцевості є наступні:

1. Виявлення умов залягання порід, які впливають на стійкість споруд, на вибір конструкцій споруд, на методи виконання будівельних робіт та інженерно-геологічних досліджень.
2. Виявлення зон подрібнення і напруження, тріщинуватості, закономірностей розташування тріщин, характеру заповнення, складу і властивостей заповнювача тріщин.
3. Визначення раціонального характеру та об'єму розвідувальних, лабораторних і дослідних робіт, особливо на перших стадіях досліджень.

Залежно від тектонічних впливів, загальних фізико-географічних умов утворення порід, денудаційних та інших процесів, геологічні тіла можуть мати різну просторову форму, різну почерговість шарів, різну конфігурацію покрівлі і підшови шарів, різний їх нахил. Все це зазвичай впливає на інженерно-геологічну оцінку умов будівництва і на вибір методики інженерно-геологічних досліджень.

Розглянемо деякі основні зміни стійкості споруд, пов'язані з умовами залягання порід.

Нахил пластів в той чи інший бік може впливати на стійкість споруди і на розвиток різних фізико-геологічних процесів. Нахил водопроникних шарів у бік берега може призвести до фільтрації води з водосховища. Нахил глинистих пластів у бік моря чи русел річок в деяких умовах часто стає причиною утворення зсувів.

При спорудженні гребель найбільш сприятливим є горизонтальне залягання порід, менш сприятливим – нахил їх у бік верхнього б'єфу, тому що у цьому випадку важкі бетонні споруди матимуть в основі породи різної міцності. До зовсім несприятливих відносяться умови, коли шари порід нахилені у бік нижнього б'єфу (пласти різної міцності; вода буде фільтруватися в нижній б'єф; споруда може зрушитися по поверхнях нашарування; витіки води в нижній б'єф, суфозія і подальше руйнування споруди).

Величина, характер, рівномірність і швидкість осідання в дуже великій мірі залежать від умов залягання порід в основі споруд. На жаль, незважаючи на великі досягнення сучасної механіки ґрунтів, її формули ще не в змозі врахувати всі природні чинники і застосовуються у відносно простих випадках та із значними умовностями. Тому оцінка стійкості споруди і визначення припустимих тисків повинні виконуватися кожного разу з урахуванням конкретного типу і конструкції споруди, способів виконання робіт і геологічної будови ділянки.

Вплив умов залягання порід на осідання споруд добре ілюструється схемами, запропонованими професором М.М.Масловим.

Схема А. Цілком однорідне залягання. Величина осідання основи від дії ваги споруди планомірно зростає із збільшенням розмірів споруди. Якщо ґрунти глинисті, то стається надзвичайно повільне осідання через відсутність дренажних прошарків.

Схема Б. Слабкий ґрунт залягає на поверхні і на деякій глибині підстеляється більш щільною породою. Осідання зростає лише до певної межі, обмеженої сприйняттям тиску слабким шаром по всій глибині. Тривалість осідання в значній мірі залежить від властивостей і потужності покривного шару.

Схема В. Щільний ґрунт залягає з поверхні, а на деякій глибині його підстеляє слабка порода, що легко стискається. Значення нижнього шару в осіданні незначних за розмірами споруд може зовсім не проявитися. Для споруд, значних за площею, роль верхнього шару

буде малою. Осідання за рахунок глибинного слабкого шару може досягти значної величини і бути досить повільним.

Схема Г. Слабкий глинистий ґрунт залягає у вигляді пласта в товщі щільного ґрунту. Вплив слабкого ґрунту залежить від співвідношення глибини залягання шару і розмірів споруди. Для значної за розмірами споруди осідання повністю визначатиметься стисненням слабкого шару. Тривалість осідання також залежить від властивостей ґрунтів шару.

Схема Д. Неоднорідне, багатошарове, узгоджене залягання (непорушене); слабкі глинисті породи перешаровуються з піщаними. Осідання споруди визначається вмістом в основному слабких глин. Завдяки дренажному впливу піщаних шарів осідання буде характеризуватися як відносно швидке.

Схема Є. Багатошарове, узгоджене порушене залягання; схоже зі схемою Д. Завдяки виходу прошарків пісків на поверхню процес осідання прискорюється в тій чи іншій мірі проти схеми Д. Величина осідання визначається ступенем ущільнення ґрунту.

Схема Ж. Багатошарове, неузгоджене, порушене залягання. Через неоднорідність залягання ґрунту осідання споруди також буде нерівномірним. Воно залежатиме від ступеня ущільненості ґрунту. При значній щільності ґрунтів можлива нерівномірність осідання практичної ролі не відіграватиме.

Схема З. Скид (насув); з обох боків споруди умови залягання ґрунтів різні. Внаслідок цього умови осідання характеризуються як нерівномірні. Однак при значній щільності порід основи нерівномірність осідання може бути незначною.

Схема І. Лінзоподібне залягання слабких глинистих різновидів у товщі щільних відкладів. Найбільш небезпечне, в розумінні можливих нерівномірностей осідання споруди, залягання ґрунтів. Протікання осадок у часі також нерівномірне і в значній мірі невизначене.

2.2.1. Тріщинуватість гірських порід та її значення під час інженерно-геологічної оцінки порід.

Тріщини в гірських породах можуть бути тектонічними і нетектонічними. Тектонічні тріщини розвиваються в магматичних, метаморфічних і осадових зцементованих породах під впливом тектонічних розтягуючих або стискаючих зусиль. При цьому такі зусилля перевищують межі міцності порід.

Відповідно до цього тектонічні тріщини підрозділяються на тріщини сколювання (розвиваються під впливом дотичних-сколюючих зусиль) і тріщини відриву (виникають під впливом розтягуючих зусиль). Тектонічні тріщини, по яких не відбулося зміщення гірських порід, називаються діаклазами, а по яких таке зміщення сталося (насуви, скиди) – параклазами.

Загальні особливості тектонічних тріщин наступні:

1. Велика і порівняно глибока витриманість за простяганням і глибиною (інколи на сотні метрів), що розтинає породи різних петрографічних типів.
2. Визначене просторове розташування, що обумовлює утворення систем тріщин. На одній і тій же ділянці може бути декілька систем тріщин, які взаємно перетинаються.
3. Закономірне сполучення систем тріщин з тектонічними елементами – складками, тектонічними порушеннями і т.п.

Тектонічні тріщини сколювання звичайно мають прихований вигляд, вони закриті – волосні. Площини тріщин гладенькі, притерті, зрідка зі дзеркалами і борознами ковзання, що свідчить про деякі незначні зрушення порід по них. Ці тріщини, як правило, неводоносні або слабо водоносні.

Тектонічні тріщини відриву зазвичай відкриті, зяючі, крутоспадні або вертикальні. Площини у них нерівні, бугристі, зазубрені, покриті патьоками, нальотами (циркуляція підземних вод). Часто вони заповнені привнесеним піщано-глинистим матеріалом, продуктами подрібнення і перетирання, вивітрювання чи гідротермальних змін. До них часто приурочені жили гіпсу, кварцу, кальциту.

Тріщини відриву часто водоносні, водопроникність у них висока. Це є причиною великих водопритоків у кар'єри та інші гірські виробки. Вони ж є шляхами витоків і втрат води з водосховищ, каналів, під підпірними спорудами та в обхід них. На берегових обривах, укосах і підземних виробках тріщини відриву сприяють утворенню вивалів крупних мас гірських порід, а також інтенсивному розвитку вивітрювання і корозійних процесів у глибину.

Нетектонічні тріщини утворюються під впливом внутрішніх сил стискання й розтягування, що розвиваються в породах. Такі тріщини зустрічаються повсюдно. Загальні їх особливості такі: 1) приуроченість до приповерхневих або навіть верхніх горизонтів земної кори; 2) своєрідність для кожного петрографічного типу порід (утворюють окремі різні розмірів і форм у різних типів порід); 3) невитриманість за простяганням; 4) відсутність у багатьох з них визначених систем; 5) в багатьох випадках у приповерхневій частині вони відкриті, а з глибиною звужуються і виклинюються.

Нетектонічні тріщини за своїм походженням діляться на групи:

- 1) контракційні, що виникають в зв'язку зі зменшенням об'єму при застиганні магматичних порід (тріщини первинної окремоті);
- 2) тріщини усихання, що виникають внаслідок зменшення об'єму осадків при їх висиханні і усадці під час діагенезу;
- 3) тріщини нашарування, які виникають в осадкових породах у процесі їх літифікації, що супроводжується дегідратацією і ущільненням;
- 4) тріщини вивітрювання – утворюються при вивітрюванні;
- 5) тріщини розвантаження – виникають при збільшенні об'єму порід під час їх гідратації або в результаті пружної віддачі при розкритті глибокими котлованами, підземними виробками чи ерозійними процесами;
- 6) тріщини зсувів, провалів і просідань – як наслідок перерозподілу напружень в гірських породах і порушення їх рівноваги;
- 7) штучні тріщини – утворюються внаслідок вибухів, обрушень, підроблення гірських порід підземними виробками.

2.2.2. Виявлення зон подрібнення і тріщинуватості гірських порід

Тріщинуватість і подрібненість порід у процесі будівництва чи експлуатації споруд можуть зумовити наступні явища:

- а) можливість зсуву і нерівномірного осідання споруд, розташованих у зоні подрібнення порід;
- б) виток води з водосховищ в обхід плечей або в основі гребель, розташованих на тріщинуватих породах;
- в) обводнення будівельних котлованів і гірничих виробок, які проходяться у тріщинуватих породах, що є колекторами підземних вод;
- г) вивалювання значних об'ємів порід під час будівництва котлованів або гірничих виробок;
- д) зміну фізико-технічних властивостей порід на коротких відстанях, що тягне за собою зміну методів розробки гірських порід;
- е) можливість підтікання води, інколи агресивної, до споруд по системах тріщин і розломах;
- ж) вилуговування циркулюючими водами розчинних частин порід і виникнення карстового процесу.

Вивчення тріщинуватості і ступеня подрібненості порід слід починати з опису і документації тріщин. Під час опису тріщин необхідно вивчати і описувати: 1) розташування тріщин; 2) їх довжину і глибину; 3) ступінь глибочиння (заяння) або ширину; 4) характер тріщин (тектонічні, нашарування, вивітрювання); 5) їх густину або частоту; 6) характер заповнення тріщин; 7) склад заповнювача; 8) властивості заповнювача.

Визначення розташування тріщин, елементів їх залягання виконується відомими в геології способами. Довжина і ступінь глибочіння визначається за допомогою мірних інструментів (рулетка, метр та ін.). За ступенем з'являння (ширини тріщин) доцільно розрізняти тріщини закриті (ледве помітні, інколи такі що лише можна здогадатися) і відкриті. Відкриті, в свою чергу, розділяються на капілярні шириною не більше 0,25 мм і некапілярні шириною більше 0,25 мм. Наявність закритих (волосяних) тріщин визначається розламуванням шматків породи, постукуванням молотком чи профарбовуванням зразка породи в лабораторних умовах.

Під час опису тріщин треба вказувати на їх форму, характер поверхні стінок (гладенька, шорстка, глянцева і т.п.), нальоти на поверхні тріщин (залізисті, крейдянні і ін.), приуроченість нальотів і характерних форм до певної глибини, зони чи частини тріщин.

Слід звертати увагу на розподіл у породі не лише тріщин, але й каверн, жеод, каналів, пор, визначити їх форму, характер, приуроченість до певного складу порід, певних умов залягання та ін. Необхідно також прослідкувати затухання тріщин з глибиною, встановити приуроченість їх розповсюдження і затухання до певного типу порід та умов залягання.

Потрібно описувати характер заповнення тріщин: повністю чи частково заповнена тріщина, до яких її частин приурочений заповнювач (вузьких, широких, звивистих, нижніх, верхніх), елементи залягання заповнених і незаповнених тріщин і т.п. Разом з тим треба вивчати склад заповнювача (гіпсовий, глинистий, залізистий і т.п.) і його властивості (твердість, еластичність, пористість).

Типові ділянки тріщинуватості слід фотографувати або замальовувати в масштабі. Для графічного зображення даних, отриманих під час вивчення тріщинуватості якого-небудь масиву чи району, рекомендовано користуватися способом "діаграма-круг" Ф.П.Саваренського або "роза-діаграма".

Показниками тріщинуватості порід можуть бути:

1. Модуль тріщинуватості – кількість тріщин, що припадає на 1 погонний метр розрізу породи.
2. Питоме розтягнення – відсоткове відношення об'єму відкритих тріщин до всього об'єму породи.
3. Питома густина тріщин, яка визначається за формулою:

$$g = U_{\text{тр}} \cdot t_c, \quad (2.1)$$

де $U_{\text{тр}}$ – кількість тріщин одного напрямку, яка припадає на 1 м довжини поверхні (береться середня кількість тріщин, що припадає на 1 погонний метр, при вивченні 20-50 погонних метрів поверхні);

t_c – середня ширина тріщин.

4. Коефіцієнт тріщинної пустотності (за Л.І.Нейштадт), тобто відношення площі тріщин до площі поверхні породи, в межах якої зарисовуються і вимірюються тріщини. Цей коефіцієнт виражається у відсотках:

$$K_{\text{тр}} = (s/S) 100\%, \quad (2.2)$$

де S – площа поверхні тріщин;

S – площа поверхні відслонення, на якому виконуються виміри.

Користуючись цими показниками, Л.І.Нейштадт (1957) запропонувала наступну класифікацію порід за ступенем тріщинуватості:

- 1) Породи слабо тріщинуваті ($K_{\text{тр}} < 2\%$) (спостерігаються тріщини волосні і шириною < 1 мм).
- 2) Породи середньотріщинуваті ($K_{\text{тр}} = 2-5\%$) (тріщини шириною 2-5 мм).
- 3) Породи сильнотріщинуваті ($K_{\text{тр}} = 5-10\%$) (поряд з тріщинами шириною до 5 мм спостерігаються тріщини шириною від 20 до 100 мм).

4) Породи дуже сильно тріщинуваті ($K_{тр} > 20\%$) (шириною від 20 до 100 і більше мм).

Про ступінь тріщинуватості порід можна судити опосередкованим способом, наприклад, за результатами буріння свердловин:

- 1) врахування проценту виходу керна; за інших однакових умов складу і властивостей порід, режиму буріння і інших показників, чим більш монолітні породи, чим вони менш тріщинуваті, тим вищий вихід керну;
- 2) підрахунок числа тріщин на 1 погонний метр керну;
- 3) спостереження за витратами промивної рідини;
- 4) огляд і фотографування стінок свердловин за допомогою спеціальних приладів і телепристроїв (фотокартаж);
- 5) вимірювання щільності порід у свердловині (гамма-гамма-картаж тощо).

Порівняльна оцінка ступеня тріщинуватості порід може виконуватися також за результатами дослідних нагнітань і наливів води в свердловини і гірничі виробки, а також дослідних відкачувань, якщо породи водоносні.

Оцінка впливу тріщин на стійкість місцевості повинна завершуватися обґрунтуванням інженерних заходів для усунення шкідливого впливу (укріплення гірничих виробок, цементация, глинизация, бітумізация, протифільтраційні завіси, дренажі і т.п.).

Запитання для самоконтролю.

1. Назвіть основні завдання тектонічних досліджень під час інженерно-геологічної оцінки місцевості.
2. Яким чином умови залягання порід впливають на стійкість споруд?
3. Охарактеризуйте різні варіанти (схеми) умов залягання порід та їх вплив на осідання споруд (за М.М.Масловим)
4. Яким за походженням бувають тріщини в гірських породах?
5. Дайте характеристику тектонічним тріщинам.
6. На які групи поділяються нетектонічні тріщини?
7. Назвіть явища, котрі виникають внаслідок тріщинуватості гірських порід.
8. Як вивчається тріщинуватість і подрібненість гірських порід під час інженерно-геологічних досліджень?
9. Охарактеризуйте показники тріщинуватості гірських порід, котрі застосовуються під час інженерно-геологічних досліджень.
10. Як поділяються породи за коефіцієнтом тріщинної пустотності?

2.3. Основні завдання літологічних і петрографічних досліджень для інженерно-геологічної оцінки місцевості.

Літологічні і петрографічні методи досліджень широко використовуються для інженерно-геологічної оцінки місцевості. В результаті цих досліджень встановлюються: 1) чергування й умови залягання шарів та іншої форми геологічних тіл, що мають різні особливості; 2) текстура порід; 3) структура порід.

Чергування і умови залягання шарів та іншої форми геологічних тіл у дуже великій мірі впливають на інженерно-геологічну оцінку місцевості. Як відомо, така оцінка дається стосовно конкретних геологічних умов і типу споруди, що проектується. Маючи на увазі велике розмаїття геологічних умов і типів споруд, необхідно в кожному окремому випадку проаналізувати інженерно-геологічні умови будівництва та експлуатації даної споруди з урахуванням вимог, які вона висуває до природної обстановки.

Це можна проаналізувати наступним прикладом. Свого часу на одній із початкових стадій досліджень створу Волгоградської греблі було встановлено, що алювіадьні відклади складені пісками, для яких було визначено кут внутрішнього тертя ϕ , рівний 25° . Однак у

процесі подальших досліджень більш досконалішими виробками у товщі алювіальних пісків були викриті тонкі прошарки глини значної протяжності (до 300 м). По менш міцних прошарках глини міг відбутися зсув масиву алювіальних пісків. Відповідно до вимог діючих нормативних документів, у таких випадках для забезпечення надійності майбутньої основи необхідно приймати для проектування значення міцнісних показників саме найслабкіших прошарків, незважаючи навіть на їх незначну потужність. В результаті довелося штучно зменшити значення кута внутрішнього тертя майже втричі і прийняти його рівним 8° (замість 25°) для всієї основи. Аналогічний глинистий прошарок, виявлений під Волгоградською греблею у товщі піщано-алевритових порід, змусив проектувальників перепроектувати греблю, вважаючи, що основою греблі є не міцна піщано-алевритова порода, а менш міцна глина. Такого виду небезпека створюється не тільки за наявності в основі споруди витриманого прошарку слабких порід, але і в тому випадку, коли такі породи залягають у вигляді ланцюжка розрізаних лінз чи обособленої лінзи, що має значну протяжність.

На сьогодні не існує ні теоретичних розрахунків, ні достатніх даних експериментів, які б вказували про вплив потужності ослаблених прошарків на величину їх опору зсувним зусиллям. Лише деякі окремо виконані дослідження наводять на думку, що навіть при наявності глинистих прошарків мізерної потужності (близько 3 мм) доводиться брати до уваги показники фізико-механічних властивостей саме цих прошарків, а не більш міцних порід, навіть якщо вони і переважають у розрізі.

Але інженерно-геологічна оцінка прошарків зовсім зміниться, якщо на такій основі буде побудована споруда, яка утворює в основному стискаючі зусилля (будинки і т.п.). У цьому випадку тонкий глинистий прошарок хоч і буде найбільш слабким у розрізі і стиснеться під впливом тиску від споруди, але осідання цього прошарку, само по собі незначне і рівномірне, не становитиме загрози для стійкості споруди.

Отже, правильне визначення літологічного складу порід дозволяє:

1) складати інженерно-геологічні прогнози на ранніх стадіях досліджень, коли дослідник ще не має (або має у досить обмеженій кількості) дані лабораторних дослідів і розвідувальних робіт; у цьому випадку літологічний склад порід у поєднанні з умовами їх залягання дозволяє приблизно оцінити фізико-механічні властивості порід і їх поведінку у сфері дії споруди;

2) правильно спланувати склад і об'єм лабораторних досліджень і польових випробувань властивостей порід, тому що літологічний склад порід у значній мірі визначає характер показників їх властивостей, так і методику польового і лабораторного визначення;

3) правильно намітити характер, методику і об'єми розвідувальних робіт, що проводитимуться на наступних стадіях досліджень.

Звичайно, при цьому слід брати до уваги і інші чинники (геоморфологічні, тектонічні і ін.), що впливають як на методику інженерно-геологічних досліджень, так і на інженерно-геологічну оцінку умов будівництва.

2.3.1. Вплив петрографічних особливостей порід на оцінку інженерно-геологічних умов будівництва.

Встановлення зв'язку між петрографічними особливостями порід і їх фізико-механічними властивостями дає можливість:

1) розчленовувати товщу порід, які складають природну основу споруд, на інженерно-геологічні елементи, для яких і можна обчислювати узагальнені показники їх фізико-механічних властивостей;

2) отримувати не лише цифрові значення показників фізико-механічних властивостей порід, але і виявляти причини погіршення чи покращання властивостей окремих різновидів

порід, що дуже важливо знати під час розроблення способів покращання фізико-механічних властивостей порід;

3) вибирати найдоцільніші способи, конструкції і режими влаштування гірничих виробок;

4) вибирати найбільш раціональні й доцільні способи і місця відбирання проб і методику вивчення властивостей порід.

Для розв'язання вказаних завдань виконується вивчення як текстурних, так і структурних особливостей гірських порід, що складають природні основи споруд.

Велике значення при інженерно-геологічному вивченні порід має виявлення їх шаруватості та її орієнтація у просторі. Залежно від спрямування шаруватості стосовно діючої від споруди сили, значення основних показників інженерно-геологічних властивостей порід дуже змінюються. Досліди показують, що шаруватість може впливати на величину набрякання глинистих порід, на тертя і зчеплення ґрунтів (при зміні кута нахилу шаруватості відносно горизонтальної площини від 0^0 до 90^0 набрякання зменшується від 9% до 1,6% (для кримських глин); коефіцієнт тертя збільшився на 15-38% у зразків, зсунутих перпендикулярно до шаруватості у порівнянні зі зразками, зсунутими паралельно шаруватості).

Шаруватість порід впливає також і на їх фільтраційні властивості: коефіцієнти фільтрації збільшуються, якщо вода фільтрується перпендикулярно шаруватості порід.

Але не тільки шаруватість порід впливає на оцінку інженерно-геологічних умов будівництва, але й розподіл окремих текстурних елементів також. Наприклад, великі уламки скельних порід серед пухких осадових можуть суттєво змінити методи виконання як дослідницьких робіт, так і майбутнього будівництва.

Питання впливу структури порід на їх фізико-механічні властивості мають розглядатися у курсі ґрунтознавства, тому обмежимося лише деякими прикладами. Наприклад, показники властивостей крейдианих глин із рівномірним розподілом карбонатів і показники тих же порід, що вміщують карбонати у вигляді окремих зерен, значно відрізняються між собою (при однаковому вмісті карбонатів і щільності породи).

Наявність багатьох акцесорних мінералів у гірських породах в цілому не впливає на оцінку інженерно-геологічних умов. Однак, присутність у породі деяких мінералів, навіть у незначній кількості, може сильно змінити умови будівництва. До таких мінералів належить, наприклад, пірит. Відомо, що він за певних умов легко розкладається, причому його розкладення супроводжується утворенням іонів сірчаної кислоти, яка збільшує агресивну здатність підземних вод, що доводиться обов'язково враховувати при оцінці інженерно-геологічних умов.

Наявність гіпсу в породах зазвичай викликає у дослідників і проєктувальників занепокоєння щодо його вилуговування і, як наслідок, утворення небезпечних для споруди пустот та зменшення міцності самої породи. Через такі пустоти можуть відбуватися інтенсивні витікання води, а склепіння пустот можуть обвалюватися і викликати неприпустимі деформації споруд. Подібні явища можуть виникати і при вилуговуванні легко розчинних солей, наприклад, кам'яної тощо

2.3.2. Петрографічна характеристика основних типів гірських порід.

Магматичні породи. Як відомо, магматичні гірські породи утворюються з магматичних розплавів. Залежно від складу магми, умов її вистигання і кристалізації, в земній корі утворюються гірські породи того чи іншого складу і структури.

Під впливом тектонічних рухів магматичні маси, проникаючи в товщу земної кори, піддаються тиску з боку мас бокових порід, що рухаються. Такий тиск призводить до витікання магми в напрямках, перпендикулярних до нього. В цю фазу початкової магматичної тектоніки – прототектоніки – починають зароджуватися й розвиватися текстурні особливості породи. Вони проявляються в рівномірному або нерівномірному

розподілі в ній орієнтованих кристалів мінералів, шлірових виділень, ксенолітів, слідів флюїдності, лінійності, смугастості, сланцюватості тощо. Все це в кінцевому рахунку створює неоднорідність, анізотропність породи, формує поверхні й зони послаблення, явні або приховані.

В міру вистигання й кристалізації магматичних мас під впливом внутрішніх сил і тектонічних рухів, що продовжуються (боковий тиск), у затверділому масиві утворюються системи прихованих, закритих і відкритих мікро- і макро тріщин, розколин і розломів. По них, як по каналах, піднімаються магматичні розчини, котрі, застигаючи, утворюють жили, дайки і т.п. Ці процеси характеризують пізньомагматичну фазу формування магматичного масиву. Деякі системи тріщин, розколин і розломів з'являються після повного затухання магматичних процесів, у постмагматичну фазу або навіть під час наступних тектонічних циклів. Всі ці явища пізньо- і постмагматичної фаз створюють внутрішню структуру маси магматичних порід із притаманними їм «дефектами», котрі впливають на їхню міцність, деформаційність, стійкість, водопроникність, водоносність тощо.

Таким чином, формування магматичних порід протікає в особливих термодинамічних умовах, які створюють великі внутрішні напруження стискання, за постійного впливу зовнішніх тектонічних рухів (боковий тиск). Ці значні внутрішні напруження в породах проявляються в їхніх структурно-петрографічних особливостях.

Із наведеного випливає, що інженерно-геологічна характеристика скельних магматичних порід у *зразку* завжди має істотно відрізнятися від характеристики, котру вони мають в умовах природного залягання. Тому в основі інженерно-геологічного вивчення цих порід повинні бути структурно-петрографічні й структурно-тектонічні польові спостереження й дослідження. Лабораторні дослідження магматичних порід дозволяють розширити характеристику їхніх властивостей, але замінити польову оцінку місць розташування споруд, умов їхнього будівництва і використовуватися для прогнозу стійкості не можуть.

Залежно від структури, складу і кількісного співвідношення породоутворюючих мінералів виділяються різноманітні типи магматичних порід. Структура цих порід відображає генезис і до певної міри дозволяє говорити про умови залягання.

Для глибинних (інтрузивних) порід характерні повнокристалічні середньо- і великозернисті структури або ж порфіровидні з середньо- і крупнозернистою основною масою. Напівглибинні породи мають повнокристалічні дрібнозернисті і гігантозернисті структури, а також порфіровидні з дрібнозернистою основною масою. Для ефузивних порід властиві прихованокристалічні, майже щільні структури або порфірові з неповнокристалічною або дуже тонкозернистою основною масою.

У магматичних породах структура характеризується головним чином:

1) ступенем кристалічності породи (повнокристалічні, порфірові, прихованокристалічні і склянисті);

2) абсолютними розмірами кристалів, що складають породу (великозернисті, середньозернисті, дрібнозернисті, афанітові – прихованокристалічні, склянисті);

3) відносними розмірами кристалів, що складають породу (рівномірнозернисті, нерівномірнозернисті, порфірові та ін.).

Найміцнішими і найстійкішими є породи, що мають повнокристалічну рівномірно-середньозернисту або дрібнозернисту структури. Породи великозернисті, грубозернисті, гігантозернисті є більш податливими до руйнування як за механічного впливу, так і при різких змінах температури. Великі кристали з вираженою спайністю у великозернистих, порфіро видних та інших породах легко розколюються, вивітрюються і викришуються з породи, порушуючи її монолітність. Склянисті породи швидко розтріскуються при різких змінах температури.

Метаморфічні породи утворюються з магматичних і осадочних порід різного складу в результаті глибокого їхнього перетворення під впливом високих температур (до 850–900⁰С) і

тиску (до 1–2 тис. МПа), дії гарячих розчинів і летючих компонентів. Велике значення при цьому має і склад вихідних порід.

Ступінь перетворення й зміни первинних порід при метаморфізмі залежить від тієї фізико-хімічної й термодинамічної обстановки, в якій вони опинилися. Оскільки в різних зонах земної кори обстановка неоднакова, то розрізняють три головні ступені метаморфізму – низько-, середньо- і високотемпературний.

Низькотемпературний ступінь характеризується слабким проявом метаморфізму внаслідок помірних температур і тиску. При порівняно значному однобічному тектонічному тиску відбувається катаклаз порід і заміна безгідроксильних мінералів на мінерали, що містять гідроксил або воду. На цьому ступені утворюються такі породи, як філіти, талькові й хлоритові та інші метаморфічні сланці.

Середньотемпературний ступінь характеризується значним проявом метаморфізму внаслідок більш високих температур і тиску, а інколи й значного однобічного тиску. Тут утворюються різні мінерали, що не утримують гідроксильну воду, поряд із мінералами, які містять її в собі. Для цього ступеня характерні різноманітні кристалічні сланці, слюдяні сланці, кварцити, мармури, амфіболіти.

Для *високотемпературного* ступеня властивий найінтенсивніший прояв метаморфізму внаслідок високих температур і тиску, причому тиску часто спрямованого. Тут утворюються безгідроксильні мінерали. Сланцюватість порід проявляється слабкіше, кристалізація стає досконалішою. На цьому ступені утворюються різного типу гнейси (біотитові, піроксенові та ін.), мармури, кварцити, амфіболіти тощо.

Головні породоутворюючі мінерали для метаморфічних порід в основному є такими ж, як і для порід магматичних: кварц, польовий шпат, піроксени, амфіболи, слюди та ін. Однак дуже часто вторинні мінерали магматичних і осадових порід стають головними у метаморфічних породах (сфен, апатит, рутил, серпентин, хлорит тощо).

Метаморфічні гірські породи відрізняються і своєю внутрішньою будовою, тобто структурою і текстурою. Загальною ознакою для цих порід є їхня повнокристалічна будова. Мінеральні зерна часто сплюснені, мають заокруглені обриси і орієнтовані в одному напрямку паралельно одне одному. Структури цих порід кристалобластичні: вони формуються у процесі перекристалізації гірської породи в твердому стані (бластез). При цьому ріст мінеральних утворень часто відбувається в умовах орієнтованого тиску в напрямку, перпендикулярному до напрямку тиску. Це обумовлює виникнення сланцюватості багатьох метаморфічних порід.

Важливою діагностичною ознакою метаморфічних порід є їхня текстура, яка може бути сланцюватою, смугастою, плейчастою, круглястою, плямистою, масивною. У породах зі *сланцюватою* текстурою зерна мінералів мають пластинчасту і видовжену форму і розташовуються взаємно паралельно. *Смугаста* текстура характеризується чергуванням паралельних смуг різного мінерального складу, які часто відрізняються і за кольором. *Плейчаста* текстура виражається у розвиненні мікроскладок та дрібного гофрування окремих смужечок-прошарків. Для *круглястої* текстури характерні округлі чи злегка витягнуті в одному напрямку порфіровидні виділення окремих мінералів серед більш дрібнозернистої основної маси породи. *Плямиста (вузлувата)* текстура виражається у появі в початково глинистих породах округлих або видовжених виділень нових мінералів (графіту, слюди, силіманіту, польових шпатів тощо). *Масивна* текстура характеризується рівномірним просторовим розташуванням мінеральних утворень, відсутністю будь-якої сланцюватості, смугастості і т.п.

Сланцювата і плямиста текстури характерні для різних метаморфічних сланців; смугаста, плейчаста і кругляста – для гнейсів; масивна – для мармурів, кварцитів і роговиків.

Умови залягання метаморфічних порід залежать від умов залягання тих вихідних порід, з яких вони утворилися, однак вирішальне значення при цьому має тип метаморфізму. Під час регіонального метаморфізму охоплюються великі області, тому метаморфічні породи тут складають крупні масиви, товщі, формації. Локальний (місцевий) метаморфізм

охоплює окремі ділянки, зони, по мірі віддалення від яких спостерігається поступовий або різкий перехід від порід метаморфічних до вихідних.

Осадочні породи. Тут ми розглянемо пухкі незв'язні породи (піски, галечники та ін.) і м'які зв'язні – глинисті породи (глини, суглинки, супіски). Це породи осадочного походження – морські, лагунні й континентальні малого і гранично малого ступеня літифікації. Вони всі складають більше від 70% осадочної оболонки земної кори, зустрічаються повсюдно, але головним чином серед четвертинних порід і тому часто використовуються як основа споруд, середовище для них і як природний матеріал для будівництва.

З інженерно-геологічної точки зору ці породи відрізняються від інших осадочних порід особливим складом, властивостями і великою мінливістю фізичного стану. Серед них зустрічаються різновиди з підвищеною щільністю (густиною), пухкі й м'які зі зниженою щільністю і міцністю, а деякі глинисті породи поводять себе як в'язкі рідини з гранично малою міцністю. Під час будівництва на пухких незв'язних і особливо на глинистих породах можуть виникати значні за розмірами і тривалі в часі осідання споруд, їх зрушення, великої сили гірничий тиск у підземних виробках та інші явища, котрі викликають деформації споруд.

Пухкі незв'язні породи складають велику групу уламкових (грубодисперсних) осадочних утворень. Характерною їх особливістю є пухкість (сипкість), тобто відсутність зв'язків між частками, з яких ці породи складаються. Петрографічно пухкі незв'язні породи представлені різними пісками; гравелистими, щєбнястими породами; галечниками. Тобто це породи, які є продуктами головним чином фізичного руйнування (дезінтеграції) скельних і напівскельних гірських порід та наступних процесів механічної диференціації, сортування, стирання в субаквальних і субаеральних умовах. Для утворення деяких піщаних порід, наприклад, чистих кварцових пісків, необхідним є розвиток хімічного розкладення нестійких мінералів вихідних гірських порід, котрі сприяють збагаченню пісків кварцом.

Мінеральний і петрографічний склад піщано-галькових порід визначається складом вихідних порід і ступенем диференціації та сортування продуктів їх руйнування. Властивості цих порід і їх деформаційність залежать головним чином від щільності будови. Розрізняють породи пухкої, середньої і щільної будови.

М'які зв'язні (глинисті) породи – це широка група тонкодисперсних осадочних порід, що займає проміжне становище між типовими уламковими і хемогенними породами. Для них характерна присутність у складі значної кількості тонкодисперсних часток (розміром менше від 0,002 мм), що складаються переважно з глинистих мінералів.

Серед глинистих порід розрізняють власне глини і різноманітні глинисті породи. Глинами в інженерно-геологічній практиці називають тонкодисперсні осадочні породи, в яких міститься не менше 30% часток діаметром менше від 0,002 мм. Вони наділені зв'язністю і пластичністю в природному стані або при штучному зволоженні водою, а після висихання зберігають надану їм форму. З усіх відомих ознак глини ці ознаки є найстійкішими й такими, що легко встановлюються.

До глинистих порід слід відносити породи, подібні до певної міри за складом і властивостями до глини. Але головною особливістю глинистих порід, на відміну від власне глини, є вміст значної кількості домішок (грубодисперсних часток, карбонатної або вуглистої речовини та ін.), ступінь ущільненості та фізико-хімічної змінності, засоленість або деякі текстурні ознаки.

Різнманіття петрографічних типів піщаних, грубоуламкових і глинистих порід пов'язане з різними і своєрідними умовами їх накопичення й подальшого перетворення.

За умовами утворення піщано-галькові й глинисті породи можуть бути континентальними, лагунними і морськими. Кожна з цих фаціальних груп у свою чергу може бути поділеною на дрібніші генетичні групий типи. Схема такого поділу виглядає наступним чином: *континентальні породи*: 1) елювіальні – різноманітні продукти

вивітрювання гірських порід, що залишилися на місці (*in situ*), 2) делювіальні – накопичуються головним чином на схилах і в їх основі, а також у пониженні ділянках вододілів у результаті змиву дощовими і талими водами пухких продуктів вивітрювання з більш високих ділянок, 3) колювіальні – накопичення грубоуламкового матеріалу на похилих ділянках вододілів, на гірських схилах і в їх основі; це накопичення обвалів, осипів, розсипів, в результаті переміщення продуктів вивітрювання і руйнування гірських порід під впливом власної ваги на невеликі відстані (продукти ближнього перевідкладення), 4) алювіальні – всілякі річкові утворення, що складають древні й сучасні тераси річкових долин і русла річок, 5) пролювіальні – осадки, утворені сельовими потоками гірських річок або тимчасовими потоками, які виникають в період інтенсивних атмосферних опадів чи танення снігів і льоду в горах, 6) льодовикові – різноманітні моренні відклади, 7) водно-льодовикові – до них належать флювіогляціальні (потоки талих льодовикових вод) та озерно-льодовикові, 8) озерні, 9) болотні, 10) еолові – пов'язані з акумулятивною діяльністю вітру, 11) техногенні; *лагунні породи*: 1) власне лагунні, 2) дельтові, 3) естуарієві; *морські породи*: 1) неритові, або мілководні, що відкладаються на глибині до 200 м, – осадки шельфу, 2) батіальні, що відкладаються на глибині від 200 до 2000-3000 м, – осадки континентального схилу, 3) абісальні, що відкладаються на глибині, більшій 3000 м, – осадки ложа Світового океану.

З наведеного опису основних генетичних типів пухких незв'язних і м'яких зв'язних відкладів можна зробити висновок про те, що їх утворення в кінцевому рахунку зводиться до акумуляції уламкового і тонкодисперсного матеріалу, який утворюється в результаті фізичних і хімічних процесів руйнування початкових гірських порід. Генетичні типи визначають міцність порід під час впливу на них навантаження, стійкість на схилах, в укосах, у стінках котлованів, у підземних виробках, а також зумовлюють спосіб їх розробки та будівельну категорію. За геолого-петрографічними ознаками порід визначають методику, склад і об'єм лабораторних, розвідувальних і дослідних робіт під час інженерно-геологічних досліджень.

Запитання для самоконтролю.

1. Яким чином літологічні і петрографічні дослідження пов'язані з інженерно-геологічною оцінкою місцевості?
2. Для яких інженерно-геологічних завдань використовується визначення літологічного складу гірських порід?
3. Які завдання інженерної геології розв'язуються за допомогою вивчення петрографічних особливостей порід?
4. На які властивості гірських порід впливає шаруватість?
5. Наведіть приклади впливу деяких мінералів на властивості гірських порід.
6. Дайте петрографічну характеристику : а) магматичних гірських порід ; б) метаморфічних гірських порід; в) осадових гірських порід.

2.4. Інженерно-геологічна оцінка гідрогеологічних умов місцевості.

Підземні води і гірські породи утворюють єдину динамічну систему, яка постійно змінюється. Підземні води визначають у значній мірі розвиток геологічних процесів. Це могутній хімічний і фізичний чинник, який змінює стан гірських порід. Наприклад, в результаті обводнення зменшується міцність, зростає деформаційність і швидкість проходження сейсмічних хвиль, вага масиву, стає можливим виникнення гідростатичного і гідродинамічного тиску, тобто підземні води виступають уже як силовий чинник.

В інженерній геології підземні води, які перебувають у зв'язаній та вільній формах, вивчаються та оцінюються за такими напрямками.

1. За впливом ступеню і режиму (сезонного та багаторічного) обводнення масивів порід на їх стан, механічні властивості і на розмивність. Поперемінне зволоження і

зневоднення порід, в першу чергу глинистих, справляє руйнівний вплив на їх структурні зв'язки (розм'якшення, вилуговування), які сформувалися під час літогенезу. В результаті початково досить міцні породи вивірюються, розщільнюються. В багато разів знижується їх несуча здатність та опір зсуву, зростає розмивність; створюються несприятливі інженерно-геологічні умови.

2. За безпосереднім і різноманітним впливом на розвиток карстових, просадочних, зсувних та інших процесів. Під час руху води у породах, особливо в тріщинах, що містять пухкий заповнювач, при досить значних швидкостях виникає механічна суфозія. Далі вона за певних умов переростає в процеси підземного розмивання. Наприклад, це може відбуватися у системі великих карстових порожнин і каналів. У лесовидних пилюватих і пухких глинистих утвореннях також можуть формуватися канали і пустоти ("глинистий карст"). Інтенсивність водообміну, витрати і агресивність підземних вод визначають карстові процеси у карбонатних, гіпсових і соляних відкладах.

3. За гідромеханічним впливом підземних вод на гірські породи. Це проявляється: а) у підважувальному (знизу вгору) тиску напірних вод на менш водопроникну пачку порід, яка залягає вище і має вагомий вплив на утворення крупних зсувів; б) у вигляді гідродинамічного тиску, що виникає під час швидких і значних знижень рівнів річок після повеней, на водосховищах, при відкачуваннях води з котлованів, кар'єрів та підземних виробок, а також інтенсивному штучному обводненні; в) у вигляді гідростатичного тиску. Це набуває особливого значення, наприклад, у випадку фільтраційної анізотропії масиву порід, коли водопроникність у вертикальному напрямку по великих тріщинах, розломах чи карстових каналах суттєво перевищує горизонтальну і не забезпечується швидке відтікання та дренажування інфільтраційних вод. За певних умов відбувається випирання і злам дна виїмки, а також механічна суфозія заповнювача з тріщин чи тонких фракцій з піщано-уламкових відкладів.

4. Агресивність підземних вод стосовно різних гірських порід, бетонних споруд і металевих конструкцій залежить від їх хімічного і газового складу, температури, вмісту бактерій і від зміни цих характеристик по сезонах і протягом багатьох років.

5. Водний баланс масивів порід, в яких відбуваються геологічні процеси (карстові, зсувні, просадкові, суфозійні), необхідний для кількісного прогнозу їх інтенсивності у часі та для обґрунтування ефективності дренажних та інженерних захисних заходів. Тут слід зазначити, що визначення водного балансу порівняно легко здійснити для невеликих обмежених масивів порід, хоча визначення його складових становить важке завдання: потрібні спеціальні режимні клімато-гідрологічні і гідрологічні спостереження.

6. Динаміка і режим підземних вод, як у природних умовах, так і в змінених техногенними чинниками, є важливими питаннями інженерно-геологічних вишукувань. Ці дані дозволяють розв'язати наступні питання: підтоплення територій; прогноз фільтрації на ділянках гребель і з каналів та водосховищ; оцінка водопритоків у підземні виїмки, шахти і т.п.; оцінка стійкості бортів кар'єрів і природних схилів.

Вивчення процесів розмивання і вилуговування здійснюється в лабораторії на зразках порід великих розмірів, в яких створюються тріщини із заповнювачем, а градієнти фільтрації імітують існуючий або природний потік. Ефективність експериментів не завжди задовільна через явища на вході і виході води з тріщин та ін. Вірогіднішими є результати натурних дослідів, що неодноразово виконувалися на ділянках гребель за різними схемами.

Пом'якшення структурних зв'язків у породах, вилуговування і безпосереднє розмивання фільтраційним потоком по зонах і контактах послаблення всередині масиву часто призводять до тяжких наслідків та катастроф (руйнування гребель, прориви води і пливунів у шахти і т.п.).

Необхідно приділяти увагу вивченню процесів кольматації: наприклад, закольматованість алювію або тріщинуватої зони під древніми і сучасними руслами річок утворює шар із значно меншою водопроникністю. Через це часто відбувається "відрив"

рівня підземних вод від річкових. Така фільтраційна неоднорідність порід може виявитися позитивним моментом при прогнозі притоків річкових вод до шахт і котлованів.

Важливим елементом вивчення підземних вод району майбутніх споруд є складання узагальненої гідрогеологічної схеми. По можливості вона об'єднується зі схемою співвідношення четвертинних відкладів і геоморфологічних елементів. На такій схемі показується розповсюдження підземних вод у різних комплексах порід, ймовірні шляхи їх руху і перетікання, напори і місця розвантаження. Бажано дослідити і вказати узагальнені характеристики мінералізації вод окремих комплексів.

Запитання для самоконтролю.

1. Яким чином обводнення впливає на стан і властивості гірських порід?
2. За якими напрямками вивчаються підземні води в інженерній геології?
3. Поясніть, у чому полягає гідромеханічний вплив на гірські породи.
4. В чому полягають відмінності між гідродинамічним, гідростатичним та підважувальним тиском води в гірських породах?

РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ І ЯВИЩА. ПРИНЦИПИ КЛАСИФІКАЦІЇ І ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА.

Геологічні процеси проявляються в утворенні і руйнуванні гірських порід, у зміні їх фізичного стану і умов залягання, у формуванні й зміні рельєфу земної поверхні, будови земної кори і внутрішньої структури Землі в цілому. Всі геологічні процеси становлять великий інтерес в інженерному аспекті з зв'язку з їх впливом на стійкість місцевості і відповідно на стійкість існуючих, запланованих і споруд, які будуються (міст, будівель, мостів, гребель, доріг, тунелів, аеродромів, шахт, кар'єрів тощо).

Виникають проблеми будівництва споруд у районах розвитку абразії та ерозії, на просадочних лесових породах, в карстових, зсувних, сейсмічних районах, в зоні поширення багаторічної мерзлоти і т.д.

Умови будівництва на таких територіях особливі, вони регламентуються спеціальними будівельними нормами і правилами, особливими принципами, необхідністю дотримуватися обережності і певних обмежень. Необхідно також вдаватися до певних заходів для забезпечення стійкості споруд і нормальних умов їх експлуатації.

Вивченням і розробкою таких проблем та питань займається інженерна геодинаміка. Кінцевими завданнями інженерної геодинаміки слід вважати розробку наукових основ і методів управління геологічними процесами та раціонального використання надр Землі. Відповідно до цього інженерна геодинаміка вивчає і розробляє:

- 1) закономірності поширення різноманітних (головним чином екзогенних та деяких ендегенних) геологічних процесів і явищ, що відбуваються на поверхні Землі та у верхніх горизонтах земної кори;
- 2) закономірності виникнення геологічних процесів і явищ, пов'язаних з інженерною діяльністю людини;
- 3) динаміку розвитку різних геологічних процесів і явищ, форми їх проявів і обумовленість різними природними та штучними факторами;
- 4) якісні і кількісні методи оцінки можливого впливу геологічних процесів на стійкість територій, споруд і умови їх експлуатації;
- 5) теоретичні основи прогнозування загрози геологічних процесів і явищ, в тому числі стихійних, з метою керування їх розвитком, локалізації розповсюдження, попередження виникнення та захисту від їх шкідливого впливу;
- 6) методику інженерно-геологічних досліджень для обґрунтування проектів захисних інженерних заходів та необхідність їх здійснення.

Вперше класифікацію інженерно-геологічних процесів і явищ запропонував Ф.П.Саваренський (1937), вона була розглянута вище у розділі 2.

Геологічні процеси залежно від джерел енергії, що їх викликають, і місця проявів можуть бути ендогенними або екзогенними. Екзогенні процеси пов'язані з внутрішніми силами Землі. Їх дія проявляється у тектонічних рухах (древніх, новітніх і сучасних), у сейсмічних і вулканічних явищах.

Ендогенні процеси сприяють збільшенню контрастності рельєфу, величини його градієнтів, вони створюють найбільші форми рельєфу Землі і тим самим умови для розвитку багатьох екзогенних процесів. Екзогенні процеси обумовлені зовнішніми силами, які діють неоднаково в різних кліматичних і фізико-географічних умовах під впливом енергії тепла і світла Сонця та гравітаційних сил.

Екзогенні процеси, навпаки, зменшують енергію рельєфу, його градієнти, нівелюють нерівності земної поверхні. Це відбувається послідовно і закономірно (етапами, стадіями, фазами). Послідовно знижується інтенсивність і швидкість цих процесів. Але маючи в цілому спрямований характер розвитку, екзогенні процеси діють нерівномірно: затухають, призупиняються, поновлюються, проявляються катастрофічно. При цьому вони порушують стійкість місцевості і споруд, постійно загрожують інженерній діяльності людей.

Свого часу відомий геолог академік М.М.Страхов писав: "Рельєф сам по собі не є величина самостійна, він – похідна від режиму епейрогенічних рухів". Інтенсивні коливальні рух земної кори створюють гірський рельєф, а ледве відчутні – рівнинний. Таким чином, темп і характер розвитку екзогенних геологічних процесів у межах певної місцевості значною мірою залежать від клімату і тектонічного режиму, що діє через рельєф. В цьому проявляється взаємодія і протиріччя зовнішніх і внутрішніх сил у розвитку геологічних процесів і явищ, вони є причинно обумовленими. Однак ці протиріччя – не єдина рушійна сила їх розвитку. Багато ендогенних і екзогенних процесів отримують свій розвиток незалежно один від одного, хоча й проявляються в одній і тій же області (наприклад, морозне пучіння і сейсмічні явища).

Геологічні процеси виникають за наявності певних невідповідностей (протиріч), наприклад:

- мінерального складу гірських порід – геохімічним умовам оточуючого середовища;
- напруженого стану гірських порід – їх граничній рівновазі;
- щільності й пористості гірських порід – величині діючих навантажень;
- ступеня літифікації гірських порід – величині діючих гравітаційних і геохімічних сил;
- розм'якшуваності і розмивності гірських порід – швидкостям водних потків та ін.

Ці невідповідності (протиріччя) і передбачають природну неминучість виникнення геологічних процесів і явищ, вони є рушійною силою їх розвитку.

Кожний екзогенний геологічний процес призводить до утворення відповідного генетичного типу континентальних і морських відкладів. Отже, потрібно розрізнити *процес*, включаючи фактори, що його обумовлюють, і результат – *явище*, у вигляді відповідних новоутворених порід і елементів рельєфу (денудаційних і акумулятивних форм).

Найважливішою особливістю геологічних процесів є нерівномірність їх проявів на земній поверхні в межах різних регіонів, областей і регіонів. Це пояснюється особливостями кліматичних, фізико-географічних умов, рельєфу, поширення певних комплексів гірських порід і розташуванням тектонічних структур.

Відомо, що кожний геологічний процес досягає максимального розвитку лише в строго визначених кліматичних і фізико-географічних умовах. Наприклад: інтенсивне підмивання і руйнування берегів морів, озер і водосховищ відбувається головним чином у періоди дії інтенсивних і тривалих вітрів переважного напрямку, характерних для району, що розглядається. Ерозійна діяльність річок, як і сельові потоки, – найрізкіше проявляються в періоди повеней і паводків, пов'язаних з періодами дощів, інтенсивного танення снігів і льоду. Поширення боліт і заболочування територій спостерігаються частіше в районах з

вологим і надлишково вологим кліматом, а еолові процеси характерні для районів різко континентального сухого аридного клімату пустель і напівпустель.

Геологічні процеси тісно пов'язані і з особливостями рельєфу. В умовах гірського рельєфу і на ділянках високих і крутих схилів широко розповсюджені різні гравітаційні явища – обвали, осипи, зсуви, снігові лавини та ін. Тільки в гористих місцевостях утворюються селі. Тут у річкових долинах глибинна ерозія переважає над боковою, а корозійні процеси (карст) поширюються на великі глибини (сотні і тисячі метрів). На рівнинних місцевостях частіше спостерігаються явища заболочування територій, еолові явища, просадки в лесових породах. Тут у річкових долинах бокова ерозія переважає над донною або ж відбувається акумуляція пухкого матеріалу. Карст зазвичай поширюється лише на десятки метрів.

Геологічні процеси також тісно пов'язані з певними комплексами гірських порід. Карст карбонатний, сульфатний чи соляний має місце лише там, де поширені карбонатні й галогенні породи. Зсувні явища можуть зустрічатися в будь-яких гірських породах, але частіше вони пов'язані з глинистими породами. Еолові процеси мають розвиток в місцях залягання незв'язних, піщаних порід; просадкові – в районах лесових відкладів.

Отже, можна сказати, що розповсюдження різних геологічних процесів дійсно контролюється кліматичними, геоморфологічними, петрографічними і тектонічними чинниками. Прояви кожного з геологічних процесів на тій чи іншій території залежить від переважної дії якої-небудь однієї або декількох основних причин.

3.1. Інженерно-геологічна класифікація процесів і явищ.

На сьогодні в цьому відношенні існують класифікації загальні, регіональні, часткові і спеціальні. Загальні класифікації геологічних процесів і явищ мають переважно методологічне значення.

У практичному відношенні заслуговують на увагу, як більш конкретні, регіональні класифікації геологічних процесів. Вони стосуються території, в межах якої поширене обмежене число стратиграфо-літологічних комплексів порід. Регіональні класифікації характеризуються певними рисами геологічної історії і клімато-гідрологічними факторами.

Часткові класифікації характеризують один геологічний процес у даному районі (карст, зсуви, просадки та ін.).

Спеціальні класифікації передбачають оцінку процесів стосовно конкретних споруд чи використання території. Їх потрібно розглядати як подальше уточнення регіональних класифікацій.

Всі геологічні та інженерно-геологічні процеси виникають і змінюються під впливом різнохарактерної дії і режиму: глибинних тектонічних процесів; напружено-деформованого стану масивів порід і зміни їх властивостей; термічних умов у верхній частині земної кори і на її поверхні; гідрогеологічних умов; поверхневих вод (гідрологічний фактор). Така багатофакторність розвитку геологічних процесів (природних, техногенних та їх сполучення) є їх характерною особливістю. Тому під час класифікування доцільно об'єднувати процеси за ознаками дії основних (або групи) факторів.

В розвитку геологічних та інженерно-геологічних процесів і явищ необхідно виділяти головні діяльні чинники і основні елементи середовища, які взаємодіють між собою або з іншими чинниками, зі спорудами і будівельними роботами. Залежно від значення, діяльні чинники можуть бути головними “причиною” і “приводом”, своєрідним поштовхом, який безпосередньо провокує виникнення явища в потенційно підготовленому середовищі. Часто один і той же чинник (підземні води, сейсмічність) в одних випадках є компонентом середовища, а в іншому – діяльним, в тому числі “силовим”, чинником. Підземні води, насичуючи породи, викликають зниження їх міцності або розчиняють, що призводить до зсувів, розмивання всередині товщі й закарстованості масиву.

При обводненні міцних тріщинуватих порід швидкість проходження в них сейсмічних хвиль зростає. Це може позначитися на порушенні стійкості масивів і на спорудах. В той же час, підземні води діють як “силовий фактор”, створюючи зважуючий і гідродинамічний тиск на породи.

Прогноз зміни інженерно-геологічних умов території повинен ґрунтуватися на вивченні та аналізі існуючих умов, які є результатом історії її геологічного розвитку. Отже, перш за все, потрібно користуватися *методом природничо-історичного аналізу* – геологічним методом вивчення стратиграфії відкладів, їх петрографічних особливостей, тектоніки та ін. Такий аналіз, як правило, дозволяє встановити причини і умови, внаслідок яких стає можливим виникнення і розвиток геологічних процесів.

Вивчення інженерно-геологічних умов повинно передбачати, крім геологічного опису, також кількісну оцінку процесів і явищ. Для цього широко використовується експериментальний метод. Лабораторні і польові дослідні роботи та стаціонарні спостереження дуже широко застосовуються в практиці інженерно-геологічних досліджень.

Використовується і *метод аналогій* – метод геологічної подібності. У цьому випадку висновки про геологічні умови розвитку тих чи інших процесів роблять на основі порівняння з умовами, подібними до вже вивчених.

Для вивчення механізму, фізики процесу і динаміки його розвитку широко застосовується *метод моделювання*. Моделюються руслові, хвильові, гравітаційні, корозійні та інші процеси.

Імовірно-статистичний метод зводиться до встановлення імовірності прояву різних процесів і їх кореляційних зв'язків з різними природними або штучними причинами та іншими явищами. Крім того, цей метод до деякої міри дозволяє обґрунтувати достовірність і надійність прогнозу.

Нарешті, найважливішим методом прогнозу інженерно-геологічних процесів і явищ є *метод розрахунково-теоретичний*. Ним користуються тоді, коли накопичився необхідний фактичний матеріал для обґрунтування розрахункової схеми (детальний геологічний розріз) і є розрахункові дані. За допомогою цього методу успішно розв'язуються різні завдання, зокрема, прогноз стійкості схилів, укосів, зсувів, підземних виробок, величини і швидкості підмивання і руйнування берегів, швидкості розвитку корозійних процесів тощо.

Отже, прогноз геологічних процесів і явищ повинен бути комплексним і обґрунтованим, з урахуванням усієї сукупності природних геологічних і штучних умов і на знанні механізму та закономірностей динаміки їх розвитку.

Запитання для самоконтролю.

1. Назвіть питання і проблеми, котрими займається інженерна геодинаміка.
2. В чому полягають відмінності між ендегенними і екзогенними процесами?
3. Наведіть приклади невідповідностей (протиріч), що ведуть до виникнення геологічних процесів.
4. З якими природними чинниками пов'язані геологічні процеси?
5. Охарактеризуйте основні методи прогнозу інженерно-геологічних процесів і явищ.

3.2. Вивітрювання гірських порід і основні його чинники.

Під процесами вивітрювання більшість дослідників розуміють сукупність фізичних, фізико-хімічних та біохімічних процесів, які змінюють склад, стан і властивості гірських порід у верхній частині земної кори під впливом коливань температури, підземних вод, діяльності організмів і техногенних факторів.

Процеси вивітрювання, руйнуючи гірські породи, формують новий генетичний тип континентальних відкладів – елювій різного віку, фацій і умов залягання. На всіх стадіях

інженерно-геологічних досліджень і для різних видів будівництва вивчаються процеси розуцільнення і вивітрювання порід і сформовані ними елювіальні утворення.

Основними питаннями в цьому напрямку є наступні:

- 1) встановлення будови і закономірностей поширення зон і горизонтів вивітрювання в різних породах і тектонічних розривах, на різних геоморфологічних елементах і в мікрокліматичних умовах;
- 2) обґрунтування віку елювію і характеристика швидкостей процесів вивітрювання у порівнянні з інтенсивністю процесів знесення в різних породах і умовах, а також оцінка зміни властивостей і стану порід в часі під їхнім впливом;
- 3) встановлення зовнішніх ознак і класифікаційних показників стану і властивостей порід з різним ступенем вивітрілості та виявлення кореляційних зв'язків із геофізичними характеристиками (наприклад, зі швидкістю пружних хвиль);
- 4) розробка регіональної схеми розчленування кори вивітрювання на зони і горизонти з характеристикою фізико-механічних і фільтраційних властивостей порід;
- 5) виявлення приуроченості зсувів, обвалів, осувань різних типів і об'ємів до зон вивітрювання різного віку, будови і потужності;
- 6) оцінка порід різного ступеня вивітрілості стосовно їх опору ерозійному і абразійному розмиванню, розвитку процесів вилуговування і карсту, осипанню, спливанню і стійкості у відслонених укосах і схилах;
- 7) на підставі детального інженерно-геологічного вивчення розрізу кори вивітрювання оцінка деформаційних властивостей по різному вивітрілих порід. Це необхідно для визначення глибини їх зняття в основі споруд або для вибору заходів укріплення різними методами;
- 8) встановлення можливості використання по різному вивітрілих порід як будівельних матеріалів при зведенні земляних споруд (дамб, гребель, насипів), для створення протифільтраційних завіс.

Дія сонячних променів на породи залежить від інтенсивності випромінювання, довжини хвилі променів, характеру й кольору поглинаючих поверхонь. Інтенсивність і довжина хвиль сонячного випромінювання, яке отримує земна поверхня, залежить перш за все від географічної широти місцевості, висоти її над рівнем моря, висоти сонцестояння, товщини шару і стану атмосфери (вміст водяних парів, атмосферний пил, азон і т.д.).

Коливання температури обумовлює ряд фізичних процесів, що впливають на фізико-механічні властивості гірських порід: теплова зміна об'єму мінералів і гірських порід, а також води і газів, що містяться у породах; випаровування і конденсація вологи; прискорення або уповільнення хімічних реакцій.

При нагріванні мінерали і породи змінюють свій об'єм. Величина зміни об'єму при нагріванні неоднакова не лише у різних порід і мінералів, але й у одного і того ж мінерала вздовж різних кристалографічних осей. В зв'язку з цим у полімінеральній гірській породі, особливо на межі стикання окремих мінералів, величина розширення буде неоднаковою у різних точках моноліту. Тому породи, які складаються з багатьох мінералів, виявляють менший опір температурному впливу і легше розпадаються на окремі мінерали.

Вода, що замерзає, завдяки збільшенню об'єму створює розклинюючий тиск як між окремими брилами, так і між елементарними частками породи: руйнує структуру породи, збільшує в ній вміст дрібних часток, зменшує її міцність, знижує несучу здатність і змінює фільтраційні властивості.

При випаровуванні вологи (висушуванні) відбувається розтріскування рихлих гірських порід через усідання (зменшення об'єму). Випаровування вологи у посушливих безстічних районах викликає засолення верхніх зон земної кори. Це надає породам специфічних фізико-хімічних властивостей (солончаки, солонці, інкрустація пор і т. ін.).

Склад атмосфери досить різноманітний, але з усіх її складових найбільшу роль у процесах вивітрювання відіграє кисень. Окислювально-відновні процеси за участю кисню викликають різноманітні зміни гірських порід. Найпоширеніший у природі процес –

окислення вуглецю з утворенням вуглекислоти (під час дихання організмів і гниття вуглецевих речовин). Вуглекислота в підземних водах збільшує їхню розчинну здатність, сприяючи більш інтенсивному розчиненню мінералів і гірських порід.

Складний процес взаємодії між гірськими породами і газоподібними агрегатами вивітрювання призводить до утворення нових мінеральних сполук (вторинні мінерали або мінерали вивітрювання). Таких мінералів досить багато і всі їх можна розділити на 3 групи:

- розчинні у воді (гіпс, кальцит);
- нерозчинні у воді (монтморилоніт, каолініт, серицит, галуазит, опал, лимоніт, боксит і т.п.);
- різні органічні сполуки.

Вода бере участь у переважній більшості процесів вивітрювання. Вода у твердому стані інколи безпосередньо впливає на ці процеси, а інколи є їх безпосереднім чинником. Наприклад, сніговий покрив до деякої міри регулює глибину і інтенсивність промерзання порід, впливаючи і на діяльність живих організмів. Вода, яка тече по поверхні землі, крім подрібнювальної дії, зв'язаної з процесами денудації, сприяє вилугуванню водорозчинних солей і подальшій зміні фізико-механічних властивостей вивітрілої породи.

Підземна вода є своєрідним регулятором тепла, а також потужним механічним руйнівником, що обумовлює процеси суфозії і кольматації. Вода, особливо слабо мінералізована, проникаючи в гірські породи, розчиняє їх, створює розклинюючу дію, понижує концентрацію електролітів у підземних водах, а отже, призводить до пом'якшення колоїдних плівок, що огортають частки гірських порід.

Велику роль у вивітрюванні відіграють живі організми. Вони справляють як хімічний, так і механічний вплив на гірські породи. Механічну дію виконує коренева система рослин (розклинювання) і різноманітні землерийні тварини. Крім цього, органічні речовини, що виділяються живими організмами, або розкладають гірські породи, або ж збагачують їх різними речовинами (наприклад: порода, перероблена черв'ячками, збагачується на вапно – карбонатні сполуки).

Всі зміни, що їх зазнають породи у процесі вивітрювання, можна об'єднати в наступні основні групи:

- 1) подрібнення порід;
- 2) цементация порід;
- 3) розкладення первинних мінералів;
- 4) утворення вторинних мінералів;
- 5) зволоження або висушування порід.

Зазвичай перетворення гірських порід супроводжується істотними змінами їх фізико-механічних властивостей. Наприклад, спостереження показали, що в глинах, аргілітах, тонкозернистих пісковицях і мергелях позмінне зволоження і зневоднення мають більше значення для руйнування цих порід, ніж така сама кількість циклів замерзання і відтанення.

3.2.1. Шляхи проникнення агентів вивітрювання в земну кору.

Проникнення агентів вивітрювання в земну кору залежить не лише від властивостей середовища, а й від їхнього стану. За станом їх можна розділити на наступні групи: 1) такі, що перебувають у формі променевої енергії; 2) газоподібні; 3) рідкі; 4) живі організми.

Проникнення агентів вивітрювання у земну кору може відбуватися наступним чином:

- 1) по пустотах, які є в гірських породах;
- 2) безпосередньо по мінеральних складових гірських порід;
- 3) по пустотах і мінеральних тілах одночасно.

Пустоти в гірських породах за розмірами можна розділити на 3 групи: некапілярні, капілярні, субкапілярні.

Некапілярні пустоти можуть бути тріщинами різного походження, тектонічними розломами, карстовими порожнинами. Їхні розміри мають бути не менше 0,5 мм при

трубкоподіній формі і 0,25 мм, якщо вони мають форму тріщин. В такі пустоти легко проникають на значні глибини вода і газ, порівняно глибоко – тверді частки і живі організми. Крім того, по таких пустотах добре проходить теплова енергія.

Капілярні пустоти – їх розміри коливаються від 0,5 до 0,0002 мм для трубкоподібних і від 0,25 до 0,0001 мм для тих, що мають форму тріщин. Такі пустоти містяться в пісках, деяких пісковиках, вапняках. Пересування води і газів у цьому випадку ускладнене. Живі організми і теплова енергія можуть проникати на глибину від кількох до десятків метрів.

Субкапілярні пустоти. Їх розміри становлять менше від 0,0002 мм для трубкоподібних і менше 0,0001 мм для тріщинних форм. Такі пустоти властиві головним чином для глинистих порід. Проникнення води і газів у такі породи можливе лише шляхом дифузії і на незначні глибини. Практично ці породи слід вважати водо- і газонепроникними, якщо вони не розбиті тріщинами. Тепло і живі організми можуть проникати на значні глибини.

Іншим шляхом, по якому агенти вивітрювання проникають в земну кору, як було сказано вище, є мінеральні складові гірських порід. Зазвичай цим шляхом у гірські породи проникає сонячне тепло.

Вплив температурних коливань на гірські породи залежить від кліматичних умов місцевості, залягання порід, їх мінерального складу; ступеня, характеру і напрямку тріщинуватості та розсланцювання, обводненості та ін. Залежно від вказаних факторів, добові коливання температури можуть позначатися на глибині від декількох сантиметрів до приблизно 1 м. Річні коливання у деяких випадках відчутні на глибину до 30 м. Зміни гірських порід, пов'язані з коливанням температури, яскраво проявляються у зоні добових коливань температури, затухаючи з глибиною.

Проникнення в земну кору газів залежить від умов залягання порід, їх складу, тиску, зміни температури, дифузії, вологості та ін. Спостереження показують, що у некапілярні та капілярні пустоти газу можуть проникати на глибину до сотень метрів. В субкапілярні пустоти проникнення газів можливе за рахунок дифузії, і то на глибину всього декількох сантиметрів.

Вода, як відомо, проникає в земну кору на значні глибини. Живі організми проявляють свою активність на різних глибинах: коренева система рослин до глибини 30 см, частіше в межах декількох метрів, так само, як і землерийні тварини. Що стосується мікроорганізмів, то за наявності поживного середовища і сприятливих умов вони можуть проявляти свою життєдіяльність на глибинах, що перевищують 1000 м.

Слід зазначити, що в цілому вивітрювання порід відбувається на незначну глибину, приблизно до 10-15 м. Однак інколи доводиться спостерігати продукти вивітрювання порід на глибинах більше 100 м. З одного боку, такі глибокозалягаючі продукти вивітрювання можуть належати до древніх, пізніше (після їх утворення) перекритих іншими осадами. Такі кори вивітрювання можна зустріти на будь-яких глибинах, причому в більшості випадків процес вивітрювання цих порід зупинився, тому що породи, які залягають вище, ізолювали їх від агентів вивітрювання. Однак процес вивітрювання древніх кор може поновитися, якщо будуть зняті породи, що залягають вище, і доступ агентів вивітрювання до древніх кор буде відновлений.

З іншого боку, на значній глибині можуть перебувати і сучасні продукти вивітрювання внаслідок проникнення агентів вивітрювання на великі глибини.

У ряді випадків практичний інтерес становить визначення швидкості вивітрювання порід і допустимих термінів залишення у відкритому стані будівельних котлованів і виїмок без застосування заходів захисту порід від вивітрювання. Довгий час було поширеним переконання, що вивітрювання гірських порід на відчутну для проектної споруди глибину відбувається в строки, які перевищують життя самої споруди. Однак досвід показує, що вивітрювання може протікати значно швидше. Наприклад, свіжі майкопські глини в укосі однієї з ділянок вивітрювалися на значну глибину і перетворювалися на жорстку протягом декількох місяців, а подрібнення тих же глини на глибину 5-10 см відбувалося протягом декількох днів. Глини й пісковики апшеронського віку протягом одного місяця

вивітрювалися і змінювали свої властивості на глибину 6-8 см, протягом п'яти місяців – на глибину 60-70 см, а за півтора роки – до 3 м. Крейдяні глинисті породи Поволжя (юрського віку) протягом року вивітрюються на глибину до 5,5 м. Тому вивчення швидкості вивітрювання під час будівництва споруд має дуже важливе значення.

3.2.2. Зони вивітрювання порід.

Породи, що складають основу споруд, можуть у процесі вивітрювання сильно змінити свої фізико-механічні властивості і виявитися непридатними для будівництва. В таких випадках будівельники часто вдаються до зняття шару вивітрілих порід. Для визначення глибини зняття вивітрілих порід необхідно враховувати цілий комплекс наступних чинників:

- 1) конструктивні особливості і специфічні умови роботи споруди, яка проектується;
- 2) економічні розрахунки;
- 3) фізико-механічні властивості порід у різних зонах вивітрювання;
- 4) швидкість процесів вивітрювання;
- 5) характер і поширення вивітрювання по площі і на глибину.

Конструктивні особливості і специфічні умови роботи споруди, а також економічні розрахунки повністю встановлюються у процесі роботи над проектом, тому їх розглядати не будемо.

Основний результат процесу вивітрювання – це зміна ступеню подрібненості гірських порід, їх хіміко-мінерального стану і структури. Залежно від цих чинників різко змінюються і фізико-механічні властивості порід. Тому вони кладуться в основу оцінки необхідності зняття вивітрілих товщ. Для цього рекомендується розчленувати товщу вивітрілих порід на зони, в межах яких породи мали б характерні фізико-механічні властивості. Потім, оцінюючи ці властивості стосовно специфічних умов роботи споруди, можна визначити необхідність зняття тієї чи іншої зони вивітрілих порід.

М.В.Коломенський та І.С.Комаров пропонують користуватися наступною схемою розчленування товщі вивітрілих гірських порід (знизу вгору).

1. Монолітна зона. Ця зона відповідає такому стану материнських порід, коли вони ще не мають видимих ознак подрібненості, але вже зазнали розхитування зв'язків між частками під впливом агентів вивітрювання. Порода цієї зони за зовнішнім виглядом не відрізняється від неушкоджених материнських порід, але легко розколюється по прихованих площинах. Фізико-механічні властивості породи на цій стадії вивітрювання майже не відрізняються від властивостей материнської породи, за виключенням послабленого опору зсуву і стисканню.

2. Брилова зона. Для неї характерне виникнення тріщин вивітрювання, які розбивають породу на окремі брили, або розширення тектонічних тріщин. Хіміко-мінеральний склад породи в основному відповідає складу материнської породи; мінерали вивітрювання відсутні або їх дуже мало і вони містяться на поверхні тріщин. Фізико-механічні властивості порід цієї зони сильно відрізняються від властивостей порід монолітної зони. Породи брилової зони наділені найбільшою фільтраційною здатністю (порядку сотень метрів на добу). Опір стисканню і зсуву продовжує зменшуватися.

2. Зерниста (дрібноуламкова) зона. Зовнішній вигляд породи на цій стадії не має нічого спільного з виглядом материнської породи. Вона вся складається з дрібних уламків чи навіть окремих зерен. Шматки материнської породи розсипаються від дотику і складаються переважно з мінералів материнської породи, часто з великим вмістом мінералів вивітрювання. Інколи, наприклад при вивітрюванні пісковиків, вторинні розчинні солі, що є цементуючою речовиною, виносяться, і утворюється пісок. Фільтраційна здатність порід цієї зони у порівнянні з бриловою сильно знижується (до декількох метрів на добу); продовжує знижуватися опір зсуву і стисканню.

3. Зона тонкого подрібнення. Породи цієї зони характеризуються високим ступенем подрібнення. Складається вона переважно з мінералів вивітрювання, первинні мінерали

тонко подрібнені і є домішками до вторинних. Коефіцієнт фільтрації практично дорівнює нулю (тисячні долі сантиметра на добу). Стисливість різко збільшується, опір зсуву зменшується. Порода набуває нових властивостей (пластичність, набрякання тощо).

Таким чином, породи кожної із зон вивітрювання наділені специфічними, властивими лише конкретній зоні, характеристиками.

Треба мати на увазі, що не обов'язково у межах одного розрізу чи навіть району повинні бути розвинені всі вказані зони вивітрювання порід. Наприклад, вилугування цементуючої речовини пісковика може привести до утворення піщаної маси, характерної для зернистої зони, обминаючи монолітну і брилову. Крім того, частина порід розрізу може здуватися вітром, відноситися водою, осипатися під дією сили тяжіння, і тому розріз може починатися з порід, характерних для зон, що залягають нижче.

Під час вивчення вивітрілих порід необхідно оцінити хіміко-мінеральний склад материнської породи і продуктів її вивітрювання. Особливу увагу при цьому слід звертати на характеристику водорозчинних солей і склад глинистих мінералів. Склад, розподіл і кількість водорозчинних солей відіграватимуть істотну роль у випадку, якщо в процесі спорудження чи експлуатації будови в породи проникатиме вода. Наявність, склад, кількість і розподіл глинистих мінералів у значній мірі визначають фізико-механічні властивості порід і повинні оцінюватися залежно від особливостей майбутньої споруди.

Завданням геолога в цьому випадку є визначення глибини знімання порід. Часто, однак, немає необхідності видаляти зчеплені вивітрюванням породи. Треба знімати тільки породи, фізико-механічні властивості яких змінені вивітрюванням настільки, що вони становлять загрозу для стійкості споруди. В цьому випадку для визначення глибини знімання порід доцільно керуватися ступенем подрібнення порід і вмістом у них водорозчинних солей.

Якщо з точки зору подрібненості порода задовольняє умовам зведення споруди, а інші ознаки вивітрювання відсутні, то вона може бути нижньою межею знімання вивітрілих порід. Для різних видів будівництва глибина знімання порід буде мінятися, тому що для різних споруд припустимий неоднаковий ступінь подрібнення порід.

Треба мати на увазі, що знімання вивітрілих порід є досить трудомістким і тривалим процесом і не завжди потрібно прагнути до повного видалення тріщинуватих порід. У ряді випадків тріщини можуть бути зацементовані, забітуміновані, заглинизовані.

Становище дещо змінюється, коли в породі є водорозчинні солі. При зведенні гідротехнічних споруд, зв'язаних з фільтрацією води, ця особливість повинна бути вивчена та оцінена з точки зору можливості вимивання з порід водорозчинних солей. Якщо вміст солей незначний (десятки долей відсотка) і їх видалення не викликає істотної зміни фізико-механічних властивостей порід, то покрівля цієї породи також може служити нижньою межею глибини знімання вивітрілих порід.

Завчасно для всіх видів будівництва і для всіх інженерно-геологічних умов не можна дати єдиного показника, який визначає глибину знімання вивітрілих порід. Встановленню цієї глибини повинна передувати детальна оцінка інженерно-геологічних умов зведення споруд з урахуванням їх виду і конструктивних особливостей.

3.2.3. Вивчення вивітрювання для інженерно-геологічних завдань.

Інженерно-геологічне вивчення вивітрювання порід здійснюється для розв'язання наступних практичних завдань:

- 1) вибору сприятливих ділянок для розташування споруд;
- 2) встановлення безпечного (з точки зору зміни порід у процесі вивітрювання) терміну залишення відкритими котлованів і виїмок;
- 3) визначення потужності захисного шару, який залишається над проектними позначками дна котловану;

- 4) встановлення товщини і характеру захисних покриттів для захисту порід від вивітрювання;
- 5) визначення категорій порід за ступенем роздробленості; вибір умов і способів виконання робіт у котлованах і виїмках;
- 6) розробка профілактичних заходів боротьби з вивітрюванням гірських порід на ділянках споруд.

Всі роботи доцільно розділити на чотири види:

1. Опис загальних ознак вивітрювання гірських порід і виділення характерних зон вивітрювання.
2. Спостереження за швидкістю процесів вивітрювання; ці спостереження виконуються тільки після встановлення характеру і зон вивітрювання з тим, щоб раціонально запланувати види аналізів і місця відбору проб.
3. Польові спостереження і лабораторні дослідження, необхідні для визначення глибини знімання вивітрілих порід.
4. Спостереження, що мають на меті вибір характеру і потужності захисних покриттів.

Лише 1 та 3-й види досліджень повинні виконуватися для всіх видів будівництва, якщо у межах ділянки будівництва є кора вивітрювання. Дослідження 2-го і 4-го видів виконуються порівняно рідко: для окремих великих котлованів, укосів, виїмок і т.п., коли термін залишення порід у відкритому стані досить тривалий (в укосах каналів, залізничних виїмок).

Необхідність того чи іншого виду досліджень визначається у кожному конкретному випадку, з урахуванням інженерно-геологічних умов, типу споруди, терміну залишення порід у відкритому стані.

3.2.4. Зовнішні ознаки вивітрювання порід та їх опис.

Складні процеси вивітрювання завжди ведуть до більш-менш істотної зміни зовнішнього вигляду гірських порід. Кожний з агентів вивітрювання залишає свої сліди впливу, за якими можна відновити історію процесів, що протікали в породі. Тому опис гірських порід під час вивчення процесів повинен бути детальним і всебічним.

До найбільш важливих зовнішніх ознак вивітрювання можна віднести: 1) колір і відтінок породи, 2) ступінь і характер її подрібненості, 3) мінеральний склад і 4) механічну міцність.

Як уже говорилося, процеси вивітрювання призводять до глибоких змін у складі гірських порід і утворення нових мінералів. Всяка зміна мінерального складу породи позначається перш за все на її забарвленні. У вивітрілих порід забарвлення змінюється зовсім, або ж набуває нових відтінків, зовсім невластивих породі у невивітрілому стані.

Під час опису породи в першу чергу фіксується її загальне забарвлення у сухому та вологому стані; описується зміна кольору і відтінку з глибиною, починаючи від денної поверхні; відмічається приуроченість того чи іншого кольору і відтінку до окремих прошарків породи; вказується наявність плям, патьоків і крапкового забарвлення. Слід звернути увагу на забарвлення поверхні і внутрішніх частин породи (декілька зразків розбиваються і описується характер зміни кольору від поверхні до центру зразка). Для опису кольору породи необхідно розбти і оглянути не один, а два-три десятки (!) на перший погляд однакових зразків, щоб цей опис відповідав не випадковому зразку, а породі в цілому. Опис кольору необхідно супроводжувати зарисовками, фарбуючи їх відповідно природним кольорам, або фотографіями.

Ступінь подрібненості породи за рахунок вивітрювання можна оцінювати за такою залежністю (С.Д.Воронкевич):

$$K_e = E_e - E_n, \quad (3.1)$$

де E_e – коефіцієнт пористості вивітрілої породи;

E_n – коефіцієнт пористості практично невивітрілої породи.

Під час опису виділяються зони вивітрювання. Основною ознакою їх виділення є розмір і форма уламків і блоків, на які розбита порода, а також характер тріщин, якими вона розбита. Тому під час вивчення ступеня подрібненості слід детально описувати як уламки, що складають породу, так і тріщини, які її розбивають, по можливості вказуючи їх генезис. Описуючи блоки, уламки і шматки, слід відмітити їх склад, розміри, форму, взаємне розташування.

Процеси вивітрювання найчастіше проявляються у викритті і розширенні вже існуючих у породі тріщин і в утворенні нових тріщин вивітрювання. Вивчення ступеня розкриття тріщин в результаті вивітрювання слід починати зі встановлення системи тріщинуватості, розмірів тріщин і характеру їх заповнення в незачеплених вивітрюванням породах, тому що у верхній частині розрізу ця система ускладнюється появою сітки тріщин вивітрювання.

Слід звернути увагу і на розподіл у породі інших пустот (каверн, жеод, каналів, пор) та відзначити їх форму, характер, приуроченість до певного складу порід, включень, певних умов залягання.

Зміна мінерального складу породи в результаті вивітрювання проявляється перш за все у зміні складу алюмосилікатної частини породи, а саме: первинні алюмосилікати (польові шпати, авгіти, рокові обманки та ін.) переходять у вторинні (каолініт, монтморилоніт, ілліт та ін.). Вторинні алюмосилікати утворюються в тонкоподрібненому (до колоїдного) стані і надають вивітрілій породі характерного глинистого вигляду.

Перехід первинних алюмосилікатів у вторинні супроводжується видаленням із породи деяких елементів, в першу чергу лужних і лужноземельних металів і утворенням із них нових простих мінералів, як розчинних, так і нерозчинних у воді. Серед новоутворених водорозчинних мінералів зустрічаються гіпс, карбонати кальцію і магнію; серед нерозчинних – водні окисли заліза, що забарвлюють породу в жовті й бурі тони.

Зміни мінерального складу можна спостерігати при вивітрюванні вивержених, особливо великозернистих порід, первинні мінерали яких легко вивітрюються. Зміни у складі осадових (зокрема, глинистих) порід менш помітні. Одна з характерних ознак – вивітріла частина порід часто насичена гіпсом і водними окислами заліза.

Зміна внутрішніх зв'язків у породі в процесі вивітрювання призводить до зменшення її механічної міцності, до пониження опору породи зовнішнім зусиллям, що на неї впливають. Тому треба визначати також міцність породи за такими ознаками: 1) важко розколюється молотком; 2) розламується руками; 3) розламується пальцями; 4) розсипається від легкого дотику. Під час польового випробування міцності порід слід описувати характер частин, на які розпадається порода, їх форму, розміри, характер поверхні, колір і т.п.

Крім основних ознак вивітрювання, треба відзначити додаткові, наприклад, вологість, міцність, пластичність і т.п.

Пластичність встановлюється шляхом розкачування шматка породи в джгут і класифікується наступним чином: 1) порода в джгут не розкачується; 2) порода розкачується в товстий (тонкий) джгут; 3) джгут згинається в кільце без розриву цілності і без утворення тріщин.

Слід особливо уважно вивчати розподіл і склад живих організмів на поверхні і всередині гірської породи. Необхідно описувати характер поширення (плямами, суцільним покривом і т.п.) і проникнення вглиб породи (по тріщинах, порах) нижчої (лишайники, гриби, мхи) і вищої рослинності. Вказують на її приуроченість до певних порід чи до орієнтації схилів, на розвиток кореневої системи, руйнування поверхні гірських порід і т. ін. Тут необхідна консультація біолога.

Під час опису ознак вивітрювання повинні складатися наступні основні польові документи:

1) геолого-літологічна карта з зображенням рельєфу в горизонталях, на яку наносять точки обстеження;

- 2) польовий журнал;
- 3) колонки вивчених розрізів.

Густота і розподіл по площі штучних гірських виробок, призначених для вивчення глибини, характеру і площі розповсюдження вивітрілих порід, залежать від геологічної будови і гідрогеологічних умов району, типу споруди і стадії проектування. Для визначення місць розташування виробок слід користуватися методичними посібниками і інструкціями з інженерно-геологічних вишукувань для різних видів будівництва (гідротехнічного, цивільного, дорожнього та ін.). При визначенні місць закладення виробок для встановлення границь зон вивітрювання необхідно враховувати склад порід, умови їх залягання, тектонічні порушення. На кожний тип порід повинні припадати щонайменше дві виробки, якщо ці породи не мають широкого площинного поширення і не приурочені до різних геоморфологічних елементів або різних гідрогеологічних умов.

Умови залягання порід також впливають на визначення кількості і глибини виробок. Наприклад, при горизонтальному заляганні порід виробки, за інших рівних умов, можуть розташовуватися на порівняно великій відстані одна від одної. При похилому заляганні порід, особливо різних за літологічним складом, кількість виробок повинна бути збільшена, їх глибина в останньому випадку буде різною, тому що за таких умов нижня межа вивітрілих порід буде неоднаковою.

З метою вивчення швидкості процесів вивітрювання описується потужність вивітрілої зони і характер вивітрювання у штучних відслоненнях порід (укосах, виїмках, шурфах, штольнях). Час викриття таких виробок повинен бути відомим. Проводяться тривалі спостереження над вивітрюванням порід у свіжих штучних відслоненнях.

Визначення швидкості вивітрювання гірських порід в існуючих штучних відслоненнях виконується наступним чином:

4. Оглядаються всі штучні відслонення порід в районі досліджень, а в деяких випадках і за його межами. Відслонення наносяться на карту і нумеруються; описуються місця їх розташування (елемент рельєфу, орієнтування і крутизна схилу, залісненість і т.д.).

5. Для всіх оглянутих штучних відслонень з найбільш можливою точністю встановлюються дати їхнього викриття. Якщо ці дати для району досліджень виявляються близькими одна до одної, то необхідно відшукати в прилеглих районах штучні відслонення тих же порід, але викритих в інший час. Найбільш сприятливим буде випадок, якщо вдасться відшукати такі відслонення, строки розкриття яких відрізняються на декілька місяців, а всі разом вони охоплюють 15-20 років до поточного року.

6. Для кожного обраного пункту описуються ознаки вивітрювання, відбираються зразки для лабораторних випробувань і визначається потужність вивітрілої зони (робляться розчистки).

7. Одночасно вивчаються кліматичні умови (кількість опадів, коливання температури) і описуються кліматичні явища (сильні зливи, урагани і т.п.). Ці явища систематизуються по періодах, що охоплюють проміжки між датами викриття зареєстрованих штучних відслонень. Отримані дані дозволяють пояснити розбіжності в інтенсивності і характері вивітрювання одних і тих же порід, викритих в різний час.

Навіть одиничний опис всіх взятих на облік штучних відслонень дасть можливість встановити глибину і характер вивітрювання порід протягом часу існування цих відслонень. Повторні описи дозволять перевірити і уточнити отримані раніше дані. Кількість повторних описів і, відповідно, строки закінчення спостережень залежать від числа взятих на облік штучних відслонень і від інтервалу часу між датами їх викриття. Чим більше зареєстровано відслонень і чим меншим є інтервал між датами їх викриття, тим коротшим повинен бути період спостережень. У цьому найбільш сприятливому випадку можна обмежитися одиничним описом всіх штучних відслонень порід.

Цілком природно, що визначенні по різних відслоненнях значення швидкості вивітрювання порід будуть відрізнятися один від одного, тому що ці відслонення можуть перебувати в різних умовах. В цьому випадку слід надавати перевагу даним, отриманим по

штучних відслоненнях, умови яких є близькими до умов, в яких перебуватиме порода при взаємодії зі спорудою.

Інколи в процесі досліджень можна зустрітися з різними явищами, які ускладнюють чи роблять неможливим подальше спостереження за швидкістю вивітрювання порід в якому-небудь відслоненні. До таких явищ належать: змивання порід зі схилу, штучна очистка укосів і виїмок, обрушення і т.п. Якщо врахувати ці явища не можна, то вивчення відслонення припиняється.

Визначення швидкості вивітрювання порід у спеціально закладених виробках вимагає виконання гірничих робіт і значних витрат часу. Таке визначення застосовується у випадках, коли необхідно визначити характер і потужність захисних покриттів і ціликів, а також, якщо неможливо використати перший метод. Цей метод полягає в наступному:

1. Виконують розчистку природних відслонень або викопують спеціальні котловани до незацеплених вивітрюванням порід. Кожна така виробка є пунктом довготривалого спостереження за процесом вивітрювання.

2. Пункти спостереження обираються з умовою, щоб виробки а) викривали всі потрібні типи порід, б) перебували в різних умовах рельєфу (на плато, на схилі, в долині), в) розташовувалися як на південних, так і на північних схилах. Крім того, частина штучних відслонень повинна бути приуроченою до ділянок розташування запроектованих споруд. Бажано, щоб площа викритої породи була не меншою від 4 м². Треба прагнути до того, щоб штучні відслонення порід, призначені для тривалого спостереження за вивітрюванням, перебували в таких же умовах, в яких буде знаходитися порода при взаємодії зі спорудою. Наприклад, якщо оцінюється швидкість вивітрювання порід для майбутніх укосів каналу, залізничної виїмки, стінок котловану, то штучні відслонення треба відповідно орієнтувати, надати укосам таку ж крутизну і висоту, на таку ж глибину заповнити водою (для каналів) і т.д.

3. Проходка всіх виробок в межах району будівництва по можливості ведеться й закінчується одночасно; періодичне їх описування також виконується одночасно.

4. На кожному пункті спостережень описуються ознаки вивітрювання, відбираються зразки для лабораторних досліджень і визначається потужність вивітрілої зони шляхом розкопування частини відслонення.

Загальний термін таких спостережень повинен бути не менше року. Але через невивченість явища вкрай бажано повторювати ці спостереження хоча б 4-5 разів на рік протягом всього періоду будівництва.

Перед кожним наступним спостереженням дається опис метеорологічних явищ, що мали місце в період між спостереженнями.

3.2.5. Спостереження, необхідні для встановлення характеру і потужності захисних покриттів і ціликів.

В ряді випадків буває необхідно забезпечити від вивітрювання породи, викриті будівельними котлованами і виїмками, за допомогою штучних покриттів або шляхом залишення захисної товщі тих же порід (ціликів). Вибір матеріалу і потужності захисного покриття залежить: 1) від властивостей, стану та інтенсивності переважаючих в даному районі агентів вивітрювання; 2) від властивостей і стану гірських порід.

Найбільш складним є виявлення переважаючих в даних умовах агентів вивітрювання. Їх можна визначити шляхом: 1) порівняння ознак вивітрювання; 2) виконання спеціальних дослідів і спостережень у котлованах.

Патьоки, тонкі частки, замітність у тріщинах свідчать про проникнення в породу атмосферної вологи; на це ж вказуватиме нерівномірний розподіл по розрізу водорозчинних солей: наявність у верхній частині розрізу і відсутність у нижній.

Окисні форми залізистих сполук свідчать про участь кисню в процесах вивітрювання, закисні – про те, що кисень в цих процесах не брав участі. За цими ознаками можна вирішити, чи проник кисень у породу разом з водою, чи попав в неї без води і т.п.

Вивчаючи таким чином ознаки вивітрювання і порівнюючи їх, можна встановити, які агенти вивітрювання відігравали провідну роль в даних умовах і в якому стані (рідкому, газоподібному і т.п.) вони перебували в момент взаємодії з гірськими породами.

Спеціальні досліди і спостереження для визначення переважаючих агентів вивітрювання можуть виконуватися у відкритих до невивітрілих порід котлованах. Форма і розміри котловану можуть бути різними в залежності від рельєфу, глибини і умов залягання порід. Викрита в котловані порода описується за вказаною раніше схемою.

На дні котловану виділяються декілька площадок певного розміру. Кожна з цих площадок захищається відповідним покриттям від однієї чи кількох груп можливих агентів вивітрювання з таким розрахунком, щоб можна було прослідкувати вплив кожного з них на породи. Одна чи дві площадки залишаються без покриття.

Періодично частина покриття на кожній площадці розкривається закопушкою до невивітрілої породи. Вивітріла порода описується по вищенаведеній схемі, з неї відбираються зразки для лабораторних досліджень. Після цього закопушка закидається вибраною породою і знову вкривається відповідним покриттям. Інколи для захисту порід від вивітрювання доцільно залишати над ними цілики з тих же порід. В цьому випадку глибину будівельних котлованів не доводять до проектних позначок. Потужність ціликів дорівнює потужності зони вивітрювання, яка утворюється протягом певного часу (наприклад, протягом часу, на який котлован залишається у відкритому стані). Безпосередньо перед початком будівництва цілики знімають.

3.2.6. Лабораторне вивчення вивітрілих порід.

Вивчаються як невивітрілі, так і вивітрілі до різної міри породи. Лабораторні визначення розділяються на чотири комплекси: повний, скорочений, перший і другий додаткові.

Повний комплекс виконується для детальної характеристики опорних зразків основних типів порід, що беруться з невивітрілої і вивітрілої частини розрізу. У повний комплекс лабораторних визначень входять: хіміко-мінералогічні і петрографічні визначення; гранулометричний склад, щільність, пористість, вологість, межі пластичності, розмокання, набрякання; закипання з HCl, випробування на стиснення, на зсув, коефіцієнт фільтрації.

Для скороченого комплексу лабораторних робіт з кожної зони вивітрювання відбираються по 2 зразки, причому один із них є контрольним. Скорочений комплекс є основним при лабораторному вивченні процесів вивітрювання для інженерно-геологічних цілей.

До скороченого комплексу входять лише частина хіміко-мінералогічних і одне петрографічне визначення (опис шліфів); вологість, пластичність, розмокання; закипання з HCl; зсувні випробування, роздавлювання.

Перший додатковий комплекс визначень рекомендовано виконувати для встановлення глибини знімання вивітрілих порід. До цього комплексу входять: випробування на зсув, на стисливість, визначення коефіцієнта фільтрації. Другий додатковий комплекс виконується при вивченні формування укосів. Сюди входять випробування на зсув та роздавлювання. Крім вказаних, рекомендується робити мікробіологічний аналіз для декількох характерних зразків.

Для проб води підземних вод, а також проб із природних і штучних водойм рекомендується повний хімічний аналіз.

3.2.7. Заходи боротьби з вивітрюванням гірських порід.

До них належать всі заходи, спрямовані на попередження подальшого вивітрювання гірських порід, а саме:

- 1) покриття гірських порід непроникними для агентів вивітрювання матеріалами;
- 2) промочування порід різними речовинами;
- 3) штучна нейтралізація агентів вивітрювання;
- 4) планування територій і відведення води.

При виборі матеріалу для покриття треба виходити як із властивостей цього матеріалу, так і з типу агентів вивітрювання, які визначають можливі зміни породи в даних умовах. Наприклад, для попередження проникнення в породу рідких і газоподібних агентів вивітрювання можуть застосовуватися різні матеріали з метою гідроізоляції: силікати, гудрон, цемент чи навіть глина. Однак всі вони, за винятком глини, зовсім не підходять для попередження впливу на породу коливань температури. Для цієї мети застосовують глину або пісок, укладені досить потужними шаром, що дорівнює потужності зони річних коливань температури порід у даному районі або більшим на 5-10 см.

Найкращим матеріалом для покриття є суглинок, тому що він має майже універсальні захисні властивості. Якщо укласти його шаром достатньої потужності, то він не пропустить ні рідких, ні газоподібних агентів вивітрювання і погасить найрізкіші коливання температури. Крім того, суглинок, що складається з продуктів, властивих більш пізнім стадіям вивітрювання, мало піддається руйнуванню. Добрі захисні властивості має бетон, але це, по-перше, вартісний матеріал, а по-друге, й сам може змінюватися під впливом вивітрювання. Пісок може захищати породи від впливу коливань температури, але не може затримати проникнення рідких і газоподібних агентів вивітрювання. Тому його недоцільно застосовувати в районах, де фізичне вивітрювання переважає над хімічним. Бітум захищає породу від проникнення агентів вивітрювання, але не в змозі протистояти коливанням температури.

Матеріали і потужність захисного покриття залежать також від зміни умов вивітрювання під впливом споруди, а також від терміну служби захисного покриття. Наприклад, якщо в будівельний котлован буде потрапляти вода і він буде перебувати у відкритому стані недовго (кілька десятків днів), то захисним покриттям може бути бетон, гудрон або глина, укладені тонким шаром. Але якщо котлован буде відкритим довгий час (кілька років), то до агентів вивітрювання додаються сезонні і річні коливання температури порід. В таких випадках слід або збільшити товщину покриття, або застосувати теплоізоляційний матеріал.

До цієї ж групи заходів боротьби з вивітрюванням гірських порід слід віднести і тимчасове залишення шару порід, які знімаються. Тобто це є свідомим недоведенням дна котлованів і виїмок до проектної глибини. Шар, що залишився, знімається безпосередньо перед початком будівельних робіт.

В якості промочувальних речовин можуть використовуватися: розчинне (рідке) скло, гудрон та ін. Застосування більшості промочувальних речовин обмежене різними умовами. Наприклад, введення в породу рідкого скла лімітується фільтраційними властивостями породи; гарячого бітуму – фільтраційними властивостями породи і необхідністю при низьких коефіцієнтах фільтрації досить високого тиску (1,2 – 1,4 МПа). Такий тиск може зруйнувати породу або відтиснути її в боки. Бітуми з малою проникністю дають гарні результати у скельних породах з великими пустотами. Бітуми з більшою проникністю можна використовувати для заповнення тонких тріщин у скельних породах. Бітумізації піддаються також щаблясто-галькові породи. У піщано-глинистих породах бітуми не застосовуються.

Цементування використовують у тріщинуватих і гравелистих породах, великозернистих породах. У глинах і дрібнозернистих пісках бетон погано поширюється.

Інколи застосовують глинисту суспензію, якою заливають гравелисті породи, що вивітрюються (переважно для зменшення фільтраційних властивостей). Наприклад, при заливанні піску, який має різну пористість, суспензією (5 г сухого делювіального суглинка

на 1 л води) виявилось, що при пористості 34% коефіцієнт фільтрації зменшився у 20 разів, а при пористості 29% - у 100 разів.

До методів нейтралізації агентів вивітрювання належить додавання у воду, яка фільтрується через породу, солей з метою зменшення її розчинної здатності. Але цей спосіб досить дорогий і вимагає спеціального обладнання.

До заходів боротьби з вивітрюванням гірських порід належить і відведення поверхневих та підземних вод. Це планування і вистеляння (брукування) територій, влаштування нагірних каналів, зливостоків і т.п. Гравітаційні підземні води перехоплюються дренажними галереями, поглинаючими колодязями, штучними завісами (заморожування, гудронування, цементация, силікатизация і т.п.).

Запитання для самоконтролю.

1. Що називається процесом вивітрювання?
2. За якими напрямками вивчається вивітрювання гірських порід під час інженерно-геологічних досліджень?
3. Дайте характеристику основним чинникам вивітрювання.
4. Які мінерали утворюються в гірських породах внаслідок вивітрювання?
5. Яким змінам піддаються гірські породи внаслідок вивітрювання?
6. Назвіть шляхи проникнення чинників вивітрювання в гірські породи.
7. Як поділяються пустоти в гірських породах за розмірами?
8. Охарактеризуйте зональність вивітрілих гірських порід (за М.В.Коломенським та І.С. Комаровим).
9. Для чого вивчається вивітрювання під час інженерно-геологічних досліджень?
10. Якими є зовнішні ознаки вивітрювання гірських порід?
11. Як вивчається швидкість вивітрювання гірських порід?
12. Назвіть лабораторні методи вивчення вивітрілих гірських порід.
13. Якими є заходи протидії вивітрюванню гірських порід?

3.3. Сезонне та багаторічне промерзання гірських порід.

Обширні простори на земній кулі зайняті багаторічномерзлими ґрунтами, величезні території піддаються сезонному промерзанню. Щорічне промерзання є сезонним (сезонномерзлі породи).

На сьогодні замість терміну “вічно мерзла” вживають поняття “багаторічно мерзла” порода. Означення “вічномерзлий” умовне, тому що нічого вічного в природі не існує. У нашій мові слово “вічний” синонімічне слову “нескінченний”. Але ж в історії Землі були періоди, коли на одних і тих же ділянках земної кори ніякої мерзлоти не існувало, отже, термін “вічна мерзлота” є некоректним.

Розглянемо зміст поняття “мерзла порода” чи «мерзлий ґрунт». Раніше мерзлими ґрунтами вважалися всі гірські породи, що мали від’ємну температуру. Однак зменшення температури до нуля і нижче не завжди змінює будівельні властивості породи. Наприклад, розглянемо сухий пісок. Очевидно, що як в умовах позитивних, так і від’ємних температур він буде наділений практично однаковими властивостями, залишаючись сипкою безструктурною породою. Інша справа, якщо пісок насичений водою. В цьому випадку цементация піщаних часток льодом надає піскові значної міцності. Якщо ж усі породи з від’ємною температурою називати мерзлими, то очевидно, і сухий пісок, що не змінив своїх властивостей, і пісок, зцементований льодом і перетворений на напівскельну породу, доведеться віднести до однієї групи мерзлих порід. В цьому, без сумніву, полягає значна незручність.

Для того щоб уникнути подібного становища, деякі вчені (М.А.Цитович, М.І.Толстіхін та ін.) запропонували застосовувати термін “мерзлі” тільки до тих порід, які мають нульову або від’ємну температуру і містять включення льоду. Ті ж породи, що мають від’ємну

температуру, але не містять льоду, прийнято називати «морозними». Вічномерзлими породами називають такі мерзлі породи, що не відтають протягом декількох років.

Будівництво в умовах розвитку багаторічномерзлих порід дуже ускладнене і вимагає всебічного вивчення і кількісної оцінки процесів, які відбуваються в пухких породах при їх замерзанні-відтаненні. Цими питаннями займається спеціальна наука – мерзлотознавство, або геокріологія.

Площа поширення багаторічномерзлих порід значно менша, ніж площа порід сезонного промерзання, але все ж охоплює значні території на трьох континентах (Євразія, Америка і Антарктида). В цілому вона дорівнює приблизно 35 млн. км², що становить 24% всієї поверхні суші на земній кулі. Потужність багаторічномерзлих порід коливається від 10-15 м до 300-500 м на крайній півночі, за полярним колом.

3.3.1. Будова товщі багаторічномерзлих порід.

Основними характеристиками будови товщ мерзлих порід є глибина залягання верхньої і нижньої поверхонь мерзлої товщі, її потужність, переривчатість за площею і глибиною.

Глибина залягання верхньої поверхні мерзлої товщі непостійна. В зв'язку зі значними температурними коливаннями в районах поширення багаторічномерзлих порід спостерігаються явища сезонного промерзання і відтанення. Шар періодично замерзаючих і відтаючих порід називається діяльним шаром.

Слід відзначити, що глибини поширення позитивних температур у літній період і від'ємних у зимовий між собою не збігаються. Тому розрізняють два поняття: сезонновідтаючий шар і сезоннопромерзаючий шар, які відповідають потужностям порід, що відтають у літній і промерзають у зимовий період. Якщо величина літнього відтанення перевищує величину зимового промерзання, то потужність діяльного шару визначаються за максимально можливою глибиною сезонного відтанення. При зворотньому співвідношенні потужність діяльного шару визначається за максимально можливою глибиною сезонного промерзання.

Глибини сезонного відтанення і промерзання можуть не збігатися за потужністю. У випадках, коли шар відтанення більший від шару промерзання, між шаром багаторічномерзлих порід і сезонномерзлих порід залишається постійний талик (мерзлі товщі, які “не зливаються”). При іншому співвідношенні глибин промерзання і відтанення шар сезонномерзлих порід безпосередньо переходить у шар багаторічномерзлих порід (мерзлі породи, які “зливаються”).

Перший тип характерний для південних районів області поширення багаторічномерзлих порід, другий – для північних.

Інколи в товщі мерзлих порід спостерігаються пластові талики, пов'язані з найбільш водопроникними пластами порід, по яких рухаються підземні води. За наявності кількох пластових таликів, розташованих на різній глибині, товща багаторічномерзлих порід виявляється розбитою на окремі зони. В цьому випадку говорять про шаруваті або переривчасті зони (за глибиною).

Багаторічномерзлі породи не завжди мають суцільне поширення і в горизонтальному напрямку, вони часто перериваються таликами. Талики утворюються під ріками, озерами, у місцях інтенсивного виходу підземних вод і під потужним сніговим покривом. Залежно від того, чи пронизують талики всю товщу мерзлих порід, чи підстеляються знизу мерзлими породами, розрізняють два типи таликів: наскрізні і замкнені (псевдоталики).

Найширше розповсюдження мають талики під ріками. Вони відрізняються найбільшою глибиною. Під великими ріками, що не промерзають, часто спостерігаються наскрізні талики. Вони спостерігаються також і під непромерзаючим до дна озерами. В цьому випадку вони замкнені і мають форму глибоких ванн із майже зовсім прямовисними мерзлими бортами. Контакт між мерзлими береговими і талими підозерними породами

знаходиться звичайно біля самого берега озера. Підвищення температур у мерзлих породах під озерами поширюється не більше, ніж на 50-100 м. Ця глибина залежить від фільтраційних властивостей відкладів, що лежать під дном озер: якщо відклади слабофільтраційні, то потужність таликів не перевищує 20 м. Глибокі і наскрізні талики спостерігаються там, де відклади представлені породами, що добре фільтрують – тут створюються умови для конвективного теплообміну.

Останній тип таликів – це талики аномального типу, які знаходяться в умовах суворого клімату, далеко від водних потоків і водоймищ. Основна причина їх утворення – наявність потужного снігового покриву, який з'являється до настання сильних морозів.

Утворення таликів часто пов'язане з діяльністю людини: з гідротехнічним будівництвом і меліоративними заходами. Наприклад, влаштування водосховищ із великою глибиною викликає глибоке протанення багаторічномерзлих порід і утворення наскрізних (на півдні) або замкнених (на півночі) таликів.

Важливою особливістю будови мерзлих порід є наявність виділень льоду. Лід може знаходитися у породах як у вигляді окремих кристалів, так і у вигляді великих включень. Льодовиділення у вигляді включень спостерігається тільки в незцементованих пухких породах, достатньо зволжених і залягаючих неглибоко від денної поверхні. Найчастіше такі виділення спостерігаються в глинистих породах (глинах, супісках, суглинках), торфах і заторфованих породах і рідше – в пилюватих і дрібнозернистих пісках. Льодовиділенню сприяють висока вологість породи (вище максимальної молекулярної вологості) і неглибоке залягання рівня ґрунтових вод.

Виділення льоду утворюють своєрідні текстури і структури мерзлих порід. Типи текстур наступні: масивна (льодові кристали розподілені рівномірно по всій потужності породи) і шарувата (лід утворює тонкі прошарки і лінзи). Масивний тип текстури характерний для щільних порід з невисокою початковою вологістю, шаруватий – для порід слабо ущільнених з високою початковою вологістю.

Присутність льоду у мерзлих породах відіграє роль цементу і додає породі міцності і водонепроникності. Однак при таненні льодових включень порода часто виявляється перезволоженою і набуває текучого стану, цілком втрачаючи при цьому несучу здатність. Особливо велику небезпеку представляють льодяні включення великого розміру.

3.3.2. Основні типи підземних льодів і процеси, що їх утворюють.

Конституційний лід утворюється в результаті промерзання вологих порід і має декілька різновидів.

Лід-цемент – найбільш широко розповсюджений різновид конституційного льоду. Утворюється він за рахунок замерзання води у вологих, але не насичених водою пухких гірських породах і заповнює пори між мінеральними зернами породи, не порушуючи її структуру і текстуру. Він цементує породи, надає їм міцності і робить їх водонепроникними. В зв'язку з невеликим його вмістом у породах, перехід льоду в рідку фазу не викликає їх надлишкового зволоження. Тому з інженерно-геологічної точки зору цей різновид льоду є найбільш сприятливим.

Сегрегаційний лід відрізняється від льоду-цементу тим, що при його утворенні відбуваються явища кристалізаційної диференціації, підтягування води і утворення кристалів льоду, які розсувають мінеральні частки. В результаті відбувається зміна початкової структури і текстури породи. Сегрегаційний лід утворює лінзи, прошарки, включення різної форми і розміру. Розподіл льоду може бути різним: від безладного до строго орієнтованого, наприклад, до шаруватості породи. Останній вид розподілу льоду досить поширений і надає породі своєрідної грубої шаруватості. На глибині 10-20 м льодяні прошарки зазвичай зникають, і текстура породи стає масивною. При переході сегрегаційного льоду в рідку фазу відбувається перезволоження породи і, як наслідок, зниження несучої здатності.

Ін'єкційний лід утворюється внаслідок проникнення води в породу під тиском. Тиск створюється за рахунок промерзання водовмісної породи і зменшення живого перерізу потоку ґрунтових вод. Такий тиск може досягати 250 МПа. Форми ін'єкцій можуть бути різними. Найчастіше вода проникає в породу по тріщинах, контактах, шаруватості і т.д. При цьому утворюються поклади у вигляді лінз, штоків або прошарків. Інколи тиск води виявляється настільки сильним, що вона підіймає верхні шари породи і утворюються бугри пучіння. Перехід ін'єкційного льоду в рідку фазу може супроводжуватися просіданнями ґрунту і становить велику небезпеку для споруд, що будуються.

Жильний лід заповнює морозобійні тріщини, які утворюються в гірських породах внаслідок зменшення їх об'єму при охолодженні. Виникають вони в тих місцях, де напруження перевищують міцність гірських порід на розрив. Утворившись одного разу, тріщини продовжують розширюватися протягом всього морозного періоду і закриваються тільки весною, коли відбувається розширення порід в результаті нагрівання. Тріщини розбивають мерзлі породи на полігональну окремість правильної форми в однорідних і неправильної форми в неоднорідних породах. При подальшому падінні температури і охолодженні всередині великих багатокутників можуть утворюватися багатокутники другого і навіть третього порядку. Потім тріщини заповнюються памороззю або водою, внаслідок чого в них утворюються невеликі льодяні жили або клини. В літній період льодяні жили відтають, і тріщини закриваються, але послаблені поверхні залишаються. Тому в наступні роки жили часто утворюються на попередніх місцях і продовжують рости в ширину і вглиб. В зв'язку зі збільшенням розмірів, у літній період вони вже не встигають повністю відтанути, а зимою знову продовжують розростатися. В результаті утворюються багаторічні жили, що досягають іноді величезних розмірів. Їх довжина може досягати десятків метрів, в окремих випадках сотень, а глибина від 1-2 до 6-7 м; форма клиновидна (ширина зверху до 3-4 м).

Особливо великих глибин досягають жили льоду сингенетичного характеру, які формуються одночасно із накопиченням осадків. В цьому випадку жили поширюються в товщу порід на десятки метрів за глибиною. Інколи вони розростаються настільки, що гірські породи всередині полігонів набувають форми земляних стовпів або колон, оточених з усіх боків льодом. Жильні льоди утворюються переважно в глинистих породах, торфях і дуже рідко – у пісках та гравійно-галькових відкладах.

Жильні льоди представляють собою велику небезпеку: при зміні температурного режиму відбуваються просідання чи провали поверхні внаслідок відтанення льоду.

Печерно-жильні льоди утворюються в карстових печерах і різних тріщинах (вивітрування, тектонічних) гірських порід. Великого практичного значення не мають.

Поховані льоди утворюються за рахунок захоронення під шаром наносів льоду рік, озер, морів, наледей, сніжників, відступаючих льодовиків. При цьому потужність шару наносів більша, ніж глибина сезонного відтанення. Такі льоди не мають великого інженерно-геологічного значення через обмежене розповсюдження.

3.3.3. Фізичні процеси у промерзаючих гірських породах. Фізичні і механічні властивості мерзлих і відталих гірських порід.

Явища промерзання і відтанення рихлих гірських порід супроводжуються процесами фазових перетворень, міграції вологи, росту льодяних кристалів. Зазвичай це призводить до істотних змін у структурі, текстурі, фізичному стані і фізико-механічних властивостях гірських порід.

Мерзлі гірські породи представляють собою складну чотирифазну багатоконпонентну систему. Вона складається з твердих мінеральних часток, води у твердому (лід), рідкому і газоподібному стані (пара) і деякої кількості газів.

Вміст води у різних фазах залежить від параметрів системи – температури і тиску. Чим нижчою є температура, тим менше в гірських породах міститься води у рідкій фазі. Однак

навіть при дуже низьких температурах деяка частина води, адсорбована на поверхні мінеральних часток, залишається в рідкому стані.

Це положення підтверджується дослідями на визначення вмісту незамерзлої води ($W_{\text{нз}}$) у мерзлих породах. Результати показують, що температура замерзання води залежить від ступеню дисперсності породи. У пісків промерзання води завершується при температурах, близьких до 0°C , в глинах воно відбувається в досить значному інтервалі температур і навіть при $t=30^{\circ}\text{C}$ вологість ґрунту дорівнює 12%.

Перехід води в лід супроводжується виділенням значної кількості тепла (приблизно 80 кал на 1 г води). Тепло, що виділяється, затримує подальше промерзання породи. Раніше вважалося, що температура замерзання води в гірських породах дорівнює 0°C . Насправді воно відбувається в досить значному інтервалі температур. Тому границя замерзання-відтанення не має чіткого геометричного вигляду, а представляє собою більш-менш значну за потужністю зону. У пісків її потужність менша, у глинистих породах більша.

Вище розглядався вплив на промерзання і фазові переходи лише одного чинника – температури. Дослідження показали, що цей процес залежить і від зовнішнього тиску: чим він більший, тим більша кількість незамерзлої води міститься в пухких гірських породах. Явище промерзання гірських порід і кристалізації води супроводжується процесами міграції і перерозподілу вологи. Пересування вологи в породах відбувається при промерзанні у формі плівкової води. Вона перетікає під дією молекулярних сил від товстих плівок до тонших. Тонкі плівки уиворюються там, де починається кристалізація води, тобто біля фронту промерзання. Таке постійне перетікання і кристалізація нових надходжень води призводить до утворення в породі кристалів, лінз, прошарків та ін. включень льоду і виникнення тих своєрідних текстур мерзлих порід, про які вже говорилося.

Льодовиділення в гірських породах супроводжується збільшенням їх об'єму (частково за рахунок переходу води в лід, в основному ж за рахунок міграції води до фронту промерзання). Це явище отримало назву *морозного пучіння*. Величина пучіння залежить від складу пухкої породи, її вологості й щільності, наявності джерел притоку води до фронту промерзання, а також від швидкості промерзання. Різні за скалдом і будовою породи по-різному піддаються пучінню. Найзначнішими є величини пучіння у пилюватих суглинків, тобто ця порода найбільш небезпечна відносно пучіння.

Основною характеристикою міцності мерзлих ґрунтів є їх зчеплення. Воно визначається міцністю зв'язків, які утворюються в системі "мінеральні частки – незамерзла вода". Сили зчеплення у мерзлом ґрунті не залишаються постійними, а змінюються з часом і під впливом зміни температури й вологості.

Фактор часу позначається в релаксації (послабленні) сил зчеплення. Релаксація відбувається внаслідок спливання льоду і зміни його структури та інших причин. В зв'язку з цим при оцінці мерзлих ґрунтів розрізняють миттєву міцність і довготривалу міцність. Миттєва міцність може бути досить значною (десятки і сотні паскалів), а довготривала у багато разів меншою. Прикладом може бути випробовування на розрив мерзлих супісків. При температурі $-4,5^{\circ}\text{C}$ миттєвий опір мерзлого супіску дорівнював 2 МПа, а довготривалий (зразок не руйнувався протягом чотирьох років) лише 0,18 Мпа, тобто різниця становить більше, ніж 11 разів. Міцність мерзлих порід залежить також від їх температури – тут пряма залежність між міцністю і низькою температурою для всіх різновидів пухких порід.

Міцність мерзлих порід збільшується зі збільшенням вологості (льодистості), але до певної межі: приблизно до такої, що відповідає повному насиченню пор водою. При подальшому збільшенні льодистості міцність починає знижуватися.

3.3.4. Фізико-геологічні явища, характерні для областей розвитку багаторічномерзлих порід.

Найважливіші з небезпечних явищ – термокарст, наледі, бугри пучіння, соліфлюкція.

Термокарст. Спостерігається в місцях розвитку викопних льодів або льодистих пухких порід. Має форми, що нагадують карстові (лійки, блюдця, котловини осідання) внаслідок просідання і провалів поверхні. Однак, на відміну від справжнього карсту, ці форми виникають не в результаті вилуговування гірських порід, а внаслідок танення підземних льодів чи відтанення льодистих гірських порід. Завдяки схожості морфологічних форм зі звичайним карстом (але з інших причин) цей процес дістав назву термокарсту.

Причини протанення підземних льодів полягають у зміні кліматичних умов, діяльності людей (вирубування лісу, оранка цілини, меліоративні заходи, гідротехнічне будівництво і т.д.). Генетична класифікація термокарсту запропонована С.П.Качурінім. Всі форми термокарсту він ділить на дві великі групи: а) власне термокарст, який за своїм походженням пов'язаний лише з явищем протанення підземних льодів, і б) термокарст змішаного походження, в утворенні форм якого, крім протанення підземних льодів, беруть участь інші фізико-геологічні процеси: суфозія, просадки в лесових породах тощо.

Морфологічні форми термокарсту досить різноманітні. Звичайною формою є лійки і провали від декількох метрів до кількох кілометрів у поперечнику. Глибина лійок становить від кількох метрів до кількох десятків метрів. Крім вказаних, зустрічаються форми з м'якшим профілем – блюдця і просадкові улоговини. Як правило, всі ці форми зустрічаються великими групами. Майже всі лійки і провали з часом заповнюються водою і перетворюються на озера.

Розвиток термокарсту починається з появи невеликої западини, яка в більшості випадків заповнюється поверхневими або незамерзаючими водами. Акумуляючи значну кількість тепла, вода прискорює розвиток термокарстового процесу, і невелика западина швидко перетворюється в лійку, а потім змінюється обширним провалом. Швидкість росту провалів в ширину часто досягає метрів чи десятків метрів протягом одного літнього сезону. В період активного росту термокарстові форми мають зазвичай великі обривисті схили, зі слідами свіжих зсувів і обвалів, тріщинами і т.д.

Завершення процесу настає при повному витаненні підземного льоду. Вода в озерах майже завжди поступово висихає, на місці термокарсту залишаються чисельні замкнені і напівзамкнені улоговини з плоским дном і невеликими чітко окресленими бортами. Ці форми отримали назву *аласів*. Розміри аласів становлять від 100 м до 2-3 км у плані і 20-40 м за глибиною. Зливаючись між собою, утворюючи складні розгалуження, інколи вони стають шляхами поверхневого стоку і перетворюються в долини (аласоподібні долини). На дні аласів часто зустрічаються багаторічні бугри пучіння.

Наледі (полії) виникають у місцях виходу на денну поверхню підземних вод у вигляді постійних чи тимчасових джерел, а також внаслідок проривань на поверхню озерних, річкових або підземних вод. Внаслідок промерзання таких вод утворюються льодяні натіки – наледі (полії). Залежно від джерела живлення розрізняють: 1) наледі річкові та озерні; 2) ґрунтові, які утворюються за рахунок прориву на поверхню підземних вод (надмерзлотних чи підмерзлотних вод річкових долин); 3) ключові, пов'язані з виходом на поверхню підземних підмерзлотних вод (так звані тарини). Інколи наледі бувають змішаними за своїм живленням. За тривалістю існування вони поділяються на однорічні або багаторічні. На плоских поверхнях утворюються наледі-покрови, на пологих схилах – наледі-пательки, на крутих схилах – наледі висячі. Розміри наледей складають від кількох десятків м² до кількох тисяч і навіть десятків тисяч м².

Річкові наледі утворюються на всіх річках, які промерзають і не промерзають до дна. Причина їх утворення – промерзання річок, яке в області поширення багаторічномерзлих порід відбувається не лише згори, але й знизу. При цьому ще незамерзла вода опиняється під дією значного гідростатичного тиску. Вода проривається на поверхню, проламуючи лід або шар мерзлих порід біля берегів річки. Розливаючись по поверхні і промерзаючи, вода утворює наледі – льодяні бугри висотою до 2–5 м, діаметром до 50-100 м.

Ґрунтові наледі надмерзлотних вод діють зазвичай тільки на початку зими і утворюються найчастіше в долинах річок біля подошви схилів та в різних улоговинах і

пониженнях. Досить часто наледі цього типу утворюються поряд з побудованими спорудами, особливо дорогами (невеликі нальоди). Грунтові нальоди, пов'язані в долинах річок з таликами, часто формуються всю зиму і досягають середніх та великих розмірів. Процес їх утворення близький до процесу утворення наледей на річках. Відмінність полягає тільки в тому, що перемерзає в цьому випадку не живий переріз річки, а товща водоносних порід сезоннотанучого шару. Проривання води на денну поверхню зазвичай спостерігається там, де потік ґрунтових вод виявляється найбільш стисненим глибоким промерзанням товщі порід з поверхні. Такими місцями часто бувають автодороги: очищене від снігу дорожнє полотно промерзає на значну глибину і швидше, ніж навколишня місцевість. Це створює перешкоди на шляху підземних вод, які часто прориваються на денну поверхню, заливають дорожнє полотно і призводить до утворення наледей з нагірного боку дороги.

Для боротьби з такими наледями часто влаштовують так звані мерзлотні пояси. Ідея полягає в тому, щоб відсунути наледь, яка утворюється, подалі від дороги. Для цього з нагірного боку канави влаштовується широка неглибока канава. Ґрунт під канавою швидко промерзає і утворює перетинку, яка перегороджує шлях воді, що фільтрується. Це викликає утворення нальоді вище над дорогою. Мерзлотний пояс регулярно очищають від снігу взимку і вкривають теплоізоляційним матеріалом влітку.

Для боротьби з великими наледями застосовується снігоутримання та інші заходи, які зменшують глибину промерзання порід на налідній ділянці (скидання теплих вод, утеплення порід сніговими голками і т.п.).

Бугри пучіння. Утворення ін'єкційних льодів пов'язане з прориваннями в товщу порід підземних вод, які перебувають у період промерзання під значним гідростатичним тиском. Часто внаслідок цього утворюються бугри пучіння. Вони можуть бути сезонними й багаторічними. Сезонні часто зустрічаються в районах з пересіченою місцевістю: біля підніжжя схилів, у долинах невеликих річок і т.п., де вони виникають внаслідок промерзання потоків ґрунтових вод. У рівнинних місцях бугри пучіння зустрічаються рідко. Висота багаторічномерзлих бугрів не перевищує 2-3 м. В літній період сезонні багаторічномерзлі бугри пучіння піддаються частковому або повному руйнуванню. Починається воно з протанення вершинної частини бугра, внаслідок чого покрівля бугра провалюється і в його центрі утворюється невелике термокарстове озерце.

Багаторічномерзлі бугри пучіння утворюються в місцях розвитку постійних таликів (під річками та озерами) або на виходах підземних вод. Вони мають великі розміри: висотою до 20-25 м, інколи до 40 м і називаються вони гідролаколітами. У діаметрі вони досягають десятків, інколи сотень метрів. Інколи ядра гідролаколітів складаються з чистого льоду, інколи – з льодонасичених пухких порід. Потужність покрівлі бугрів часто досягає 5-8 м.

Термоабразія берегів водоймищ. Це поєднання процесів абразії й теплового руйнування порід внаслідок їх відтанення, яке відбувається на берегових схилах. Термоабразія найчіткіше виражена там, де гірські породи, що складають берегові схили, містять великі включення льоду. У процесі термоабразії значну роль відіграє утеплювальна дія річкових, озерних чи морських вод, які в літній період нагріваються до позитивної температури. Стикаючись з гірськими породами берегів, нагріваючи і розмиваючи їх, хвилі утворюють ніші, які поступово поглиблюються, розширюються і утворюють береговий укіс. Швидкість термоабразії залежить від морфології, будови берегових схилів, ступеня льодистості порід, характеру хвилювань і прибережних течій. Смуга термоабразії досягає ширини від 1-3 до 40 і більше метрів за рік.

Соліфлюкція. Це процес переміщення по схилах водонасичених пухких відкладів внаслідок значної дії сили тяжіння і процесів, пов'язаних з промерзанням і відтаненням порід. Основна причина соліфлюкційних зрушень – перезволоження пухких порід, що переводить їх у текучу консистенцію. Цьому сприяє водотрив із багаторічномерзлих порід, який залягає на невеликій глибині. При значних нахилах поверхні ($7-10^0$) весь шар відтанення зміщується як єдине ціле і утворюються спливання, що нагадують зсуви. Вони можуть мати раптовий характер і значну швидкість. При малих нахилах поверхні ($2-5^0$) рух

набуває характеру повільної в'язкої течії, що охоплює одночасно великі площі схилів. Загальна потужність шару, що перебуває в русі, не перевищує 0,2-0,5 м. Породи, які зміщуються, утворюють у нижній частині схилу похилі натічні тераси.

Поширеною формою соліфлюкційних зміщень є також *земляні потоки*. Ці форми утворюються в результаті повільного пересування дрібнозему вздовж невеликих улоговин, які прорізають поверхні схилів.

3.3.5. Деформація споруд внаслідок явищ промерзання і відтанення.

В області розвитку талих ґрунтів все навантаження від споруди приймає на себе ґрунт під фундаментом. Ті ж ґрунти, що торкаються бокових граней фундаментів, ніяких напружень не відчувають. При замерзанні ґрунтів картина міняється. Ґрунти, що оточують фундаменти, міцно змерзаються з їхніми боковими гранями. В результаті напруження передаються від основи не лише через підшву, але й через бокові грані фундаментів.

В умовах нормальної роботи фундаментів всі зусилля, що передаються від споруди на основу, компенсуються реакцією основи. В процесі ж пучіння на фундамент починає діяти додаткова сила випучування, спрямована, як і реакція основи, вгору. Якщо величина сили випучування перевищить сумарну величину тиску, який передається на основу, і сили змерзання ґрунту з фундаментом, то буде спостерігатися явище пучіння, яке може призвести до деформації споруди.

При однорідному фундаменті випучування по всьому периметру матиме приблизно однакову величину, і це добре для споруди. При неоднорідній основі неминучим є нерівномірне пучіння і поява в фундаментах небезпечних напружень, які викликають утворення тріщин та інші деформації. Основні заходи боротьби з пучінням у промисловому і цивільному будівництві наступні:

- 1) осушення ґрунтів шляхом відведення поверхневих і зниження рівнів ґрунтових вод (відкриті і закриті дренажі);
- 2) утеплення ґрунтів біля фундаментів за допомогою теплоізолюючого відмощення або штучного обігрівання;
- 3) збільшення навантаження на фундаменти і питомого тиску на їх бокову поверхню;
- 4) застосування протипучинних засипок у котлованах біля фундаментів з матеріалів, які не піддаються пучінню (гравій, галька);
- 5) посилення анкерування фундаментів (закладання фундаментів у товщу багаторічномерзлих порід, розширення фундаментної подушки тощо);
- б) збільшення жорсткості конструкцій споруд.

Якщо ґрунти переходять із мерзлого стану в талий, то осідання споруд можуть мати катастрофічний вигляд. Тут розрізняють два види деформацій: а) осадку витанення, що відбувається лише в результаті витанення льоду; б) осадку обтискання, яка відбувається в результаті ущільнення ґрунту під впливом його власної ваги і додаткових навантажень від споруди. На практиці майже завжди спостерігаються обидва види деформацій.

3.3.6. Особливості інженерно-геологічних досліджень в умовах розвитку багаторічномерзлих порід.

Головними завданнями інженерно-геологічних досліджень в районах поширення багаторічномерзлих порід є:

1. Встановлення наявності й типу багаторічномерзлих порід у площинному і вертикальному поширенні.
2. Визначення глибини залягання верхньої межі багаторічномерзлої товщі і характерних потужностей шарів сезонного промерзання і відтанення.
3. Визначення в окремих випадках потужності багаторічномерзлих порід.

4. Встановлення температурного режиму товщі мерзлих порід на необхідну глибину (залежно від будови мерзлої товщі і виду будівництва).

5. Вивчення структури і текстури мерзлих порід, наявності, умов залягання і типу підземних льдів.

6. Вивчення фізико-механічних властивостей мерзлих порід у замерзлому стані і після відтанення.

7. Встановлення характеру і поширення явищ, пов'язаних з промерзанням-відтаненням, і таких, що становлять небезпеку (наледі, бугри пучіння, термокарст, соліфлюкція тощо).

8. Вивчення залежності мерзлотних умов від географічної обстановки (рельєф, ґрунтовий і рослинний покрив), геологічної будови і гідрогеологічних умов району досліджень.

3.3.7. Умови будівництва в районах розвитку багаторічномерзлих порід.

Для попередження небезпечних деформацій тут застосовують декілька методів будівництва. Вибір методу залежить від геоморфологічних, геологічних, гідрологічних, кліматичних і мерзлотних умов будівельного майданчика, властивостей ґрунтів основи, а також від характеру забудови, температурного режиму споруд і т.п.

Згідно з будівельними нормами рекомендуються наступні методи будівництва: 1) без врахування вічномерзлого стану ґрунтів основи; 2) зі збереженням вічномерзлого стану ґрунтів протягом всього періоду існування споруди; 3) з можливістю відтанення ґрунтів у процесі будівництва і експлуатації споруди; 4) з попереднім відтаненням мерзлих ґрунтів до закладення фундаменту.

Перший метод може застосовуватися у випадках, коли основою споруд на всю глибину відтанення є скельні і напівскельні породи. Вони не повинні мати значних тріщин, заповнених льодом або мерзлим ґрунтом. Крім того, цей метод застосовується, якщо в основі споруд на всю глибину відтанення залягають всі види малостисливих порід, що підстеляються скельними ґрунтами.

Другий метод застосовується для будівель, що не опалюються, а також для споруд, що опалюються або виділяють тепло, із застосуванням заходів по збереженню вічномерзлого стану ґрунтів основи. Цей метод використовується головним чином у тих випадках, коли мерзлі ґрунти мають велику потужність (більшу від 15-20 м) і стійкий температурний режим, а споруда не виділяє великої кількості тепла. Тоді все обходиться без складних конструктивних рішень і без суттєвих витрат. При застосуванні другого методу глибина протанення залишається меншою від глибини закладання фундаментів. Для збереження мерзлого стану ґрунтів застосовуються спеціальні охолоджувальні пристрої, які використовують головним чином холодне зовнішнє повітря. Це можуть бути відкриті підпілля чи вентиляційні канали. Крім того, при будівництві споруд, що опалюються, застосовуються також спеціальні конструкції підлоги і стін (прокладки з теплоізолюючих матеріалів), влаштування захисту від поверхневих і підземних вод.

Третій метод використовують для споруд, які опалюються і виділяють тепло, якщо визначені розрахунком осідання за величиною і нерівномірністю (перекос, крен, прогин), а також швидкістю не перевищують допустимих величин. Цим методом користуються переважно у випадках, коли збереження мерзлого стану порід є технічно неможливим або ж економічно не вигідним (нестійкий термічний режим мерзлих ґрунтів, споруди з великою кількістю тепла і т.п.). Фундамент закладається в товщу мерзлих ґрунтів, але в процесі будівництва чи експлуатації ґрунти частково відтають. При цьому виникає небезпека значних нерівномірних осідань: а) під впливом нерівномірного відтанення ґрунтів; б) через нерівномірну стисливість ґрунтів після відтанення. Цей метод вимагає спеціальних конструктивних заходів, тому його ще називають конструктивним (збільшують жорсткість конструкції залізобетонними перекриттями, поясами, армуванням стін тощо).

Четвертий метод застосовується, якщо нерівномірне відтанення основи при її експлуатації є неприпустимим і недоцільним є застосування заходів по збереженню багаторічно мерзлого стану. Суть методу полягає в штучній зміні умов будівництва і наближенні їх до умов, що панують в районах поширення звичайних талих ґрунтів. Це досягається тим, що ґрунти після відтанення піддаються ущільненню за допомогою спеціальних заходів (осушення відталого масиву дренаванням і водопонижувальними установками, ущільнення ґрунтовими палями і т.д.). Для протанення ґрунтів може використовуватися сонячне тепло, нагріта вода чи тепло від електроенергії, пари і т.п.

Запитання для самоконтролю.

1. Дайте означення поняттям «мерзла порода» і «морозна порода».
2. Поясніть будову товщі багаторічно мерзлих порід.
3. За яких умов у товщі мерзлих порід виникають талики?
4. Якими є типи текстур мерзлих гірських порід?
5. Назвіть основні типи підземних льодів у гірських породах.
6. Як впливають температура і тиск на зледеніння гірських порід?
7. Що таке морозне пучення? Якими є його форми?
8. Назвіть фізико-геологічні явища, характерні для районів багаторічної мерзлоти.
9. Які заходи вживають для протидії морозному пученню гірських порід?
10. Назвіть головні завдання інженерно-геологічних досліджень в районах розвитку багаторічно мерзлих порід.

3.4. Діяльність вітру (еолові процеси).

Під еоловими розуміють процеси перевіювання піщаних або пилюватих порід, їх перенесення і акумуляцію під дією вітру. Вітри, які дмуть з різною силою, здатні переносити тверді частки на більш-менш значну відстань. Відомі, наприклад, періодично діючі африканські вітри: самум (по-арабськи «отруйний») і хамсін («вітер, що дме 50 днів»). Вони супроводжуються справжніми піщаними бурями, які переносять частинки піску і пилу на сотні кілометрів. Такі вітри відомі і в інших частинах світу: новоросійська бора, каспійська моряна, французський містраль, чинук схилу Скелястих гір в Африці та ін. Вони виникають на обширних просторах Середньої Азії в пустелях Каракуми, Кизилкум і Муюнкум, у Прибалхашші, Прикаспії. У менших масштабах ці процеси відбуваються і в деяких районах України.

Геологічне значення еолових процесів досить велике. Академік Л.С.Берг пише: «За одну березневу ніч 1927 р. у Пекіні випало під час пилової бурі кількість пилу, яка оцінюється в 43 тони на 1 км²». Еолові процеси наносять велику шкоду, піски засипають сади і поля, заносять населені пункти і дороги; руйнують дамби й насипи, видувають трубопроводи і т.п. Вони ускладнюють будівництво, подовжують його терміни. Еолові процеси призводять до утворення специфічних форм рельєфу: барханів, барханних ланцюгів, гряд, дюн, купчастих і бугристих пісків.

Будова еолових форм рельєфу визначається: 1) гранулометричним складом пісків; 2) станом піску в масиві; 3) напрямком, швидкістю і тривалістю дії вітру.

Гранулометричний і мінеральний склад еолових пісків є в значній мірі показником ступеня рухомості пісків. Багато дослідників вказують на те, що багаторазово перевіяні піски відзначаються доброю відсортованістю і однорідністю мінерального складу. У таких пісках переважають (до 90-95%) дрібна і тонка фракції (0,25-0,05 мм) і головним чином кварц. Причому, дрібні частки злегка цементують більш крупні фракції пісків, а поверхня зерен буває відшліфованою

3.4.1. Інженерно-геологічні дослідження еолових процесів.

Під час таких досліджень розв'язуються наступні завдання:

1. Визначення характеру, інтенсивності і напрямку розвитку еолових процесів.
2. Виявлення і оконтурення ділянок, складених рухомими пісками, а також ділянок, небезпечних щодо поновлення процесів перевіювання при виконанні будівельних робіт (будівництво котлованів, планування території і т.п.).
3. Вивчення складу і фізико-механічних властивостей різних типів еолових утворень (гранулометричного складу, природної пористості, можливості ущільнення при динамічних навантаженнях).
4. Вибір найраціональніших заходів боротьби з перевіюванням пісків (щити, фітомеліоративні заходи, штучні покриття і т.п.).

Інженерно-геологічна оцінка території розвитку рухомих пісків виконується за допомогою таких методів досліджень.

1. Збір і обробка детальних кліматичних даних, особливо стосовно вітрового режиму даного району. Такі дані отримуються від розташованих поблизу метеорологічних станцій.
2. Інженерно-геологічна зйомка, найчастіше велико- або середньомасштабна. При вивченні рухомих пісків виділяються типові форми рельєфу різного ступеня рухомості пісків: бархани, барханні ланцюги, бугристі, грядові, купчасті і рівнинні піски. Поряд з цим виділяються й ретельно картуються форми рельєфу неолового походження. Одночасно зі зйомкою ведуться геоботанічні спостереження, виконується гербаризація і видові визначення рослин, які є показниками ступеня рухомості пісків. Визначається щільність травостою, розподіл рослинних асоціацій за щільністю і т.д. (необхідні консультації з геоботаніками).
3. Картувальне буріння або проходка інших легків типів гірничих виробок. Найчастіше ці виробки бувають мілкими і служать для: а) визначення потужності піщаних товщ; б) визначення положення покрівлі порід, що підстилаються пісками; в) складання геологічних розрізів; г) виявлення гідрогеологічних умов; д) відбору проб порід для вивчення фізико-механічних властивостей.
4. Лабораторне визначення досить широкого комплексу властивостей порід. Визначаються: гранулометричний, мінеральний і сольовий склад; природна пористість, вологість, водопроникність, кут природного укусу, висота капілярного підняття, здатність пісків ущільнюватися під дією динамічного навантаження.

3.4.2. Заходи боротьби з рухомими пісками.

Для протидії рухомих піскам застосовуються різні методи. Найбільш ефективним раніше вважався метод закріплення пісків рослинністю (фітомеліоративний метод) з попереднім створенням різного роду механічних заходів. Для площинного закріплення підходять механічні захисти у вигляді щитів, огорож із очерету, хмизу та інших матеріалів, які розташовуються паралельними рядами або в клітинку. Вони знижують швидкість вітру, зменшують можливість переміщення пісків і тим самим створюють умови для висівання трав, насаджень деревно-чагарникової рослинності тощо.

В якості профілактичного заходу рекомендовано збереження рослинного і дернового покриву. Вздовж доріг влаштовують лінійні механічні захисти, але терміни їх дії обмежені: накопичення піщаного матеріалу біля захистів іде безперервно, і система вресіт-решт стає неефективною. Досить ефективними, але вартісними є методи фізичного і хімічного закріплення пісків: торфування, глинування, бітумування і силікатизація; метод гранулометричних добавок. Для вибору найдоцільніших і ефективних заходів боротьби з еоловими процесами необхідно провести комплекс досліджень.

Запитання для самоконтролю.

1. Які процеси зветься еоловими?

2. Від чого залежить будова еолових форм рельєфу?
3. За яким напрямками виконуються інженерно-геологічні дослідження еолових процесів?
4. Якими методами оцінюється територія розвитку рухомих пісків?
5. Назвіть заходи боротьби з еоловими процесами.

3.5. Діяльність поверхневих вод.

3.5.1. Площинний змив і струменева ерозія.

Дошові води, а також води, що утворюються за рахунок танення снігу й льоду, стікають по поверхні схилів у вигляді дрібних струминок. Жива сила таких струминок початково невелика. Тому на добре задернованих схидах дошові чи снігові води не можуть виконувати якоїсь помітної руйнівної роботи. Інша картина спостерігається на оголених схилах. Тут такі води легко змивають з поверхні продукти вивітрювання, починаючи з дрібних глинистих і пилюватих часток і до піщинок і дрібного щебеню; найдрібніші переносяться у зваженому стані, більші перекочуються водою. Такий процес називається *площинним змивом* або *делювіальним процесом*. Змиті з поверхні схилу частки відкладаються біля підніжжя або в нижній частині схилу, утворюючи делювіальні відклади, або делювій. Великі уламки породи переміщуються донизу не тільки живою силою струминок води, але й під впливом власної ваги. В цьому випадку біля підніжжя схилів утворюються змішані делювіально-гравітаційні відклади (вони відрізняються від звичайного делювію високим вмістом великоуламкового матеріалу).

Часто площинний змив відбувається на схилах, вкритих родючими ґрунтами, що призводить до їх руйнування і змивання. Такий процес називається *площинною ґрунтовою ерозією*. Під цим терміном зазвичай розуміють руйнівний вплив не тільки снігових і дошових вод, але й вітру. Тому говорять про водну ґрунтову ерозію і втраву ґрунтову ерозію.

Під час сильних злив на крутих довгих схилах окремі струмені об'єднуються у маленькі струмки. Струмки прорізають на поверхні схилів невеликі рівчаки чи промоїни глибиною в декілька десятків сантиметрів. Таке явище називають струменевим розмивом або *струменевою ґрунтовою ерозією*. Ґрунтова ерозія може розвиватися на схилах, що перебувають у природному стані (тоді це нормальна або ж геологічна ерозія), або на змінених господарською діяльністю людини (тоді це прискорена або ексцесивна ерозія).

Швидкість розвитку ґрунтової ерозії залежить від рельєфу місцевості, інтенсивності випадання опадів і стійкості ґрунтів. Найбільшу стійкість відносно ерозії мають чорноземні родючі ґрунти, а інші ґрунти (каштанові та ін.) розмиваються значно легше. Найбільш інтенсивним змив ґрунтів буває у весняний період, коли ґрунти відтають з поверхні, а підстеляючий шар залишається мерзлим і відіграє роль водотриву. У цьому випадку верхній шар ґрунту при насиченні водою переходить у текучий, розріджений стан і місцями спливає у вигляді грязьових потоків.

У теплу пору року ерозія ґрунтів викликається дощами. При цьому особливо руйнівні наслідки спричиняють зливи. Змиваються не тільки тонкі частинки, а й великі ґрунтові агрегати. На розораних, незахищених рослинністю схилах утворюються чисельні промоїни і розмиви. Дуже сильні одноразові зливи можуть викликати таке ж сильне руйнування ґрунтового покриву, яке відбувається внаслідок періодичного стікання талих вод протягом 10-20 років. Тому зливне змивання становить собою найбільшу небезпеку.

Закономірності у розвитку процесу ґрунтової ерозії виявляються на підставі спеціальних польових обстежень. Тут повинні фіксуватися всі морфологічні чи інші ознаки, що вказують на характер і інтенсивність процесу ерозії (кількість і розміри промоїн після

чергового дощу або сніготанення, відклади розмитого матеріалу у нижній частині схилів, наявність і розміри грязьових потоків і т.д.). Одночасно вивчається геологічна будова схилів, характер ґрунтового покриву, рельєф місцевості, рослинність і т.д.

Для наближеного кількісного обчислення розмірів ґрунтової ерозії застосовується розрахунок об'єму промоїн, який припадає на одиницю поверхні землі. Для точніших оцінок застосовуються повторні нівелювання спеціально виділених для цієї мети дослідних майданчиків, розташованих у різних природних умовах. Основа боротьби з ґрунтовою ерозією – застосування спеціальних сівозмін, внесення в родючі шари ґрунтів органічних і мінеральних добрив, регулювання поверхневого стоку, створення полезахисних лісосмуг і т.п.

3.5.2. Яругоутворення.

В результаті струменевого розмиву на схилах виникають неглибокі промоїни, які часто дають початок утворенню ярів. Вода, що стікає по промоїні, утворює невеликий струмок, жива сила якого виявляється вже достатньою не тільки для змивання пухких продуктів вивітрювання, але й для розмиву щільніших порід, що залягають нижче. Зливна діяльність води змінюється розмивною або власне ерозійною.

У розвитку ярів виділяється декілька стадій.

Перша стадія розвитку яру – утворення промоїни глибиною 30-50 см, інколи глибше. Її поперечний профіль спочатку трикутний, а при подальшому розвитку стає трапецієвидним.

Друга стадія – врізання висячого яру своєю вершиною – починається з моменту утворення вершинного перепаду або обриву. Висота обриву у вершині зазвичай становить 2-10 м, інколи (в лесових породах) – 12-25 м. Далі яр розростається знизу вгору, тобто в напрямку, зворотньому течії води в яру. Це явище дістало назву *регресивної ерозії*. Одночасно з ростом яру відбувається його подальше заглиблення. Устя яру в цій стадії часто є “висячим”, тобто розташовується набагато вище від місцевого базису ерозії (базисом ерозії називається рівень, нижче від якого текуча вода вже не може виконувати розмивної роботи). Для тимчасових водотоків, що течуть по дну ярів і балок, базисом ерозії є у більшості випадків рівень озер або річок, у які вони впадають, а для річок – рівень більших рік, притоками яких вони є, чи рівень морів або океанів. Глибина яру в цю стадію розвитку досягає 25-30 м. Схили яру круті, обривисті і нестійкі.

Третя стадія – вироблення профілю рівноваги – починається з моменту, коли устя яру врізається до рівня місцевого базису ерозії (рівня річки, поверхні тераси чи дна балки). Поздовжній профіль яру набуває форми плавної кривої, що приблизно відповідає профілю рівноваги. При цьому відбувається подальше поглиблення і розширення яру. Схили ярів ще зберігають круті, обривисті форми, але в основі схилів уже починає формуватися осип, який поступово розростається вгору по схилу і вкривається рослинністю.

Четверта стадія – затухання процесу яругоутворення – починається після виробки яром профілю рівноваги. Подальший ріст яру і його заглиблення припиняється. Яр розширюється, а його дно вкривається яружним алювієм. Схили яру повністю ховаються під покривом делювію і осипами, виположуються і на них формується нормальний ґрунтовий покрив. У цю останню стадію життя яру його зазвичай називають *балкою*. Процеси яругоутворення повністю затухають. Нове пожвавлення цих процесів може відбутися при порушенні природної рівноваги і перш за все при зниженні місцевого базису ерозії.

Наведена послідовність розвитку ярів є тільки схемою, яка може змінюватись під впливом місцевих природних умов: рельєфу, кліматичних умов, геологічної будови і гідрогеологічних умов, рослинного покриву і т.д.

Вплив клімату складний і багатогранний. Найінтенсивнішим ріст ярів повинен, здавалося б, бути в районах з вологим кліматом і великою кількістю опадів, що забезпечують значний поверхневий стік. Однак вологий клімат сприяє розвитку рослинності,

яка перешкоджає яругоутворенню. Тому в деяких районах з напівпустельним кліматом розвиток ярів відбувається швидше.

Характер рельєфу впливає на яругоутворення таким чином, що чим глибшими є місцеві бази ерозії (більше перевищення вододілів над рівнями рік, озер чи моря), тим більший руйнівний характер мають водні потоки і тим швидше відбувається ріст ярів.

Великий вплив на утворення ярів справляє характер гірських порід, що виходять на поверхню, і в першу чергу їх розмивність. Найлегше розмиваються леси і лесоподібні суглинки, дещо важче – покривні суглинки, ще важче – щільні моренні глини і суглинки, найважче – різні напівскельні і скельні породи. Піски розмиваються порівняно легко, але яри утворюються в них рідко, тому що поверхневий стік розвинений тут слабо.

Гідрогеологічні умови помітно впливають на швидкість росту ярів у місцях неглибокого залягання ґрунтових вод. В цьому випадку ґрунтові води дрениуються яром і утворюють на його дні постійний водотік, який своєю еродуючою діяльністю значно прискорює ріст яру. З виходами підземних вод у схилах ярів часто пов'язані зсуви і суфозійні явища, що сприяють розширенню яру і виположуванню його схилів.

Яругоутворення наносить великі збитки сільському господарству і ускладнює дорожнє будівництво. Інколи яри дуже заважають міському будівництву, тому що віднімають корисну площу і ускладнюють влаштування міських комунікацій. Ріст старих і поява нових ярів загрожують будівлям. Тому інженерно-геологічне вивчення процесів яругоутворення повинно включати як оцінку вже існуючої яружно-балкової мережі, так і розв'язання питань можливості утворення нових і росту старих ярів. Дослідження повинні включати топографічні, гідрологічні і інженерно-геологічні роботи. Останні полягають у виконанні інженерно-геологічної комплексної зйомки і веденні стаціонарних спостережень.

Інженерно-геологічна зйомка виконується в різних масштабах. На картах повинні відображатися: а) всі зовнішні ознаки, що відображають динаміку процесу яругоутворення; б) всі природні фактори, що впливають на розвиток процесів яругоутворення.

Боротьба з яругоутворенням повинна полягати в першу чергу в усуненні причин, які викликають виникнення і розвиток ярів. Для цього необхідно застосовувати широкий комплекс агротехнічних, лісомеліоративних і гідротехнічних заходів (лісонасадження, регулювання поверхневого стоку і т.д.).

На першій стадії боротьба зводиться до вирівнювання промоїн, заліснення чи засівання схилів багаторічними травами, в окремих випадках – до укріплення дна ярів. На другій стадії боротьба ускладнюється. Основні заходи зводяться до того, щоб не допустити воду до вершини яру (за допомогою валів і каналів) і укріпити його вершину і дно (за допомогою лотків і перепадів). На третій стадії заходи зводяться головним чином до боротьби з боковою ерозією, сповзанням і обрушенням схилів яру. Для цього застосовується планування, терасування схилів, закріплення схилів. На останній стадії боротьба зайва, тому що процес яругоутворення повністю затухає.

3.5.3. Діяльність річок.

На своєму шляху ріки виконують велику геологічну роботу, що полягає в розмиванні, перенесенні і відкладенні матеріалу. Розмивання (ерозія) здійснюється головним чином безпосередньо динамічною дією води на гірські породи, які складають дно й береги русла річки. В районах розвитку міцних скельних порід велике значення має також стирання гірських порід за допомогою валунів, гальки та дрібнішого матеріалу, що переноситься водним потоком. Таке явище називають *коразією*. Вода справляє розчинну дію на підстеляючі породи, інколи досить значну, що називається *корозією*. Руйнівна робота річок полягає, нарешті, в перетиранні самого матеріалу, що переноситься річкою, який подрібнюється в міру пересування від витoku до гирла.

Весь матеріал, утворений в результаті розмивання руслових порід, переноситься водним потоком вниз за течією і або виноситься в море, або знову відкладається в долині

річки. Перенесення може здійснюватися різними способами: у розчиненому, зваженому стані, а також шляхом перекочування по дну. Дослідження показали, що розмір уламків, які можуть переноситися водою, пропорційній величині швидкості течії, піднесений до шостого ступеня. Швидкість же течії, як відомо, пропорційна поздовжньому ухилу русла річки. Тому гірські річки, що мають великі ухили і швидкості течії, можуть переносити (шляхом перекочування) дуже великий уламковий матеріал. Сюди входять брили і валуни діаметром у кілька десятків см і навіть декілька метрів. Рівнинні річки переносять лише дрібніший глинистий, мулистий і піщаний матеріал. Близько 25-30% всього матеріалу переноситься річкою в розчиненому вигляді.

Розмивна (еродуюча) і акумулятивна діяльність ріки протікає паралельно й одночасно; вона є ніби двома сторонами діяльності водного потоку. Однак співвідношення між цими обома видами діяльності поступово змінюється у процесі розвитку річки.

На першій стадії свого життя річка відзначається невеликою довжиною, значними й нерівномірними поздовжніми ухилами, великою швидкістю течії. Часто на цій стадії ріки багаті водоспадами і порогами, які в той же час з'єднуються між собою спокійні озерні плеса. Поперечний профіль долини V-подібний, дно майже повністю зайняте водним потоком, береги річки невисокі, але круті і обривисті. В цей період робота річки зводиться в основному до посиленої глибинної ерозії і знесення матеріалу в морський чи озерний басейн або в іншу річку. Піщаний і гальковий матеріал, який в період спаду води відкладається в її руслі, в період паводку знову зміщується вниз за течією.

В результаті інтенсивного розмивання долина поступово росте в своїх верхів'ях (регресивна ерозія) і глибше врізається в поверхню схилу. В нижній течії врізання долини обмежене рівнем базису ерозії, нижче від якого розмивна діяльність води неможлива. Тому поздовжній профіль ріки в районі гирла поступово виположується, швидкість течії зменшується і глибина ерозії уповільнюється. Ріка починає меандрувати й підмивати берегові схили – посилюється бокова ерозія. Схили долини поступово відступають, і поперечний профіль долини набуває U-подібної форми. При зміщенні русла на залишеній від нього території починає відкладатися русловий алювій, представлений переважно великоуламковим матеріалом.

У верхів'ях ріки в цей період поздовжні ухили і швидкості течії залишаються ще значними, тому і ріка там продовжує в основному поглиблення русла (глибинна ерозія). Однак з часом, в міру відступання витоків річки, ділянки з виположеним профілем також пересуваються все далі вгору за течією річки. В решті-решт на всьому шляху річки створюється профіль, який відповідає умовам рівноваги між живою силою потоку і наносами, що зносяться рікою. Це так званий *профіль рівноваги*.

Особливо інтенсивно бокова ерозія відбувається в період паводків (весняних або внаслідок літніх злив), коли швидкість течії води в річці досягає максимуму (від 1,5 до 3,5 м/с). Швидкість розмивання берегів залежить і від характеру порід, що їх складають. У легкорозмивних породах (пісках, лесах, лесоподібних суглинках) вона може вимірюватися декількома десятками сантиметрів і навіть метрами за добу. Одночасно з розмиванням відбувається перенесення матеріалу і відкладення алювіальних товщ. Формується алювіальна світа нормального профілю з чітко вираженими трьома групами фацій – русловою, заплавною і старичною. Русловий алювій складає нижню частину світи – фундамент заплави; заплавної алювій – верхню частину заплави, її покрив.

Такою є в загальних рисах картина розвитку річки. Однак фактично крива рівноваги в природі ніколи не досягається (як уже говорилося, для цього необхідна рвновага між живою силою потоку, яка визначається витратами річки, і швидкістю течії з одного боку, і кількістю та розмірами транспортованого рікою твердого матеріалу з іншого боку). Досить змінитися ухилу річки (наприклад, в результаті тектонічних рухів), кількості води, що надходить у річку, або ж кількості наносів, які переносить річка (через інженерну діяльність людини), як рівновага порушується і починається або процес посиленого розмивання, або процес посиленої акумуляції.

Запитання для самоконтролю.

1. Дайте характеристику явищам площинного змиву і струменевої ерозії.
2. Поясніть особливості кожної стадії утворення яру.
3. Що називається регресивною ерозією?
4. Назвіть основні природні й штучні чинники впливу на яругоутворення.
5. Які методи застосовуються для вивчення процесів яругоутворення?
6. Вкажіть заходи протидії яругоутворенню.
7. Яку роботу виконує річка на своєму шляху?
8. Охарактеризуйте стадії розвитку річки.
9. Що називається профілем динамічної рівноваги?

3.5.4. Формування берегів природних і штучних водоймищ.

Води природних водойм (морів і озер) руйнують береги, переносять продукти руйнування і відкладають їх разом з матеріалом, що виноситься річками, здимається вітрами, у вигляді морських і озерних осадків. Руйнівна робота води в цьому випадку отримала назву *абразії* (морської або озерної). Під час руйнування порід велику роль відіграє як коразія (стирання скель уламками порід, що перекочуються хвилями), так і корозія (розчинна дія води). Поступово стирається і сам уламковий матеріал, що утворився при руйнуванні берегів.

Значення процесів руйнування та акумуляції залежить від рельєфу поверхні, в якій формується береговий профіль. При цьому головну роль відіграє ухил поверхні, тому що він визначає характер витрат енергії хвиль. Якщо підводний схил має значну крутизну, то хвилі, проходячи над ним, порівняно мало витрачають свою енергію і досить інтенсивно впливають на породи надводної частини схилу. В цьому випадку руйнівна діяльність хвиль досягає свого максимуму, і формується так званий *абразійний береговий профіль*.

Якщо ж підводний схил пологий, то енергії, що дійшла до берега, вже виявляється недостатньо для його руйнування. Її вистачає тільки на переміщення наносів до берега і відкладення їх на пляжі і підводній частині схилу. В цьому випадку формується так званий *акумулятивний береговий профіль*.

З інженерно-геологічної точки зору великий інтерес становить формування абразійного берегового профілю, тому що цей процес пов'язаний з руйнуванням берегових схилів і може загрожувати спорудам. Основний активний фактор формування абразійного берегового профілю – це хвилювання. Сила удару хвилі під час шторму в океані досягає значної величини. Відмічалася сила удару на берегах до 30 т/м², зрідка до 60 т/м². Енергія морської хвилі висотою 6 м становить близько 360 тис. кг·м на кожний погонний метр хвилі. Якщо врахувати, що морські хвилі несуть із собою пісок, гравій, інколи крупну гальку, то зрозуміло, що перед руйнівною силою морських хвиль не можуть встояти протягом тривалого часу найміцніші гірські породи.

Інтенсивність абразії визначається комплексом факторів: висотою і напрямком хвиль, розміром припливів і відпливів, швидкістю прибережних течій, конфігурацією і рельєфом берегової зони і геологічною будовою берегових укосів. Висота хвиль, в свою чергу, залежить від розмірів басейну, напрямку і сили панівних вітрів, глибини прибережних зон. У відкритому океані висота хвиль становить 1,5-4,5 м, але під час сильних штормів може досягати 12-15 м. В морських басейнах висота хвиль досягає 5-6 м.

Велике значення має також напрямок, під яким хвилі підходять до морського берега. При косому підході сила удару хвилі зменшується, але одночасно відбувається бокове переміщення наносів. Часто це призводить до знищення берегової обмілини, яка захищає морський берег від абразії.

Припливи і відпливи можуть досягати значної висоти (до 12 м) і поширення в береги: інколи прибережна смуга, що затоплюється припливом, може мати ширину в декілька кілометрів (наприклад, Пенженська губа (затока) в Архангельській області Російської Федерації). Припливи відкривають доступ морським хвилям до таких ділянок суші, які при нормальному стані води повністю захищені від морської абразії. Позначається також періодичне зволоження і висихання, нагрівання і охолодження гірських порід, що прискорює вивітрювання і полегшує хвилям їх руйнівну роботу.

Форма підводної і надводної частини берегового уступу також впливає на швидкість абразії. Біля крутих берегів хвиля при підході до берега повністю зберігає свою висоту і вся її енергія витрачається на удар по берегових обривах. Якщо ж хвиля набігає на пологий берег з береговою обмілиною, то нижні шари води затримуються опором дна, а верхні продовжують рухатися вперед. В результаті гребінь хвилі нахилиється вперед і перекидається. При цьому кінетична енергія хвиль виявляється повністю витраченою. Тому навіть досягнувши берегового уступу, хвиля вже не в змозі виконати значну руйнівну роботу.

Велике значення має геологічна будова берегової смуги – літологічний склад і будова порід, їх тріщинуватість і вивітрюваність, а також умови залягання і розмивності.

Г.С.Золотарьов розділяє всі породи за ступенем їх розмивності на 6 груп:

- 1) дуже легкорозмивні – леси і лесоподібні породи;
- 2) легкорозмивні – морські, алювіальні льдовикові піски, погано ущільнені супіски й суглинки;
- 3) середньорозмивні – дрібні галечники, морські пластичні глини, моренні валунні суглинки;
- 4) слабкорозмивні – щільні морські глини, великі галечники, зсувні масиви з напівскельних порід;
- 5) важкорозмивні – мергелі, опоки, аргіліти, м'які пісковики та інші напівскельні породи;
- б) практично нерозмивні породи – міцні пісковики, вапняки і доломіти, вивержені і метаморфічні породи.

Така класифікація може служити тільки для попередніх оцінок, тому що в ній не враховано багато геологічних чинників.

Істотний вплив на швидкість абразії справляють умови залягання порід. За інших однакових умов абразія протікає інтенсивніше в породах, що залягають горизонтально або з невеликим падінням від берега в бік моря. Абразійний процес супроводжується поступовою переробкою берегового профілю. Під впливом абразії береговий уступ з часом відступає вглиб континенту, залишаючи за собою абразійну терасу, відслонену або вкриту продуктами руйнування.

Там, де руйнуються пухкі породи, накопичуються переважно піски з різно величиною часток. Якщо ж руйнуються скельні і напівскельні породи, то утворюються галечники. Матеріал, що перекочується хвилями, відкладається біля краю абразійної тераси і утворюється полого обмілина, яка є продовженням абразійного уступу.

В міру відступання берега моря, розширення абразійної тераси і берегової обмілини хвилям доводиться пробігати до берегового уступу все більшу й більшу відстань. Руйнівна діяльність хвиль поступово затухає і зрештою повністю припиняється. Профіль берега набуває в цей період таких обрисів, за яких у будь-якій точці профілю вже не відбувається ні руйнування берега, ні акумуляція матеріалу. Такий стан досягається в той момент, коли вироблені ухили врівноважують розмивну силу хвилювання на всіх ділянках профілю. Такий профіль називають *профілем рівноваги*.

Варто пам'ятати, що профіль рівноваги відповідає тільки певному співвідношенню природних умов (кліматичних, гідрологічних, геологічних). Досить змінитися хоча б одній із умов рівноваги (динамічної), як вона порушується; активізуються процеси абразії і акумуляції, вони видозмінюють профіль берега відповідно до нових умов рівноваги.

Найчастіше причиною порушення рівноваги є тектонічні рухи, які змінюють відносну висоту берега над рівнем моря. При зануренні материка і наступі моря абразія оживає і береговий уступ відступає все далі й далі вглиб континенту. Підняття континенту не викликає пошвавлення абразії, тому що в зоні прибою опиняється відносно слабка похила поверхня підводної частини схилу.

Порушення рівноваги і відновлення абразії може викликатися і іншими причинами, в тому числі й господарською діяльністю людини. Одна з поширених причин активізації абразії – зменшення прибережних обмілин (пляжів), які охороняють берег від руйнування. Зменшення розмірів обмілин є наслідком будівництва портових споруд, розробки галечника для дорожнього будівництва тощо. Небезпека абразії полягає не тільки в безпосередньому розмиванні берегових схилів, але й у порушенні їх стійкості, що призводить до зсувних і обвальних явищ.

Акумуляція продуктів руйнування також викликає несприятливі наслідки, зокрема, замулення деяких гідротехнічних споруд (портів і каналів).

3.5.5. Заходи боротьби з морською абразією.

Боротьба з морською абразією ведеться головним чином шляхом будівництва спеціальних захисних споруд. Діляться вони на дві категорії: а) споруди пасивного захисту; б) споруди активного захисту.

Споруди пасивного захисту сприймають на себе удари морських хвиль і тому порівняно швидко деформуються і руйнуються. *Споруди активного захисту* служать для накопичення і утримання наносів. Енергія морських хвиль витрачається в цьому випадку головним чином вже не на удари об захисні споруди, а на переміщення й стирання пляжних наносів. Тому захисні споруди цього типу довговічніші у порівнянні зі спорудами пасивного захисту. Типовими спорудами активного захисту є морські буни. Це масивні споруди, розташовані нормально або під деяким кутом до берегової лінії (залежно від переважного напрямку хвиль). Хвилі, які несуть наноси, перекочуючи через буни, втрачають свою силу і швидкість та відкладають наноси в просторі між сусідніми бунами. В результаті утворюється смуга пляжу, яка поступово розширюється, наступаючи в бік моря, висуваючи вперед лінію берега. Конструкція бун може бути найрізноманітнішою (ряжеві і пальово-щитові з камінною закидкою, масивно-монолітні і ін.). Широко застосовуються гравітаційні буни у вигляді бетонних чи залізобетонних збірних масивів. Гребінь бун зазвичай виступає на 0,5-1,0 м над рівнем моря. Буни ефективні в тих місцях, де є велика кількість донних наносів.

Хвилерізи (хвилеломи), на відміну від бун, становлять собою штучні масиви, розташовані паралельно береговій смузі на деякій відстані від неї. Вони можуть підніматися над рівнем моря, а можуть бути й затопленими. За своїм характером робота хвилерізів нагадує роботу бун, але в цьому випадку пляжні наноси накопичуються між хвилерізом і берегом моря. Форма хвилерізів може бути різною і залежить від форми берегової лінії, напрямку хвиль і т.д. Часто хвилерізи застосовуються в комбінації з поперечними масивами (траверсами, бунами) і влаштовуються у вигляді ряжів, заповнених камінням, бетонних чи залізобетонних масивів і т.п.

Типовими спорудами пасивного захисту є хвилевідбійні стінки, які зводяться з кам'яної закидки, бетону, залізобетону. Такі споруди недовговічні. Відомі випадки, коли бетон у хвилевідбійних стінках підрізався морськими хвилями на глибину до 30 см протягом одного року. Стінки руйнуються також внаслідок розмивання корінних порід в їх основі, що викликає їх перекидання. Тому зараз перевага надається засобам активного захисту як більш ефективним.

3.5.6. Переробка берегів і формування чаші водосховищ.

Процеси абразії спостерігаються не тільки в берегах природних водоймищ (океанах, морях, озерах), але й на штучних (водосховищах). Однак тут ці процеси протікають інакше, ніж на природних і, як правило, більш інтенсивно. Пояснюється це тим, що водосховища звичайно створюються в глибині континентів, у річкових долинах. Схили таких долин сформувалися під впливом ерозійної діяльності річок та інших процесів, характерних для континентальних умов, і за своїм профілем не відповідають новим умовам, які створюються при заповненні водосховищ. Ця невідповідність раніше створених форм новим умовам і є причиною виключно інтенсивного розвитку процесів формування нового профілю берегів водосховища і всієї його чаші. Переробка берегів супроводжується розмиванням берегової смуги шириною в декілька десятків, а інколи і в декілька сотень метрів. В зону переробки часто потрапляють населені пункти, промислові підприємства, різні комунікації, сільськогосподарські угіддя тощо.

Одночасно з руйнуванням берегів відбувається відкладення продуктів руйнування, які залишаючись частково поблизу берегових схилів, утворюють мілини і ускладнюють судноплавство. Отже, процеси переробки берегів можуть наносити значну економічну шкоду і вимагають старанного і всебічного вивчення. Найважливішим чинником переробки берегів водоймищ є значна амплітуда коливань рівня води; вони відбуваються внаслідок спрацьовування нормального підпірного горизонту і нового заповнення водосховища у весняний паводок. На великих водосховищах амплітуда коливань досягає 2-7 м.

Зміна положення горизонту води у водосховищах викликає механічне руйнування порід хвилеприбоєм, періодичний підпір ґрунтових вод, зволоження і обсихання порід тощо. Зволоження та обсихання порід тягне за собою періодичне набухання і усадку глинистих порід, просадкові явища в лесових породах і, нарешті, зміну ваги порід. Це істотно змінює умови рівноваги схилів і викликає розвиток зсувних явищ.

Вітрові хвилі, стічні й хвилеві прибережні течії, а також періодичні коливання рівнів води у водосховищі – основні активні чинники переробки берегів.

Інженери-геологи вивчають морфологію схилів, їх геолого-літологічну будову, гідрогеологічні умови і фізико-механічні властивості порід. За морфологічними особливостями береги водосховища звичайно розділяють на приглибочені і обмілинні. *Приглибоченими* називають береги з крутизною схилів, більшою від 6° , *обмілинними* – відповідно схили з меншою крутизною. Перші сильніше руйнуються, а берегова лінія швидше відступає в бік суші. Обмілинні майже зовсім не піддаються руйнуванню і змінюють свій профіль головним чином за рахунок акумуляції наносів. Тому тут берегова лінія часто зміщується в бік водної поверхні.

Форма берегової лінії водосховища також впливає на переробку його берега. Так, наприклад, найсильніше піддаються руйнуванню частини берега, що виступають у бік акваторії, в той час як глибокі бухти і затоки часто повністю відділяються від водосховища в результаті утворення барів і таким чином опиняються за межами хвилевої діяльності.

Велику роль відіграє геологічна будова берегів і властивості порід. Скельні і напівскельні, а також щільні дочетвертинні глини є найстійкішими щодо механічного впливу хвиль. Швидкість і величина розмивання таких порід залежить від руйнування при вивітрюванні, а роль хвилевої діяльності зводиться до видалення продуктів вивітрювання. Піщані породи (незв'язні) руйнуються швидше, ніж глинисті. Але піщані фракції акумулюються переважно поблизу берегового схилу, утворюючи захисну обмілину, а тонкий глинистий матеріал майже повністю зноситься в глибокі частини водосховища.

Гідрогеологічні умови також позначаються на переробці берегів, коли ґрунтові води дрениуються водосховищем. Заповнення водосховища викликає підпір ґрунтових вод, а зниження рівня – появу додаткового гідродинамічного тиску в породах берегових схилів. Одночасно відбувається періодичне зважування порід схилу, яке змінюється з появою додаткових навантажень (за рахунок водонасичення порід). Оживають старі і виникають нові зсуви.

Процес переробки схилів залежить від сучасних явищ на схилі: вивітрювання, площинного змиву і струменевої ерозії, розвитку осипів, обвалів, зсувів і т.п. Тому Г.С.Золотарьов запропонував розглядати при вивченні процесів переробки наступні генетичні типи схидів: обвальні, осипні, зсувні, ерозійні, делювіальні, а також схили складного генезису. Методи розрахунку розмірів переробки берегів водосховищ розглядаються в окремих нормативних документах, що стосуються проектування гідротехнічних споруд.

3.5.7. Захист берегів водоймищ від переробки і супутних явищ.

Крім переробки берегів, часто спостерігаються явища затоплення або підтоплення прибережних територій. Розрахунки затоплення і підтоплення, а також вибір різних захисних дренажних пристроїв виконуються гідрологами і гідрогеологами у відповідності зі спеціальними методами.

Характер і складність таких заходів залежать в першу чергу від цінності територій, які захищаються. В одних випадках, коли переробка берегів не може принести істотних збитків народному господарству, або зовсім відмовляються від захисних заходів, або обмежуються такими заходами, які можуть тільки зменшити розміри можливої переробки берегів (планування берегових укосів і організація поверхневого дренажу).

Планування укосів зазвичай здійснюється в комплексі з фітогенними заходами: посадкою дерев і чагарників у надводній частині схилу та вологолюбних і водяних рослин у підводній його частині. Дерев'янисто-чагарникові насадження своєю кореневою системою зміцнюють поверхню схилу, перешкоджаючи його розмиванню і руйнуванню в результаті абразії від водосховища, ерозії від поверхневих стічних вод по схилах і зсувних процесів. Позитивний вплив справляє також транспірація, що призводить до осушення гірських порід у схилах. Підводна рослинність гасить енергію хвиль, зменшує швидкість течії і зміцнює підводний укіс своєю кореневою системою.

При захисті більш цінних територій (населені пункти, майданчики промислових підприємств і т.д.) вдаються зазвичай до різного виду берегозміцнюючих заходів і споруд. До них належать закріплення укосів різного роду покриттями: фашинами, кам'яною закидкою, брукуванням (відмощенням), бетонними плитами, асфальтом і т.п. Покриття вкладаються на піщано-гравійну або щебнясту-піщану підготовку.

В основі берегового покриття влаштовується упор у вигляді кам'яної призми, пальового або шпунтового огородження. Інколи огорожувальна конструкція виконується у вигляді підпірної стінки з кам'яної кладки, бетону чи залізобетону, у більшості випадків на пальовій основі. Інколи будують контрфорси з добре водопроникного матеріалу (камінь, гравій, пісок). На великих водосховищах зі значною висотою хвиль можуть будуватися буни і хвилеломи, влаштовуються також дренажі різного типу тощо. Велике значення мають також охоронні заходи: заборона насипань, виїмок, землечерпальних робіт та ін.

Запитання для самоконтролю.

1. Поясніть суть абразії берегів озер і морів. Що таке «корозія» і «коразія»?
2. Чим абразійний береговий профіль відрізняється від акумулятивного?
3. Від чого залежить інтенсивність абразії?
4. Як поділяються гірські породи за ступенем розмивності?
5. Назвіть заходи боротьби з морською абразією.
6. В чому полягають особливості переробки берегів штучних водоймищ?
7. Поясніть відмінності між приглибленими і обміленими берегами.
8. Яким чином можна захищати береги водоймищ від переробки?

3.6. Просідні явища в гірських породах.

Термін “просідання (просадка)” застосовується лише по відношенню до лесових ґрунтів. Лесові породи наділені деякими ознаками, які відрізняють їх від інших типів пухких відкладів. Найважливіша з них – здатність багатьох різновидів лесових порід доущільнюватися при замочуванні. Саме ця їх властивість називається *просіданням*. Таке доущільнення супроводжується вертикальними зміщеннями поверхні землі – просіданнями. Властивість просідання виражена у різних типів лесових порід у різній мірі: у одних вона проявляється від одного лише замочування товщі водою; у інших ця властивість проявляється тільки у випадках, коли одночасно з замочуванням на ці породи передається додатковий тиск від будівель.

Основною причиною руйнування структурних зв'язків у лесових породах є не розчинення, а послаблення (пом'якшення) природного цементу, що утворює ці зв'язки. Це явище має фізико-хімічну природу і пов'язане зі здатністю молекул води адсорбуватися на поверхні мінеральних часток. У процесі адсорбції розвиваються значні сили. Тому, проникаючи у найдрібніші тріщини цементу, молекули води виконують розклинюючу дію, розширюючи тріщини і поступово руйнуючи природний цемент. Після руйнування цементу плівка зв'язаної води відіграє роль мастила, полегшуючи зміщення часток і сприяючи більш щільному їх укладанню під впливом тиску. Хімічне розчинення цементу може помітно проявлятися тільки після руйнування структурних зв'язків, при достатньо тривалому впливі води на природний цемент і наявності досить активного водообміну.

Отже, після швидкої деформації, яка спостерігається безпосередньо після замочування, при тривалій фільтрації спостерігається процес подальшого повільного ущільнення породи. Такий процес супроводжується поступовим винесенням солей і, можливо, колоїдів (післяпросадкова деформація).

Руйнування цементацийних зв'язків у лесових породах і розвиток просадкових явищ відбувається поступово. На думку О.К.Ларіонова, процес відбувається за такою схемою. На першому етапі, при збільшенні вологості на 2-5%, починається руйнування найменш водостійких зв'язків. Масове руйнування зв'язків цього типу настає при появі у порах вільної води, що відповідає вологості 17-22%. Повне руйнування неводостійких агрегатів завершується протягом 6-12 годин після водонасичення породи. Відбувається інтенсивне просідання провального типу. Другий етап просідання пов'язаний з руйнуванням водостійких агрегатів. Деформація на цьому етапі розвивається повільно і може розтягуватися на місяці і роки (до 10-20 і більше років).

Зовнішній результат перетворення структури лесових порід при зволоженні – осідання земної поверхні. При зволоженні дощовими опадами і талими водами утворюються так звані степові блюдця: округлі або овальні пониження розмірами від кількох метрів до 50-100 м у поперечнику і глибиною до 1-1,5 м. Інколи утворюються й більші форми – *поди* (до 350-400 м у поперечнику і до 5-6 м глибиною).

Основна форма просідних явищ при будівництві каналів і водосховищ – утворення тріщин вздовж їх берегів з опусканням окремих терасовидних уступів між паралельними рядами тріщин. В результаті береги каналів і водосховищ набувають східчастого профілю. Ширина зони, охопленої цими явищами, сягає 80-100 м. Тріщини зяючі, відкриті, глибиною до 5-7 м, шириною до 1 м. Утворення тріщин і просідань вздовж берегів каналів у більшості випадків супроводжується просіданням всього профілю каналу (від 2-2,5 м). Просідання нерівномірне по всій довжині каналу. Такі явища починаються через 1-2 дні після заповнення каналу водою і часто продовжуються протягом кількох років.

3.6.1. Будівництво на просідних породах.

Нерівномірні просідання лесових ґрунтів стають причиною нерівномірних осідань різних споруд. Особливо чутливими до них є крупнопанельні споруди, які мають підвищену жорсткість, в зв'язку з чим в їх конструкціях виникають значні величини додаткових зусиль. Тому при будівництві на просідних ґрунтах здійснюються спеціальні методи захисту основ

від просідних явищ або для пристосування конструкції будівлі до можливих нерівномірних просідань основи. Ці заходи можуть бути об'єднані у чотири групи:

а) заходи захисту природної основи від замочування атмосферними, ґрунтовими, побутовими і промисловими водами;

б) заходи штучного закріплення ґрунтів;

в) конструктивні заходи, які забезпечують безаварійну роботу споруд в умовах просідань;

г) повне або часткове прорізання товщі просідних порід фундаментами споруд.

Якщо величина ймовірного просідання незначна, то в більшості випадків можна обмежитися найпростішими заходами: плануванням території, що забезпечує швидке відведення поверхневих, побутових і промислових вод; влаштуванням навкруги будівлі водотривких відмощень та ін. Якщо ж величина просідань є значною, то основа повинна бути цілком захищена від замочування. Застосовуються також заходи, спрямовані на ущільнення лесових порід або їх штучне закріплення. До них належать поверхневе і глибинне ущільнення, попереднє замочування, силікатизація, термічне зміцнення та ін.

При невеликій потужності просідних порід обмежуються поверхневим ущільненням ґрунтів важким трамбуванням. Після цього будівництво можна здійснювати як на звичайних породах, без застосування спеціальних захисних заходів. На територіях лесових товщ великої потужності застосовується глибинне ущільнення за допомогою ґрунтових паль. Інколи застосовується ущільнення лесових порід шляхом їх попереднього замочування. Але процеси просідання розвиваються повільно і тому попереднє замочування слід робити завчасно, хоча б за рік до початку будівництва.

Добре зарекомендував себе метод силікатизації (шляхом нагнітання в ґрунт двох розчинів: силікату натрію і хлористого кальцію або лише одного силікату натрію). Крім цього, застосовується метод термічного закріплення ґрунтів. Обидва ці методи є дуже надійними, тому що роблять лесові ґрунти міцними і водостійкими. Крім того, вони дозволяють закріпити лесові породи на різних глибинах і вимагають нескладного устаткування.

Розроблені також методи електросилікатизації, кольматування лесових ґрунтів глинистими суспензіями та ін. Деякі фахівці вважають, що для масового будівництва житлових будівель і промислових споруд без мокрого технологічного процесу слід обмежуватися тільки заходами оберігання природної основи від замочування. Заходи, спрямовані на усунення просідності лесових порід, доцільно застосовувати тільки для великих цивільних і промислових споруд із безперервним мокрим технологічним процесом.

Запитання для самоконтролю.

1. Якими специфічними властивостями складу і будови наділені лесові гірські породи?
2. Поясніть суть явища просідання лесових порід та його наслідки.
3. Як відбувається руйнування цементацийних зв'язків у лесових породах?
4. Назвіть методи захисту основ споруд від просідання.

3.7. Карст.

3.7.1. Умови утворення і розвитку карсту, заходи боротьби з ним.

Найчіткіше означення карсту дав академік Ф.П.Саваренський: "Під карстом розуміють явища, пов'язані з діяльністю підземних вод, що виражається у вилугованні розчинних гірських порід (вапняків, доломітів, гіпсів) і утворенні пустот (каналів, печер) у породах, які часто супроводжуються провалами і осіданнями покрівлі і утворенням лійок, озер та інших

западин на земній поверхні”. Інколи вилуговування порід супроводжується механічним винесенням частинок породи.

Карст широко розповсюджений в Криму, на Кавказі, в Середній Азії, на Алтаї, Уралі, в Сибіру, на території Російської рівнини, на узбережжі Адріатики, в Греції і т.д. Розвиток карсту є несприятливою умовою під час будівельного і сільськогосподарського освоєння територій чи експлуатації родовищ корисних копалин. Наприклад, в Андалузії (Іспанія) була побудована гребля висотою 72 м у місці розвитку тріщинуватих і закарстованих юрських вапняків. Коли стали заповнювати водосховище водою, то виявили, що майже вся вода витікає по тріщинах і карстових каналах в долину річки, розташовану нижче від греблі.

Виникати і розвиватися карст може тільки при поєднанні певних природних умов. Таке поєднання визначається одночасною наявністю: 1) породи, яка відносно легко розчиняється у воді, 2) проникності цієї породи, 3) води, яка рухається у породі і 4) розчинною здатністю води. Розглянемо детальніше кожний із факторів, що обумовлюють утворення карсту.

За ступенем розчинності можна виділити наступні основні групи порід: а) карбонати (вапняки, доломіти); б) гіпси та ангідрити; в) галоліти (хлористі і сірнокислі солі натрію, калію і магнію). Розчинність найголовніших сполук залежить від будови кристалічної ґратки, розмірів кристалів, наявності домішок. Дрібніші зерна розчиняються швидше у порівнянні з великими. Водні розчини у породі можуть бути недонасиченими по відношенню до дрібних зерен, насиченими щодо зерен середніх розмірів і перенасиченими стосовно великих. В результаті в один і той же час дрібні зерна можуть розчинятися, а великі рости. Це є причиною значної нерівномірності й примхливості розподілу в карбонатних породах каверн і пор розчинення.

Розчинність порід залежить і від домішок. Розрізняють два види домішок: більш важкорозчинні у порівнянні з даною сіллю та більш легкорозчинні. Перші гальмують процес розчинення внаслідок того, що вони в процесі самого розчинення вкривають поверхню кристалу колоїдною плівкою, яка перешкоджає розчиненню солі. До таких домішок належать глинисті частки і розсіяні бітумінозні речовини. Більш легкорозчинні домішки, наприклад, кам'яна сіль або гіпс, що містяться у породах, переходячи у розчин, у значній мірі впливають на розчинну здатність природних вод.

Розчинна здатність води залежить від температури, тиску, наявності в природних водах вуглекислоти, наявності у водних розчинах солей та ін. Вплив температури на розчинність солей у дистильованій воді порівняно невеликий. Причому, розчинність кам'яної солі й кальциту підвищується з ростом температури від 0 до 100⁰С, а ангідриту і гіпсу підвищується лише приблизно до 35⁰, а при більш високих температурах знижується.

Утворення карсту залежить від водопроникності гірських порід. Проникаючи в гірські породи по порах і тріщинах, рухаючись по них, інколи вкрай повільно, вода може розчиняти породи і тим самим збільшувати їх пористість, що в свою чергу призводить до посилення водообміну. Однак рух води по пустотах і вилуговування порід не завжди веде до збільшення розміру пустот. Наприклад, при вилуговуванні вапняків, що містять глинисті частки, останні можуть закупорювати тріщини і карстові порожнини і тим самим сприяти зменшенню фільтрації води і затуханню карстового процесу.

Чим більшою є тріщинуватість гірських порід, тим кращі умови створюються для виникнення карстових явищ. Зв'язок карстових проявів із тріщинуватістю порід підтверджується витягнутістю “ланцюжків” карстових лійок вздовж переважних систем тріщинуватості, приуроченістю карстових печер і порожнин до великих тріщин. Одна із основних умов розвитку карсту – водообмін. Умови руху підземних вод та інтенсивність водообміну змінюються по вертикалі. В областях з потужними розчинними породами можна виділити чотири вертикальні зони, відмінні одна від одної за умовами руху підземних вод і, відповідно, за умовами розвитку карсту:

I – зона аерації, де має місце переважно вертикальна фільтрація, що призводить до формування вертикальних карстових каналів;

II – зона сезонного коливання рівні підземних вод; тут у періоди підйому рівня вода фільтрується в горизонтальному, а в період його спадання – у вертикальному напрямку (розвиваються вертикальні і горизонтальні порожнини в розчинній породі);

III – зона повного насичення, яка перебуває у сфері дренажного впливу гідрографічної сітки (карст розвивається у дні річкових долин і в берегах);

IV – зона глибинної циркуляції, де рух води відбувається поза безпосереднім дренажним впливом гідрографічної сітки і обумовлений тектонічною структурою та окремими осередками розвантаження. Вилуговання порід у цій зоні відбувається повільно.

Розчинна здатність підземних вод зменшується з глибиною, тому що з глибиною збільшується насичення води різними сполуками, які інколи перешкоджають розчиненню. З глибиною затухають біохімічні процеси, в результаті дії яких утворюється вуглекислота, що сприяє розчиненню.

За віком карст можна розділити на: а) сучасний, або активний, що розвивається вище від сучасного рівня корозії; б) древній, або пасивний, розвинений нижче сучасного рівня корозії. Древній карст може бути похованим, коли поверхня закарстованих порід перекрита (похована) більш пізніми відкладами. Карст перестає розвиватися після припинення надходження води в карстові порожнини (наприклад, внаслідок заповнення карстових порожнин печерною глиною).

На утворення карсту впливають також і геоморфологічні умови. Наприклад, поблизу крутих ерозійних і абразійних схилів створюються сприятливі умови для водообміну, тому що на цих ділянках тектонічні тріщини бувають розширеними за рахунок вивітрювання, утворення зсувів, осідання порід тощо. Дуже впливає на розвиток карсту клімат, бо від нього залежать кількість, характер і розподіл сезонних опадів, характер і інтенсивність процесів вивітрювання, температурний режим у верхніх частинах земної кори.

Найважливішими особливостями областей розповсюдження закарстованих порід є:

- інтенсивне поглинання поверхневих вод;
- підвищена водозбагаченість закарстованих порід;
- нерівномірна водопроникність;
- наявність локальних, стійких у часі поздовжніх прирічних депресій рівня підземних вод.

Головними інженерно-геологічними умовами карстових районів є такі:

- 1) осушення ряду карстових областей (проблеми для сільського господарства);
- 2) інтенсивне поповнення підземних вод за рахунок поверхневого стоку;
- 3) природний глибокий дренаж ряду родовищ корисних копалин;
- 4) можливість підвищених витоків води з каналів і водосховищ, як через їх борти і дно, так і в обхід гребель;
- 5) посилене живлення річок за рахунок тріщинно-карстових вод;
- 6) збагачене обводнення тріщинно-карстовими водами будівельних котлованів, тунелів, шахт.

Для боротьби з карстом можна застосовувати наступні заходи.

1. Припинення доступу поверхневих і підземних вод до порід, які карстуються, шляхом регулювання поверхневого стоку і влаштування дренажів.
2. Штучне обрушення покрівлі карстових пустот і заповнення їх глинистими породами. До цього вдаються при будівництві залізниць і шосейних доріг, трубопроводів і т.д.
3. Цементация порід основ споруд; при цьому через бурові свердловини у тріщини і карстові порожнини нагнітається цемент. Так створюється підземний водонепроникний бар'єр і одночасно породи зміцнюються.
4. Бітумізація порід основи з метою створення підземного водонепроникного бар'єру.
5. Осушення ділянок за допомогою відкачувань води насосами, зануреними у пробурені навкруги ділянок свердловини; застосовується при проходці експлуатаційних і дослідних шахт, шурфів і т.п.

Інколи, через ускладнення і дорожнечу боротьби з карстовими явищами, доводиться переносити споруди з закарстованих ділянок на ділянки з більш сприятливими інженерно-геологічними умовами.

Запитання для самоконтролю.

1. Наведіть означення явища карсту за Ф.П.Саваренським.
2. За яких умов у гірських породах розвивається карст?
3. Як поділяються гірські породи за ступенем розчинності?
4. Від чого залежить розчинність гірських порід?
5. Поясніть схему зональності карсту за глибиною.
6. Якими методами можна протидіяти карстовому процесу?

3.8. Болота і заболочені території.

3.8.1. Умови утворення боліт. Будівництво на заболочених територіях.

В областях надлишкового зволоження і слабого стоку поверхневих вод за відповідних геоморфологічних і ґрунтових умов утворюються заболочені території, які далі трансформуються в болота. Болотом називається постійно надлишково зволожена поверхня землі з обводненим торфом потужністю більше 0,3 м (частіше 0,5 м). Заболоченими вважаються території, надлишково зволожені атмосферними чи ґрунтовими водами з малопотужним шаром торфу або без нього, з характерною вологолюбивою рослинністю, де відбувається накопичення рослинної маси. Отже, заболочені території слід розглядати як початкову стадію утворення боліт.

Найсприятливішими умовами для утворення боліт є вологий клімат, рівнинний рельєф або понижені елементи рельєфу і близьке до поверхні залягання підземних вод. Утворення боліт може бути пов'язане або з заболочуванням суші, або із заростанням водойм. Загальні закономірності заболочування суші полягають в наступному. Надлишкове зволоження ділянки суші погіршує аерацію ґрунту і шкідливо позначається на життєдіяльності деревної, чагарникової і трав'янистої рослинності. Така зміна умов поступово викликає відмирання одних рослин і розвиток інших, більш вологолюбних. Залишки відмерлих рослин внаслідок нестачі кисню повільно і слабо розкладаються та утворюють перші накопичення торфу. Торф, маючи велику вологоємність, ще більше сприяє акумуляції вологи і ускладненню аерації ґрунтових горизонтів. Якщо рослини, що росли тут раніше, могли вільно отримувати мінеральні сполуки з ґрунту, то тепер вони змушені розвивати свою кореневу систему в торфі. Все це призводить до подальшої зміни рослинних асоціацій і розвитку інших, менш вимогливих до умов навколишнього середовища. В решті-решт на такій заболоченій території розселяються мохи.

Заболочування суші може відбуватися різними способами. Болота можуть утворюватися на рівних пласких поверхнях або в пониженнях рельєфу, де накопичуються дощові й талі води, а випаровування недостатнє. Такі верхові болота особливо широко розповсюджені на вододільних просторах, часто зайнятих лісами. Головним твірником торфу там є білий сфагновий мох. Сфагнові мохи, наростаючи, утворюють матеріал для накопичення потужних товщ торфу (до 6 м і більше) в центрі болота і меншої потужності на його периферії, де водне живлення болота відбувається частково і за рахунок притоку більш мінералізованих вод. Через це верхові болота часто мають опуклу форму.

Утворення боліт може відбуватися також і на пологих схилах та в їх основі внаслідок надлишкового зволоження пухких відкладів підземними і атмосферними водами. Такі болота мають змішане водне живлення і належать до перехідного типу. Торф в них

утворюється за рахунок розкладання мохів, трав'яної, чагарникової і деревної рослинності. Торф часто перешаровується з глинистими і піщано-глинистими делювіальними відкладами.

Широко розповсюджене заболочування суші в місцях періодичного розлиття річок, затоплення і підтоплення заплачних терас і алювіальних рівнин. Болота утворюються і на приморських рівнинах при періодичному затопленні їх морем.

Всі болота, що утворилися на понижених ділянках рельєфу, називаються низинними або луговими. Основним джерелом живлення для них є річкові, озерні чи морські води, а також ґрунтові алювіальні води, часто з підвищеною мінералізацією. Торф містить велику кількість мінеральних домішок, які часто утворюють шари і горизонти мулу і піщано-глинистого матеріалу.

Загальновідомим є утворення боліт за рахунок заростання озерних водойм рослинністю або шляхом наростання сплавини (рослинного покриву: ряски, латаття тощо) на поверхні водойм. В обох випадках заболочування супроводжується накопиченням на дні мінерального та органічного мулу. До складу болотних відкладів, крім торфу і теригенного піщано-глинистого матеріалу, входять ще органічний і мінеральний мули, а також крем'янисті, вапнякові, марганцеві, залізисті відклади.

Органічний мул озер формується з планктонних організмів, водоростей і квіткових рослин, привнесеної органіки у вигляді гумусу. Під впливом діагенезу органічні мули утворюють сапропель (відклади прісноводних басейнів переважно органічного походження, які перебувають на початковій стадії літифікації). Сапропель має бурий, зеленкуватий або чорний колір, в'язкотекучу чи пластичну консистенцію, високу вологість, масний на дотик. Залежно від складу мінеральних домішок сапропелі можуть бути піщанистими, глинистими, вапняковистими; при вмісті діатомових водоростей – діатомовими, а інших залишків рослин – тонко- і грубодетритовими. Як правило, сапропелі перебувають у рідко- або в'язкотекучому стані, слабководопроникні і дуже вологоємні. Вони характеризуються малою міцністю і великою деформацією при малих навантаженнях.

Мінеральні мули формуються з привнесеного теригенного піщаного й глинистого матеріалу. Цей матеріал утворює прошарки, шари, лінзи супісків, суглинків, глин і пісків у товщі болотних відкладів. Торф підстеляється, перекривається і перешаровується цими відкладами.

Торф представляє собою волокнисту, землисту або пластичну в'язку масу бурого кольору з відтінками від світло- до темnobуруого й чорного. Його суха речовина складається з рослинних залишків, гумусу (органіки, що добре розклалася) і мінеральних речовин. За будівельними нормами і правилами торфом називається порода, яка містить більше 60% рослинних залишків. Породи, які містять 10-60% рослинних залишків, називають заторфованими.

При спаленні торфу залишається неспалимий залишок – зола, яка характеризує вміст у ньому мінеральних речовин (зольність). Крім високої вологості, торфи мають велику пористість (85-95%), малу щільність (0,7-1,4 г/см³). Торфи дуже вологоємні, тобто здатні поглинати і утримувати влику кількість води (мохові торфи поглинають воду у 15-20 разів більше від власної маси в сухому стані). Водопроникність торфів залежить від ступеню їх розкладення. Добре розкладені торфи, як і глини, практично водонепроникні. Нерозкладені і погано розкладені торфи водопроникні (K_f до 10-12 м/доб). Торфи надзвичайно сильно, нерівномірно і довго стискаються.

Будова боліт характеризується потужністю болотних відкладів і особливо потужністю лінз, шарів і покладів торфу; складом, умовами залягання і консистенцією торфу та інших болотних відкладів; рельєфом мінерального дна боліт. Відповідно до цих характеристик розрізняють три типи боліт.

На болотах I типу потужність болотних відкладів невелика (менше 3 м), торф стійкої консистенції і може частково або повністю вирізатися, рельєф мінерального дна спокійний.

Болота II типу характеризуються також невеликою (порівняно) потужністю (менше 5-6 м) болотних відкладів, але торф на таких болотах має нестійку консистенцію. Це типові трясовинні болота. Рельєф мінерального дна порівняно спокійний.

Болота III типу мають більшу потужність болотних відкладів (більше 6 м). Болотні відклади і торф мають нестійку консистенцію і на них часто утримується шар води. Рельєф мінерального дна у них часто нерівний, з похованими схилами великої крутизни.

Масове цивільне і промислове будівництво на заболочених територіях зазвичай виконують після їх осушення, а інколи після планування відсипкою або насипанням глинистих, піщано-гравійно-галькових і щебнястих порід. При цьому підвищується позначки поверхні рельєфу, забезпечується стікання дощових і талих вод та осушення територій. Широко застосовуються пальові основи.

Іншим видом масового будівництва на болотах і заболочених територіях є дороги, лінії електропередач та інші лінійні споруди. При проектуванні земляного полотна доріг на болотах повинні виконуватися наступні вимоги: 1) забезпечена стійкість основи; 2) встановлена і знижена величина осідання; 3) забезпечене завершення інтенсивної частини осідання в заданий термін; 4) мають бути виключені неприпустимі пружні деформації насипів під час руху транспорту.

Для влаштування насипів на болотах рекомендується застосовувати переважно ґрунти, які добре вкладаються й ущільнюються: середньо- і крупнозернисті піски, гравій, галечники, щебнясті й грубоуламкові.

Осушення боліт і заболочених земель здійснюється за допомогою горизонтальних дренажних каналів (магістральних і водовідвідних). Для осушення сільськогосподарських угідь застосовують закриті трубчасті дренажі. Тут використовують гончарні труби діаметром 4-25 см, які вкладають у траншеї, що мають певний нахил. Інколи влаштовують щілинні дрени і кротування спеціальним плугом.

Запитання для самоконтролю.

1. Дайте означення термінам «болото» та «заболочена територія».
2. За яких природних умов утворюється болото?
3. Назвіть і охарактеризуйте типи боліт.
4. Дайте характеристику болотним відкладам (торфу, мулу, сапропелю).
5. На які типи поділяються болота?
6. Як виконується будівництво на заболочених територіях?

3.9. Діяльність підземних вод.

3.9.1. Суфозійні явища.

Розрізняють механічну і хімічну суфозію гірських порід. Під *механічною суфозією* розуміють розпушування порід (найчастіше пісків), навіть таких, що не містять розчинних речовин, і винесення дрібних часток із них струменями води, яка фільтрується. Під *хімічною суфозією* слід розуміти вилуговування і винесення з порід струменями води, яка фільтрується, водорозчинних солей (гіпсу, кам'яної солі і т.д.)

В природних умовах механічна суфозія відбувається досить рідко. Вона, наприклад, може мати місце на схилах під час різкого зниження рівня води в річці після паводку. Утворюється крута депресійна крива ґрунтових вод і виникає гідродинамічний тиск, спрямований у бік схилу. Відбувається механічна суфозія, і виникають суфозійні лійки у вигляді ланцюжків вздовж краю тераси. Інколи за таких умов виникають зсуви (при значних градієнтах фільтраційного потоку). Винесення часток призводить до утворення пустот і, отже, до ще більшого зростання швидкості руху води, що в свою чергу викликає вимивання більших часток породи. Залежно від структури і складу породи цей процес може викликати

утворення в породах основи великих пустот, послаблення основи і нерівномірне осідання споруд, аж до їх руйнування .

Суфозією пояснюється і утворення пустот (печер, ходів) у глинах і лесах в умовах посушливого клімату, інколи значних розмірів і поширення. Це явище отримало назву глиняного або лесового карсту.

Суфозія може відбуватися тільки: а) в породах певного складу і структури; б) за наявності в породах пустот, по яких може протікати вода; в) при відповідній швидкості руху води, що фільтрується.

На сьогодні визначено наступні умови виникнення і розвитку суфозії:

1. Дрібні частки з пісків будуть виноситися тільки при турбулентному русі води, що фільтрується крізь них. Турбулентний рух у пісках стає можливим при гідравлічному градієнті, більшому від 5.

2. Дрібні частки з піску виноситимуться у випадку, якщо він складатиметься переважно із двох фракцій, а співвідношення діаметрів зерен піску цих фракцій буде більшим, ніж 1:20.

3. Суфозія на контакті двох шарів відбудеться, якщо відношення коефіцієнтів фільтрації цих шарів буде більшим від 2.

3.9.2. Завдання інженерно-геологічних досліджень і заходи боротьби з суфозією.

Під час інженерно-геологічної оцінки можливості виникнення й розвитку суфозійних явищ і утворення пустот вивчаються:

1. Геоморфологічні особливості району. Особлива увага приділяється депресіям рельєфу, в яких створюються сприятливі умови для фільтрації води з великими градієнтами. Слід звернути увагу і на штучні депресії (виймки доріг, канали, будівельні котловани тощо).

2. Геологічна будова району. Вона визначає наявність і умови руху підземних вод, а також поширення і умови залягання порід, схильних до суфозії.

3. Умови руху поверхневих і підземних вод, джерела їх живлення і можливість струменевого руху води через легкорозмивні породи.

4. Властивості порід, які обумовлюють розвиток суфозії: гранулометричний склад порід; мінеральний склад; склад, кількість і розподіл у породі водорозчинних солей, вилуговування і винесення яких веде до розпушування породи, збільшення її пористості і в кінцевому рахунку сприяє внутрішньому розмиванню породи; тріщинуватість, система розташування тріщин, їх глибина, характер заповнення, склад заповнювача.

5. Характер, глибина і швидкість вивітрювання порід, дія провідних агентів вивітрювання.

Для попередження суфозії виконуються такі заходи: 1) запобігання надходженню і пересуванню води в породах: регулюється поверхневий стік, перехват підземних вод дренажними пристроями; 2) захист глинистих порід від вивітрювання шляхом влаштування захисних покриттів з піску, перем'ятої глини; 3) влаштування поверхневих дренажів (для відведення підземних вод і попередження вимивання часток); 4) зменшення швидкості руху підземних вод шляхом зміни конструкції споруди. Наприклад, під греблями влаштовують глиняні понури, які подовжують шлях фільтрації і знижують градієнти напору; 5) штучне покращання властивостей порід шляхом силікатизації, цементації та інших заходів.

3.9.3. Пливуни.

Довгий час поняття “пливуни” не мало чіткого означення. Пливуни дуже ускладнюють проходку гірничих виробок і будівництво споруд (обвалювання стінок будівельних котлованів, важке виймання породи, розрідження породи при струшуванні, виположування укосів до мізерної крутизни, запливання котлованів ґрунтом).

При викритті пливунів буровими свердловинами в обсадних трубах можуть утворюватися так звані пробки, тобто від забою свердловини пливун спрямовується вгору по обсадній трубі, обволікає буровий наконечник і штанги та міцно їх охоплює. Пробки утворюються тоді, коли виникає різниця між рівнями води за трубами і в трубах за рахунок видалення в процесі буріння частини води разом із ґрунтом, що виймається на поверхню. Пробки у свердловинах досягають висоти 10-20 м. Часто утворення таких пробок призводить до прихоплення інструменту і необхідності витягати його разом із обсадними трубами. Інколи доводиться все залишати і бурити свердловину в іншому місці. Тиск пливунів часто призводить до викривлення стволів шахт, руйнування їх кріплення та інших аварійних ситуацій.

На думку дослідників (О.Ф.Лебедев), у природі можуть існувати два види пливунів: псевдопливуни (несправжні пливуні) та істинні пливуні.

Псевдопливунами називають такі пухкі гірські породи, опливання яких зумовлене наявністю гідродинамічного тиску. Це можна проілюструвати таким дослідом: якщо через посудину, наповнену піском, пропускати знизу вгору воду, поступово збільшуючи напір, то при певному гідравлічному градієнті пісок переходить у зважений стан. Це обумовлено гідродинамічним тиском на частинки піску. В такий момент частинки піску приходять в рух, перевертаються, пісок розпушується; металева гирка, поставлена на пісок, опускається донизу.

За рахунок гідродинамічного тиску ґрунтового потоку можуть розпушуватися і переходити в нестійкий стан гірські породи в укосах, якщо тиск ґрунтового потоку спрямований у бік укосу. Явище розпушування спостерігається і в місцях виходів артезіанських вод або в нижньому б'єфі гребель внаслідок дії води, що фільтрується через основу з верхнього б'єфу.

Істинними пливунами називають такі пухкі гірські породи, опливання яких обумовлене не тільки дією гідродинамічного тиску, але й головним чином наявністю у складі породи органо-мінеральних колоїдів. Органо-мінеральні колоїди (високомолекулярні органічні сполуки, алюмоферизолі, гелі і колоїдно-дисперсні мінерали) обумовлюють ряд характерних властивостей для цих порід: мале зчеплення, в'язкість, водопроникність, опір зсуву, високу деформаційність, текучість, еластичність; поступова зміна міцності із зміною вологості; вони наділені тіксотропністю. Перехід у пливунний стан таких порід відбувається при порушенні їх природної структури за рахунок вібрації, гідродинамічного тиску, зволоження, при наявності зсувних зусиль.

Властивості істинних пливунів сильно змінюються залежно від властивостей навколишнього середовища; на них позначається зміна концентрації водневих іонів, ємності поглинання. Висушування пливунів на повітрі призводить до утворення нетіксотропних, незворотніх найщільніших і водостійких структур. Перехід порід у пливунний стан можливий при одночасній наявності наступних чинників:

- а) сприятливої для прояву пливунності геологічної будови;
- б) відповідної різниці напорів підземних вод, зумовлених гідрогеологічними умовами;
- в) певного складу пухких порід;
- г) певного стану пухких порід.

Пливуні можуть проявитися тільки у випадку сприятливих умов залягання пухких гірських порід, тобто тільки тоді, коли відповідні породи будуть викриті будівельними котлованами, гірничими виробками, буровими свердловинами або якимись природними процесами (розмиваннями, в результаті сповзання порід тощо). Якщо пливуні залягають глибоко і не викриваються, то не мають місця і прояви пливунності.

Істинні пливуні наділені наступними характерними ознаками:

- 1) наявністю фракції розмірами менше 5 мкм у кількості, не меншій 4%;
- 2) високою пористістю (43-45%);
- 3) величиною максимальної молекулярної вологоємності, більшою 4%;
- 4) малою величиною водопроникності і водовіддачі;

- 5) наявністю органо-мінеральних колоїдів;
- 6) тіксотропністю;
- 7) залежністю кута природного укосу від вологості породи;
- 8) зміною властивостей пливунів внаслідок висушування через незворотне при цьому зсідання колоїдів.

3.9.4. Завдання інженерно-геологічних досліджень і заходи боротьби з пливунами.

Вивчення пливунів для інженерно-геологічних цілей виконується в наступному порядку:

- 1) інженерно-геологічні зйомки (геологічна будова, геоморфологічна і гідрогеологічні умови, літологія порід, умови залягання);
- 2) розвідкові роботи, спрямовані на виявлення саме пливунів, відбір проб для аналізів;
- 3) лабораторне вивчення фізико-механічних властивостей порід, що зводиться в основному до визначення показників, які є ознаками пливунності порід.

Основні методи боротьби з пливунами поділяються на такі групи:

1. Штучне осушення водонасичених порід на термін виконання будівельних робіт. Сюди належать: 1) пониження рівня підземних вод за допомогою відкачувань води зі свердловин; 2) спосіб установки забивних і опускних фільтрів; 3) спосіб установки голкофільтрів. Всі ці способи застосовуються в основному для боротьби з несправжніми пливунами, але у поєднанні з іншими методами (електродренажем) можуть давати ефект і в боротьбі з істинними пливунами.

2. Спосіб закріплення пливунів за допомогою шпунтових огорож, забивного кріплення, опускних колодязів. Він стає особливо економічно доцільним при забиванні кріплення за допомогою вібрації, однак застосовується при порівняно неглибокому заляганні пливунів (до 25 м), бо глибше починаються технічні ускладнення. Застосовують шпунтове кріплення при викритті пливунів котлованами або траншеями. Для цього навколо майбутньої виїмки забивають дерев'яні, залізобетонні, а найчастіше залізні шпунти, які утворюють суцільну огорожу глибиною до 20 м, котра захищає виїмку від пливунів.

3. Спосіб заморожування пливунів широко застосовується для тимчасового надання міцності породам. Він вимагає постійних витрат енергії для підтримання порід у замерзлому стані. Буряться свердловини, в які нагнітається концентрований охолоджений розчин хлористого кальцію. Навколо свердловин утворюється зона охолодження порід до -30° – -40°C .

4. Застосування стисненого повітря при проходженні пливунів із використанням тиску до 2,5 Па. Повітря, що нагнітається в кесонні камери, врівноважує тиск води, нейтралізуючи одну з причин утворення пливунів.

5. Силікатизація порід одно- чи дворозчинним способами. Силікатизація дворозчинним способом полягає в наступному. Через систему трубок-ін'єкторів, забитих у ґрунт, нагнітається спочатку рідке скло (силікат натрію), а потім розчин хлористого кальцію. В результаті хімічної реакції між обома розчинами виділяється твердіючий гель кремнієвої кислоти, і порода перетворюється на породу напівскельного типу. Цей спосіб закріплення порід застосовується, наприклад, для зміцнення фундаментів споруд, для створення водонепроникних завіс. Його не можна застосовувати у випадку схильних до пливунності дрібнозернистих порід. В них розчини, внаслідок своєї в'язкості, не можуть проникати і рівномірно заповнювати дрібні пори, чому і утворюються незначні радіуси закріплення. Однорозчинний спосіб: нагнітається рідке скло з додаванням різних кислот (наприклад, фосфорної). Порода стає водонепроникною і трохи зміцнюється.

Запитання для самоконтролю.

1. В чому полягають явища механічної і хімічної суфозії в гірських породах?

2. За яких умов виникає суфозія?
3. Якими є завдання інженерно-геологічних досліджень можливості розвитку суфозії?
4. Назвіть заходи протидії суфозійним процесам.
5. В чому проявляється пливунність гірських порід?
6. Чим відрізняються істинні (справжні) пливуні від псевдопливунів?
7. Назвіть ознаки істинних пливунів.
8. Якими є методи боротьби з пливунами?

3.10. Дія гравітаційних сил на схилах.

3.10.1. Зсуви.

За геоморфологічним положенням та історією розвитку всі схили розділяються на берегові (морів, озер, водосховищ і річок) та гірські і вододільних підвищень. Розмаїття та інтенсивність сучасних геологічних процесів найбільш властиві гірським схилам. Схилі є геологічними і тому їх вивчення треба проводити з позицій історичного розвитку, встановлення тенденції до активізації чи затухання, до зміни видів і об'ємів залежно від конкретної обстановки на даний.

Головні чинники, що обумовлюють розвиток схилівих явищ, за характером дії можуть бути об'єднані в наступні групи.

- Чинники, що створюють середовище, в якому розвиваються схиліві процеси – це комплекси порід; складчасті й розривні тектонічні структури; літогенетична, тектонічна та інша тріщинуватість; ступінь і режим обводнення тощо.

- Чинники, що змінюють стан і властивості масивів порід; процеси розвантаження і розущільнення порід; процеси вивітрювання і механічної суфозії; процеси вилуговування і карсту; сучасні тектонічні зрушення.

- Чинники, що змінюють величини і розподіл напружень у породах схилу: сюди належать всі чинники попередньої групи, тому що зміна властивостей порід позначається на їх напруженому стані; зміна висоти і крутизни в результаті тектонічних зрушень; енергійна глибинна чи бічна ерозія, абразія або інші підрізання схилу; сейсмічність, яка викликає значний перерозподіл напружень у породах схилу; гідродинамічний тиск.

- Тектонічні чинники: впливають як на міцність порід схилів, так і на їх напружений стан через створення різних виїмок, відвалів, вертикального планування, привантажень від ваги споруд; вібрації від механізмів; додаткового зволоження за рахунок господарських вод, витікань, поливів; розробки відкритим і закритим способами родовищ корисних копалин.

Зсуви є найрізноманітнішими за типами, чинниками утворення, механізмами розвитку і поширенням серед схилівих гравітаційних явищ. *Зсувами* називають такі зміщення на схилах гірських порід, в яких переважає механізм сковзання по наявній або такій, що формується, поверхні чи зоні, коли зсувні зусилля більші від міцності порід. Зсуви мають різну морфологію, будову, динаміку і виникають в результаті різних причин.

Морфологія зсувного схилу залежить від характеру порід, які його складають, умов їх залягання та інших факторів, що визначають виникнення і розвиток зсувного процесу. Під час вивчення зсувів розрізняють: а) поверхню ковзання; б) підшву зсуву (базис сповзання); в) глибину сповзання (глибину охоплення схилу зсувом); г) зсувні цирки; д) зсувне тіло; є) зсувні накопичення.

Поверхнею зсуву називають поверхню, по якій відбувається відривання і рух сповзаючого масиву порід. Форма поверхні зсуву залежить від геологічної будови схилу і властивостей порід. В однорідних глинистих породах крива сковзання має найчастіше вигляд плавної кривої. В інших випадках поверхня зсуву буде хвилястою, ламаною чи пласкою. Ознакою поверхні зсуву може бути дзеркало ковзання, але не завжди. Інколи

зміщення порід відбувається не по якійсь визначеній поверхні, а охоплює більш-менш потужні зону порід і має вигляд пластичних деформацій. В таких зонах сковзання породи мають порушену структуру. Часто в цих зонах порода має підвищену вологість. Це треба враховувати під час виявлення поверхні зсуву, для чого використовують гірничі виробки й свердловини або шурфи.

Підошвою зсуву (базисом сповзання) називають лінію перетину поверхні зміщення (сковзання) і схилу. Підошва зсуву може перебувати в основі схилу або не збігатися з ним, якщо поверхня зміщення проходить вище чи нижче основи схилу. В останньому випадку інколи утворюється так званий вал випирання.

На одному і тому ж схилі може бути не один, а декілька зсувів, причому їх підошви перебуватимуть в різних місцях. Такі зсуви називають багатоярусними. Інколи утворюються ступінчасті зсуви.

Глибина сповзання (глибина охоплення схилу зсувом) – це відстань від верхньої поверхні зсуву до поверхні сковзання, виміряна по нормалі до поверхні схилу. Визначається вона після встановлення положення і форми поверхні ковзання.

Зсувним цирком називають виїмку, що утворилася на схилі в результаті сповзання частини порід. Дугоподібна лінія зриву називається бровкою зсуву або лінією зсуву.

Зсувним тілом називають весь масив порід, що сповзли.

Ознаки зсувних зрушень, які найчастіше зустрічаються, є наступними:

1. Зсувні тріщини, які утворюються на перших стадіях формування зсуву. Спочатку непомітні, вони поступово розширюються і подовжуються. Розташовуються спочатку ізольовано одна від одної по опуклій кривій лінії, зверненої опуклістю в бік схилу. Поступово окремі тріщини з'єднуються між собою, утворюючи суцільну лінію відриву зсувного тіла.

2. Зсувні цирки.

3. Площини зриву, що утворюються при відриві зсувного тіла.

4. Вали біля підніжжя зсуву; верхні частини зсуву тиснуть на породи, які лежать нижче, в результаті чого останні випинаються у вигляді валів.

5. Зсувні уступи – площадки, у більшості випадків нахилені в бік схилу, – які утворилися при ковзанні тіла по криволінійній поверхні. Якщо зсув складний, то таких уступів буває декілька, тобто зсувні тіла ніби вкладені одне в одне.

6. Застій води, заболоченість і розвиток рослинності болотного типу, а інколи просто більш соковитої рослинності у заглибленій частині уступу зсуву. Це стається через накопичення атмосферних опадів у заглибленнях уступів.

7. “П'яний” ліс, або шаблевидні дерева.

8. Збугреність тіла зсуву. Бугри утворюються в результаті ерозійного згладження зсувних уступів і подальшої розробки ерозійних форм рельєфу.

9. Незбігання висот залягання пластів і зміна нахилу пластів. Це простежується у відслоненнях, а частіше при складанні геологічних розрізів по свердловинах чи шурфах.

10. Підвищена вологість порід і порушення їх природної структури поблизу поверхні сковзання.

11. Порушення нормального стану різних споруд. Насипи, будинки, залізниці, шосе, колодязі, дренажні галереї, східці, труби і водозливні лотки деформуються, в них утворюються тріщини і розломи.

Всі вказані ознаки зустрічаються у різних поєднаннях.

3.10.2. Умови виникнення зсувного процесу.

Висота, крутизна і форма схилу впливають на формування зсувів наступним чином: чим більшою є висота і крутизна схилу, тим сприятливіші умови для утворення зсувів (за інших рівних умов, якщо порівнювати різні схили). За формою найстійкішими є ввігнуті схили, менш стійкі – опуклі й нависаючі.

Геологічна будова схилу впливає через форми та умови залягання пластів різного літологічного складу. Таких умов у природі безліч.

Серед властивостей порід, що складають схил, на першому місці перебувають пластичні властивості. Насичуючись водою, породи змінюють свою консистенцію і переходять у повзучий стан.

Гідрогеологічні умови також впливають і дуже змінюються після прояву процесів зсуву. Зсувні накопичення створюють умови для утворення гідростатичного, зважувального і гідродинамічного тиску на породи і в цілому сприяють зміщенню порід по схилу.

Причини утворення зсувів можуть бути природними або штучними. Всі їх можна розділити на три групи:

1. Процеси, що змінюють зовнішню форму і висоту схилу: а) коливання базису ерозії; б) руйнівна робота хвиль і протічних вод; в) підрізання схилу штучними виїмками.

2. Процеси, що призводять до зміни будови і фізико-механічних властивостей порід схилу: а) погіршення фізико-механічних властивостей порід за рахунок вивітрювання; б) погіршення фізико-механічних властивостей порід за рахунок зволоження їх різними водами; в) погіршення фізико-механічних властивостей порід за рахунок їх зміщення; г) погіршення фізико-механічних властивостей порід за рахунок вилуговування з них водорозчинних солей та винесення частинок породи (суфозія).

3. Процеси, що створюють додатковий тиск на породи схилу: а) гідродинамічний тиск при фільтрації води у бік схилу; б) гідростатичний тиск води в тріщинах і порах порід; в) штучні статичні і динамічні навантаження на схил; г) сейсмічні удари.

3.10.3. Класифікація зсувів.

Оскільки причин утворення зсувів досить багато, то їх класифікація дуже ускладнюється. Цим питанням займалися такі видатні вчені, як О.П.Павлов, Ф.П.Саваренський, І.В.Попов, В.О.Приклонський, О.М.Дранніков та ін.

Всі численні класифікації зсувів можна розділити на:

- 1) окремі, в яких враховуються одна-дві ознаки;
- 2) загальні, складені з врахуванням ряду ознак, що мають загальний для багатьох зсувів характер;
- 3) регіональні, розроблені для окремих районів (р. Дніпра, південного берега Криму і т.д.), які враховують місцеві умови їх виникнення і розвитку.

Як приклад окремої класифікації можна навести поширену класифікацію Ф.П.Саваренського, в якій зсуви поділяються за ознаками будови зсуву і положенням поверхні ковзання відносно порід, що складають схил.

Асеквентними називають зсуви, які утворюються в однорідних породах. Поверхні сковзання таких зсувів близькі до циклоїдальних або кругових циліндрів; форма і напрямок поверхні сковзання залежать від конфігурації схилу і опору порід зсувним зусиллям. Асеквентні зсуви утворюються при розм'якшенні водою глинистих порід, що складають схил.

Консеквентні зсуви – це такі зсуви, сковзання яких відбувається по задалегіть підготовленій різними процесами поверхні, наприклад по границі між двома шарами, по тріщинах або поверхні розділу делювію і корінних порід.

Інсеквентні – це зсуви, поверхня сковзання яких перетинає нашарування порід.

Загальні класифікації враховують більшу кількість ознак, але вони носять загальний характер, а конкретні особливості зсувів ряду районів в них не враховуються. Регіональні класифікації враховують геолого-генетичні особливості виникнення і розвитку зсувів, а тому дозволяють давати більш конкретні рекомендації щодо боротьби з ними.

3.10.4. Заходи боротьби зі зсувами.

Всі протизсувні заходи поділяються на пасивні (попереджувальні) і активні.

До першої групи заходів належать :

- 1) заборона підрізання зсувних схилів і влаштування на них різних виїмок;
- 2) неприпустимість підсипань як на схилах, так і над ними в межах загрозованої смуги;
- 3) заборона будівництва на схилах;
- 4) заборона виконання вибухових і гірничих робіт поблизу зсувних ділянок;
- 5) обмеження швидкості руху поїздів у зоні, що прилягає до зсувної ділянки;
- 6) неприпустимість знищення деревно-чагарникової і трав'янистої рослинності;
- 7) заборона поливання земельних ділянок, а інколи і їх розорювання;
- 8) неприпустимість скидання на зсувний схил зливових, талих, стічних та інших вод.

Здійснення перерахованих заходів не пов'язане з витратами значних коштів, часу і матеріалів, бо при їх проведенні немає необхідності у влаштуванні яких-небудь спеціальних споруд. Такі заходи можуть дати очікуваний результат не одразу, а через тривалий проміжок часу, інколи через декілька років.

Так звані активні протизсувні заходи вимагають влаштування різних спеціальних споруд. Ці заходи поділяються на чотири групи.

1. Заходи, спрямовані на припинення чи послаблення процесів, які безпосередньо викликають виникнення зсувів. Сюди належать: закріплення берегів, водовідведення, регулювання поверхневого стоку (нагірні канали і охоронні вали). Для регулювання стоку при захисті крупних промислових і міських об'єктів часто вдаються до вертикального планування території і влаштування водостічної мережі закритого типу. Під час вертикального планування повинні бути усунені всі пониження, в яких може накопичуватися вода, причому в зсувній зоні не допускаються великі підсипання, а дерновий покрив по можливості зберігається. До планування схилу можна віднести і влаштування на укосах берм. Берми розділяють високий укіс на укоси меншої висоти, що сприяє більшій стійкості.

Закрита водостічна мережа включає в себе вуличні лотки, дощоприймальні водостічні підземні колектори. Для захисту невеликих колекторів може застосовуватися і відкрита водостічна мережа, що складається з ряду неглибоких каналів і магістральних каналів. Дно та стінки каналів покриваються захисним покриттям (асфальт, бетон, глина). Для перехвату і відведення підземних вод влаштовуються укисні і підземні дренажі. *Укисні дренажі* призначаються для попередження вимивання часток (суфозії) підземними водами, які виходять на схилі. До *підземних дренажів* належать підземні галереї, що влаштовуються або у водоносному пласті, або у водотриві, який його підстеляє. У першому випадку галереї самі служать дренами, в які стікають підземні води; у другому випадку вода з водоносного горизонту скидається в галерею за допомогою вертикальних колодязів (наскрізних або забивних фільтрів).

2. Заходи протидії сповзанню порід шляхом влаштування споруд, що утримують земляні маси. Застосовуються палі, підпірні стінки, контрбанкети, контрфорсні стовпи і т.ін. Палі (бетонні, залізобетонні, інколи сталеві) зазвичай розташовують у шаховому порядку, врізаючи їх на глибину до 2 м у стійку породу. Вони занурюються у наперед пробурені свердловини. Підпірні стінки влаштовуються в основі або нижній частині схилу. Основа підпірної стінки заглиблюється у стійкі породи. За стінкою влаштовується дренаж. Інколи вдаються до влаштування підсипань, що привантажують схил – контрбанкетів.

3. Заходи, спрямовані на збільшення опору ґрунтів зсувним зусиллям. До них належать заморожування, силікатизація, цементация і електрохімічне закріплення порід.

4. Знімання зсувних мас до стійких порід застосовується у випадках, коли нестійкі породи мають незначний об'єм, бо це досить вартісний метод.

3.10.5. Методи інженерно-геологічного вивчення зсувів.

Програмою вивчення зсувних ділянок, як правило, передбачаються такі види робіт.

1. Вивчення літературних і архівних матеріалів.
2. Збір метеорологічних даних про опади, їх інтенсивність і розподіл. Вивчаються всі статті балансу вологи на схилі: інфільтрація, поверхневий стік і випаровування.
3. Вивчення гідрологічних умов з метою: а) встановити наявність і поширення абразії берега; б) кількісно визначити інтенсивність абразії; в) встановити залежність інтенсивності абразії від природних факторів.
4. Інженерно-геологічна зйомка. При цьому встановлюється: літологічний склад, потужність і умови залягання порід, умови стоку поверхневих вод, водоносні горизонти і області живлення підземних вод, історія розвитку рельєфу. Виявляються основні фізико-геологічні явища.
5. Гірничобурові роботи, спрямовані на отримання зразків порід непорушеної структури.
6. Гідрогеологічні спостереження.
7. Лабораторні дослідження як води, так і порід.
8. Польові дослідні роботи.
9. Стаціонарні спостереження (поверхневі та глибинні репери).
10. Геофізичні дослідження.
11. Спостереження за роботою протизсувних та інших споруд у районах зсувів.

3.10.6. Осипи, обвали, розсипи.

Кам'яні осипи (куруми, кам'яні потоки, кам'яні ріки) – це накопичення каміння на схилах, які займають значні площі (до кількох квадратних кілометрів). Вони повільно опускаються вниз, ускладнюючи будівництво. Осипи можуть розглядатися: а) як геологічний процес; б) як великоуламкові породи; в) як своєрідні пологоопуклі форми рельєфу. Вони розповсюджені у всіх гірських районах. На ділянці розташування кожного осипу розрізняють такі елементи: області живлення, транспортування і відкладення осипу. В області живлення перебувають тріщинуваті породи, що руйнуються, і від яких час від часу відділяються уламки різного розміру.

За механічним складом осипи поділяються на наступні види:

1. Великобрилові осипи з вільними проміжками; розміри уламків складають від кількох метрів до десятків см.
2. Великобрилові осипи з дрібнозернистим заповненням проміжків. У порівнянні з першим типом вони стійкіші на схилах у сухому стані, ніж у вологому.
3. Плитчасті осипи з вільними проміжками.
4. Плитчасті осипи з дрібнозернистим заповненням. Вплив ступеня зволоження такий же, як і в другого типу.
5. Щебнясті осипи. Глинисті частки у заповненні майже відсутні, що додає таким осипам певної стійкості.
6. Шаруваті осипи. У підшві вони мають дрібний заповнювач, поблизу денної поверхні – вільні проміжки. Такого типу осипи є найбільш поширеними.
7. Осипи, скріплені вапняковим травертином; відзначаються високою стійкістю на схилах.
8. Розсіяні осипи. Брили не дотикаються одна до одної; вони залягають не лише на оголених схилах, але і на задернованих, де частково занурені в дрібнозернистий делювій.

На сьогодні використовують наступні заходи протидії осипам:

1. Прибирання частини осипу, розташованого вище від споруди по схилу; застосовується при великій рухливості осипу.
2. Створення в нижній частині осипу контрфорса шляхом штучного переміщення туди частини осипного матеріалу.
3. Упорядкування поверхні осипу, прибирання найбільш нестійких брил.

4. Осушення підшви осипу (перехоплення осипу).
5. Створення ловильних стінок, берм, підпірних стінок.
6. Побудова захисних козирків над дорогами чи каналами, спорудження кам'яних галерей чи тунелів для доріг.

Кам'яні обвали становлять собою обрушення зі схилів кам'яних мас. Вони виникають як на природних, так і на штучних схилах (у виїмках). Обвалами називають і обрушення кількох каменів, наприклад, з укусу залізничної виїмки, і гігантські природні катастрофи, що змінюють вигляд навколишніх ділянок земної кори. Вони спричиняють руйнування споруд і затоплення дна долин. Висоти, з яких падають обвали, бувають різними. На природних схилах вони становлять декілька десятків і навіть сотень метрів, на штучних укосах до 25-30 м.

При вивченні обвалів виділяють дві стадії: а) виявлення обвалонебезпечних ділянок і ділянок, яким обвали не загрожують; б) обстеження окремих ділянок майбутнього будівництва. На першій стадії перед інженером-геологом постають наступні завдання:

1. Виявлення і картування обвалобезпечних і небезпечних ділянок.
2. Встановлення можливих напрямків руху і очікуваних об'ємів, швидкостей і дальності падіння обвалів.
3. Збір натурних і архівних даних, опитування населення.
4. Аналіз випадків руйнівної дії обвалів на споруди в районі, заходів боротьби, оцінка можливих збитків.

На другій стадії вивчаються:

1. Рельєф, мікрорельєф і геологічна будова схилу, стан схилу.
2. Стан укосів, ділянок або кам'яних накопичень, що загрожують обвалом; ознаки можливого обвалу, його об'єму, напрямку і далечини падіння.
3. Оцінка причин обвалів на ділянці, вивчення ознак обвалів, що відбулися.

Кам'яні розсипи – це величезні накопичення уламків на обширних горизонтальних терасах, плато, нагір'ях; вони поширюються на десятки кілометрів і хоча є непорушними, але також ускладнюють будівництво і пересування транспорту. Розсипи поширені в тих же місцях, що й осипи. Часто через них місцевість стає цілком непрохідною. Розсипи утворюються внаслідок повного руйнування скелястих останців, що існували на плоскогір'ях. Вони залягають на місці свого утворення і нового поповнення уламками не отримують. Розміри і форма уламків підкоряються приблизно тим же закономірностям, що й у осипах.

Поверхні, вкриті розсипами, майже горизонтальні і лише в крайових частинах їх схили крутіші, і розсипи поступово переходять у осипи. Інженерно-геологічне вивчення розсипів і осипів зводиться до наступних видів: відображення на картах їх контурів; встановлення закономірностей у поширенні; збір даних про взаємодію зі спорудами (для осипів); визначення доцільності освоєння територій, де вони розвинені.

Запитання для самоконтролю.

1. Які процеси належать до схилових?
2. Охарактеризуйте чинники, що впливають на схилові процеси.
3. Що називається зсувом?
4. Назвіть основні елементи морфології зсуву.
5. Якими є ознаки зсувних зрушень?
6. Назвіть причини утворення зсувів.
7. Дайте класифікацію зсувів за Ф.П.Саваренським.
8. Назвіть основні протизсувні заходи.
9. Що називається осипами, обвалами і розсипами?

3.11. Діяльність внутрішніх сил Землі (землетруси).

Під *землетрусами* розуміють струси земної поверхні, що викликаються процесами в глибинах Землі. Це найбільш спустошливе стихійне лихо. Деякі з них носять характер катастроф і супроводжуються повним руйнуванням населених пунктів і масовими людськими жертвами. Інколи землетруси викликають значні деформації денної поверхні, які в більшості випадків відбуваються вздовж існуючих тектонічних розломів. Землетруси на дні океанів викликають цунамі.

3.11.1. Причини виникнення землетрусів.

Суть процесів первинного тектоногенезу в надрах Землі на сьогодні ще не до кінця встановлена, але відомо, що вони обумовлені перетвореннями величезної кількості енергії. Проявом таких перетворень є сильні глибокі землетруси, які виникають під земною корою на глибинах 80-700 км. Вони називаються *плутонічними* і є малоруйнівними через велику глибину.

Крім плутонічних землетрусів, процеси первинного тектоногенезу проявляються і на поверхні Землі у формі механічних рухів: підняття і опускання, розривів суцільності земної кори. З цими явищами також пов'язані землетруси, але глибина їх осередків не перевищує 40-50 км. Такі землетруси називають *тектонічними*. Механізм їхнього виникнення (за російським вченим Г.О.Гамбурцевим) можна уявити наступним чином. У процесі тектонічного життя земної кори відбувалася її диференціація на відносно міцні ділянки (блоки) і менш міцні (послаблені зони). Більшість послаблених зон, очевидно, являє собою систему глибинних розломів, можливо, частково "залікованих". Вони піддаються наступним руйнуванням легше, ніж блоки, і в них, як правило, розташовані осередки землетрусів. Ці послаблені зони Г.О.Гамбурцев запропонував називати *сейсмічними швами*. Під час повільних відносних зміщень сусідніх блоків, розділених таким швом, відбувається спочатку повільне накопичення зсувних напружень. Воно обмежується течією речовини в силу її пластичності. Далі відбувається швидка розрядка напружень в тому місці шва (осередку землетруса) де напруження перевищило межу міцності порід.

Відповідно до цього можна існують певні ознаки, які можуть служити показниками високої сейсмічності території:

- 1) наявність сейсмічного шва, що вказує на можливість відносних рухів блоків земної кори, розмежованих даним швом;
- 2) прояви інтенсивних молодих тектонічних рухів, що встановлюється методами геології і геоморфології;
- 3) велика інтенсивність сучасних повільних відносних рухів блоків земної кори, що встановлюється методами геодезії і геофізики;
- 4) велика частота виникнення слабких сейсмічних поштовхів у певних зонах (це показник підвищення напружень у цих зонах чи їх послабленості).

Крім плутонічних і тектонічних, виділяють також *вулканічні* землетруси і *провальні* (обвальні) землетруси, пов'язані з карстовими процесами. Вулканічні землетруси мають невелику силу і локальний характер, провальні – ще менші. Відомі ще *антропогенні* землетруси від використання вибухівки чи підземних випробувань ядерної зброї (на сьогодні такі випробування вже припинені).

3.11.2. Фізичні явища в породах, що відбуваються під час землетрусів.

Всякий землетрус пов'язується з руйнуванням гірських порід і великими залишковими деформаціями у земній корі. Область, у якій відбуваються руйнування, називається

осередком, (фокусом або гіпоцентром) землетрусу. Проекція осередку на поверхню Землі називається епіцентром. Область найбільших руйнувань носить назву *плейстосейстової* області.

Пружні хвилі, які виникають в осередку і поширюються в товщах Землі, називаються *сейсмічними хвилями*. Спочатку від гіпоцентру землетрусу в усі боки розходяться так звані *глибинні хвилі*. Вони мають два види: *поздовжні хвилі* (вони викликають послідовне розширення і стискання часток вздовж радіусів, по яких розповсюджуються хвилі) і *поперечні хвилі* (викликають зрушення тих же часток у поперечному напрямку). Поперечні хвилі розповсюджуються повільніше, ніж поздовжні. Ці дві групи хвиль називають попередніми.

За ними йдуть так звані *поверхневі хвилі*, які утворюються внаслідок інтерференції поздовжніх і поперечних хвиль і поширюються від гіпоцентру до поверхні Землі. Під час великих землетрусів ці хвилі мають вигляд валу, що біжить по поверхні Землі як хвиля в морі.

Описана картина ускладнюється явищами відбивання, заломлення та розсіювання хвиль, які створюють нові системи хвиль і значно ускладнюють хвильовий спектр. Коливання часток ґрунту під час землетрусу є неперіодичним і утворює хаотичну криву. Величини її амплітуди під час сильних землетрусів змінюються від 2-5 мм у скельних гірських породах до 25-50 мм в ущільнених пухких породах і до 100 мм в недоущільнених пухких породах. Довжина хвиль коливається в межах від 10 до 100 км, висота гребеня досягає 10 см.

3.11.3. Оцінка сили землетрусів.

Частина енергії, що виділяється осередком землетрусу, витрачається (поглинається) на роботу, яка виконується пружними хвилями під час їх поширення. Тому енергія сейсмічних хвиль, що досягають поверхні Землі, послаблюється. Вона залежить від глибини залягання осередка землетрусу, відстані до епіцентру, геологічної будови ділянки і властивостей гірських порід, які її складають. Отже, інтенсивність землетрусу визначається, в першу чергу, кількістю енергії, яка виділяється в області осередка землетрусу, а потім енергією сейсмічних хвиль.

Енергія землетрусу оцінюється в ергах і джоулях (1 ерг = 1 дж/см; 1 дж = 10^7 ерг). При землетрусах, які викликають руйнування, енергія оцінюється в 10^{12} – 10^{13} дж, а при катастрофічних досягає 10^{17} – 10^{20} дж. Така енергія в декілька мільйонів разів перевищує енергію атомного вибуху. Оскільки енергію, яку виділяє осередок землетрусу, визначити важко, то на сьогодні у світовій практиці її оцінюють умовною енергетичною характеристикою, яку називають *магнітудою* (M).

$$M = \lg A/A^* = \lg A - \lg A^*, \quad (3.1)$$

де A – максимальна амплітуда зміщення частинки породи, яка визначається за сейсмограмою при даному землетрусі, мкм;

A* - амплітуда зміщення частинки породи при деякому дуже слабкому землетрусі, обраному за еталон або стандарт, мкм.

Магнітуда змінюється від 0 при слабких землетрусах до 8,8 при дуже сильних, катастрофічних.

Інтенсивність землетрусу на поверхні Землі оцінюється в балах. Для її визначення користуються спеціальними класифікаціями – шкалами сейсмічної інтенсивності. На сьогодні в Україні застосовують 12-бальну шкалу MSK-64, розроблену групою вчених. В ній використовують декілька ознак. Головними з них є: ступінь пошкодження будівель і споруд, залишкові явища в гірських породах, зміна режиму поверхневих і підземних вод, порушення рельєфу. Для землетрусів низьких балів, коли пошкоджень споруд немає, основними

ознаками стають відчуття людей. У районах із сейсмічністю 6 балів і менше пошкодження будівель і споруд безпечні для життя людей і не знижують міцності споруд. При землетрусах 7 балів і вище у багатьох спорудах з'являються різноманітні, в тому числі й значні, пошкодження і руйнування.

3.11.4. Сейсмічне районування.

Райони з сейсмічністю 6-9 балів займають близько 1/5 всієї території СНД. На небезпечних територіях розташовані 9 столиць колишніх радянських республік, тисячі міст і населених пунктів. На сьогодні існують карти сейсмічного районування. Вони дозволяють отримати орієнтовне уявлення про можливу силу землетрусів, які можуть спостерігатися в районі будівництва. Катастрофічні землетруси приурочені до певних *сейсмічних зон*. Найбільш активною на території СНД є зона Далекого Сходу, вона найактивніша на всій земній кулі. Другою зоною є Середня Азія (Памір і Тянь-Шань). В Україні це Крим і Карпати, де землетруси виникають на обмежених площах і зрідка досягають сили до 8 балів. Ці зони приурочені до молоді альпійської складчастості. Сейсмоактивні зони при подальшому геологічному вивченні можуть розділятися на ділянки, які відзначаються найбільшою активністю. До їх числа належать:

- а) місця зчленування великих геологічних структурних комплексів, що піддаються вертикальним рухам різної інтенсивності;
- б) периферійні частини геологічних структур, які витримують вертикальні рухи з великими швидкостями;
- в) місця неодноразової зміни спрямування вертикальних зміщень;
- г) зони інтенсивних тектонічних рухів вздовж розломів, що виходять на поверхню або виявлені на великій глибині.

Такі ділянки є небезпечними для будівництва. При сейсмічному мікрорайонуванні міст можуть виділятися ділянки, які відрізняються між собою на один і більше балів. Зустрічаються випадки, коли відмінності в балах між окремими частинами міста становлять всього 1 бал. Тоді вся територія міста оцінюється одним балом, але на ній виділяють більш-менш сейсмонебезпечні ділянки. Карти сейсмічного мікрорайонування дозволяють правильно планувати забудову міських територій, обираючи для будівництва цінних споруд найбезпечніші місця.

Руйнування споруди при землетрусі починається в результаті вертикальних коливань, що викликаються глибинними поздовжніми хвилями стискання. Ці коливання найсильніше впливають на жорсткі споруди (наприклад, цегляні будинки), вони порушують їх монолітність, викликають появу тріщин. Подальше руйнування відбувається під впливом коливань, викликаних приходом довгоперіодичних глибинних поперечних і поверхневих хвиль. Ці коливання спричиняють руйнування і гнучких споруд.

Найменше руйнуються підземні споруди (резервуари, тунелі, колодязі). Інерційні сили, які в них утворюються, передаються навколишнім гірським породам, що зменшує напруження в таких спорудах. У надземних спорудах найменше піддаються руйнуванню фундаменти, значно легше руйнуються стіни. Найслабкішими місцями є кути, примикання і перетинання стін.

3.11.5. Умови будівництва в сейсмічноактивних районах.

Для надання будівлям і спорудам необхідної сейсмостійкості застосовуються різні архітектурні і конструктивні заходи. Вони забезпечують спорудам просторову зв'язаність, жорсткість і стійкість. Для цього використовуються жорсткі каркаси, рами, контрфорси, обв'язки, обшивки, а також спеціальні антисейсмічні пояси. Обмежуються габарити споруд (із збільшенням розмірів збільшується небезпека перекосів і розтягуючих напружень) та їх поверховість. Якщо будівля перевищує припустимі розміри, то вона розділяється

антисейсмічними швами на окремі відсіки простої форми. Фундаменти споруд підсилюються армуванням. Як антисейсмічний захід, використовується штучне закріплення ґрунтів в основах.

Застосування таких заходів вимагає значних додаткових економічних витрат. Тому вибір заходів робиться залежно від призначення будівлі та її довговічності. Монументальні будівлі, особливо капітальні, споруди громадського призначення є спорудами найвищої категорії складності, тому їх бальність підвищується на одиницю. Інші споруди віднесені до середніх категорій, а тимчасові споруди і полегшені господарські споруди – до найнижчої категорії. Всі споруди останньої категорії, незалежно від бальності району будівництва, мають розрахункову сейсмічність 6 балів і тому застосування антисейсмічних заходів не потребують.

Запитання для самоконтролю.

1. Чим викликаються землетруси?
2. Охарактеризуйте плутонічні і тектонічні землетруси.
3. Поясніть механізм утворення землетрусів (за Г.О.Гамбурцевим).
4. Поясніть терміни «гіпоцентр» і «епіцентр» землетрусу.
5. Яким чином оцінюється сила землетрусів? Що таке магнітуда?
6. Як виконується сейсмічне районування територій?
7. Назвіть інженерні заходи, що застосовуються для підвищення сейсмостійкості споруд.

3.12. Процеси, пов'язані з інженерно-господарською діяльністю людини.

3.12.1. Стискання ґрунтів під спорудами.

При будівництві різних цивільних, промислових, гідротехнічних та інших будівель і споруд на товщу гірських порід (природну основу) передаються додаткові напруження величиною 0,1-0,5 МПа, а в окремих випадках до 1,5-2,5 МПа. Додатковий тиск викликає стискання товщі гірських порід і осідання поверхні землі разом із спорудою. Інколи тиск, що передається на основу, виявляється настільки значним, що порода під фундаментом не витримує напружень, руйнується і витискається з-під фундаментів у вигляді валів. Одночасно будівля дає значну за величиною і нерівномірну осадку, що має, як правило, катастрофічний вигляд. Це явище називається *випиранням* порід.

Величина осідання і його розвиток у часі залежить від двох груп чинників. Перша група чинників належить до особливостей власне споруди (вага споруд, розміри і тип фундаментів, глибина їх закладення). Друга група стосується геологічної будови основи (умови залягання порід, їх склад, фізичний стан і властивості порід). Вивчення першої групи належить до галузі механіки ґрунтів і науки про основи і фундаменти. Вивченням другої групи займаються ґрунтознавство, інженерна геологія і механіка ґрунтів.

Осідання природних основ споруд становить собою зовнішній прояв внутрішніх деформацій, що відбуваються в гірських породах при передачі на них тиску. Такі деформації поділяються на три види: пружні, структурно-адсорбційні і структурні.

Пружні деформації пов'язані з переміщенням вузлів кристалічної решітки в мінералах, з яких складаються гірські породи. Ці деформації характеризуються незначними величинами і великого практичного значення не мають.

Структурно-адсорбційні деформації пов'язані зі зміною товщини водних плівок у місцях контакту між частками гірської породи. При збільшенні зовнішнього тиску товща водних плівок зменшується, при зменшенні тиску – збільшується. У першому випадку відбувається стискання породи, у другому – набрякання. Такі деформації мають практичне значення в породах, де плівки адсорбційної води досягають значної потужності (глини).

Структурні деформації пов'язані з переміщенням часток гірських порід у напрямку пор, що їх відокремлюють. В результаті відбувається зменшення об'єму гірських порід і одночасно збільшення їх щільності й міцності. Цей вид деформацій є основним у пухких породах всіх типів. Розвитку структурних деформацій перешкоджають сили тертя між частками, сили молекулярного притягання і різноманітні структурні зв'язки.

Абсолютна величина і відносне значення вказаних видів деформацій і осідання, які ними викликаються, залежать від типу порід. У скельних і напівскельних породах спостерігаються два види деформацій: 1) пружні і 2) деформації, пов'язані із закриттям тріщин. Останні в більшості випадків переважають. Величини деформацій таких порід від впливу промислових і цивільних споруд дуже невеликі і практичного значення не мають. Тому ці породи оцінюються як такі, що практично не стискаються. Деформації піщаних порід належать в основному до типу структурних і пов'язані з переміщенням часток у бік пор. Завдяки наявності між піщаними частками сил тертя, структура піщаних порід важко перебудовується під час статичного навантаження. Тому стисливість піщаних основ під спорудами зазвичай є незначною і не перевищує, як правило, декількох сантиметрів (при тиску 0,2-0,5 МПа). Деяко підвищеною стисливістю наділені слабко ущільнені піски (тонкі й пілуваті).

Піщані основи значно чутливіші до динамічних навантажень (особливо неущільнені дрібнозернисті водонасичені піски). Пояснюється це тим, що при струсах у пісках виникають висхідні течії води, які підважують тверді частки. При цьому різко знижується внутрішнє тертя між частками піску, яке пропорційне нормальному тиску. В результаті відбувається перебудова структури піску, що супроводжується його ущільненням. Динамічні впливи можуть проявлятися при забиванні паль, дії вибухових хвиль, ударних і вібраційних навантаженнях, швидкому підйомі і спаді рівнів ґрунтових вод. Ознаками, що вказують на небезпеку розрідження піску при динамічних навантаженнях, вважаються: дрібнозернистий склад, його однорідність і пухка будова зі щільністю, меншою від $1,55 \text{ г/см}^3$, водонасичений стан і мале привантаження.

Глинисті породи мають набагато більшу стисливість у порівнянні з попередніми. Деформації в цих породах належать в основному до типу структурних і структурно-адсорбційних. Осідання природних основ з глинистих порід коливається від кількох сантиметрів (діагенетичні глинисті породи, морські суглинки) до кількох десятків сантиметрів (лиманні і озерні відклади, сучасні алювіальні відклади). Під гідротехнічними та іншими масивними спорудами сумарна величина осідання може становити до кількох метрів. Прогнозні розрахунки осідань споруд виконуються методами механіки ґрунтів.

Велике практичне значення має розвиток осадки споруд в часі. Цей процес отримав назву *консолідації*. Практика показує, що тривалість осідання залежить від будови, літологічного складу і стану гірських порід. У більшості випадків вона завершується в будівельний період, але інколи розтягується на роки і навіть десятиліття. Найшвидше завершуються деформації у скельних породах. Порівняно швидко завершується консолідація піщаних порід, а у глинистих затягується на місяці і роки. Існує так звана *теорія фільтраційної консолідації*, згідно з якою головну роль відіграє відтискання води, що заповнює поровий простір, оскільки без такого відтискання ущільнення порід стає практично неможливим.

Великі осідання не становлять безпосередньої небезпеки для споруди, якщо вони цілком рівномірні. В цьому випадку у тілі споруди не виникає небезпечних розтяжних і згинаючих напружень, які погано витримує цегляна кладка, бетон та інші будівельні матеріали. Однак на практиці рівномірна осадка спостерігається як рідкісний випадок і лише при невеликих її значеннях. Пояснюється це, з одного боку, особливостями напружень під фундаментами споруд, а з іншого – неоднорідністю товщі гірських порід в основах.

Нормальні стискаючі напруження під фундаментом концентруються в його основній, центральній частині. Тому навіть при цілком рівномірному навантаженні поверхня основи повинна прийняти форму чаші, ввігнутої в центрі і піднятої по краям. Вирівняти осадку

могли б або нерівномірне завантаження фундаменту із збільшенням навантаження по краях, або застосування ідеально жорсткого фундаменту. Але ці заходи практично нездійсненні. Тому навіть при цілком однорідній основі нерівномірність осадок є неминучою. Під граничною деформацією природної основи розуміють деформацію, яка приводить надфундаментну будову в такий стан, що не задовольняє експлуатаційним вимогам.

3.12.2. Деформації, пов'язані зі зміною побутового тиску.

Зміна побутового тиску в природних умовах відбувається в міру накопичення чи знесення товщ пухких відкладів. Ці процеси відбуваються повільно, вимірюються геологічними відрізками часу і з точки зору інженерної практики значення не мають. Велике практичне значення має зміна побутового тиску, пов'язана з влаштуванням глибоких котлованів, будівництвом каналів, розробкою корисних копалин. Глибини котлованів досягають інколи значних розмірів (до 100-200 м). Видалення порід на такі глибини викликає значне розвантаження порід, що залягають на дні котлованів. При глибині котлованів 30-40 м розвантаження складає 0,6-0,8 МПа, а при глибині розрізу в 100-150 м – 2-3 МПа.

Якщо на дні котловану чи розрізу залягають піщані або скельні породи, то навіть значне розвантаження викличе тільки невеликі за розмірами пружні деформації. Якщо ж породи глинисті, то зменшення побутового тиску викличе розвиток адсорбційно-структурних деформацій, які призведуть до набрякання глинистих порід. Спостереження показують, що одночасно відбувається міграція води до місця зняття побутового тиску із сусідніх, більш завантажених ділянок. Тому в області розвантаження часто спостерігається збільшення вологості породи. Вода, що надходить, сприяє подальшому розростанню водно-адсорбційних плівок, які розсувають мінеральні частки, викликаючи структурні деформації породи і подальше її набрякання.

Наслідком набрякання є підняття дна котлованів і розрізів, що може досягати від кількох до 20-30 см. Саме по собі таке підняття великого практичного значення не має. Небезпека явища полягає в тому, що під час набрякання відбувається поступове розущільнення глинистих ґрунтів, яке супроводжується зниженням їх міцності і збільшенням стисливості. В результаті властивості порід стануть вже іншими, ніж були до початку будівництва. Тому і всі розрахунки можуть виявитися помилковими. Це стосується як розрахунків кінцевих осідань споруд, так і розрахунків стійкості природної основи. Для уникнення вказаних помилок слід виконати лабораторне вивчення розпушування глинистих ґрунтів і встановити його вплив на показники міцності і стисливості ґрунтів в умовах, що максимально моделюють природну обстановку.

3.12.3. Гірничий тиск.

Під час будівництва підземних споруд виникає необхідність розрахунку стійкості покрівлі і стін закладених в товщу порід гірничих виробок. Це пов'язано з визначенням напруженого стану товщі гірських порід, який виникає внаслідок утворення в масиві породи порожнин (гірничих виробок) і носить назву *гірничого тиску*.

Один із проявів гірничого тиску – переміщення гірських порід над виробленим простором, що називається зрушенням гірських порід. Воно може досягати денної поверхні і тоді говорять про зрушення земної поверхні. В районах, де над гірничими виробками розташовані населені пункти, ці явища можуть викликати деформації споруд, а інколи й їх руйнування. Змінюється природний напружений стан масиву гірських порід. Виникає досить складна картина розподілу напружень поблизу гірничої виробки: стискаючі напруження концентруються по бокових стінках виробки і розвантажуються в покрівлі, де стискаючі напруження змінюються розтягуючими.

Зміни напруженого стану тягнуть за собою деформації товщі гірських порід поблизу виробки. Якщо вони не виходять за межі пружних деформацій чи мають вигляд повільних пластичних деформацій, то порушення стійкості не відбувається, і підземні виробки можуть існувати без кріплення (наприклад, виробка невеликого перетину в скельних породах не вимагає кріплення). Однак у більшості випадків напруження перевищують межі міцності порід, через що починається їх руйнування, з'являються тріщини, відбувається обрушення окремих брил чи всієї покрівлі виробки. Основною причиною, що викликає гірничий тиск, є сила тяжіння, тобто вага товщі порід. Виникнення гірничого тиску пов'язане також зі зміною фізичного стану порід (набрякання і усадка, температурні коливання, тектонічні напруження та ін. чинники).

В початковий період розвитку гірничої справи і будівництва тунелів вважалося, що гірничі виробки, на якій би глибині від поверхні вона не була закладена, завжди перебуває під тиском, що дорівнює вазі товщі порід, які залягають над нею. Це було як аксіома. Але пізніші спостереження і досвід показали, що тиск, який передається на кріплення гірничих виробок, є значно меншим, ніж вага всього стовпа порід, що залягають над цією виробкою. Для пояснення цього явища були висунуті гіпотези про "склепіння природної рівноваги", про розвантажуючу арку тиску, про консольну плиту (балку) та ін.

Гіпотеза про "склепіння природної рівноваги" була розроблена одним із основоположників теорії гірничого тиску професором М.М.Протодьяконовим. Згідно з цією гіпотезою, над виробленим простором утворюється склепіння природної рівноваги, що має форму параболи. Величина тиску на кріплення виробки дорівнює вазі породи, яка знаходиться всередині цього контура. Відповідно до цього, тиск гірських порід на кріплення з боку покрівлі, віднесений до 1 м довжини виробки, може бути обчислений за формулою:

$$P = 4/3 av\rho, \quad (3.2)$$

де ρ – щільність породи, т/м³;

a – напівпроліт виробки (половина її ширини у верхній частині), м;

v – висота склепіння природної рівноваги, м.

Величина v приймається залежно від коефіцієнта міцності порід f (за М.М.Протодьяконовим).

Дослідження показали, що утворення висота склепіння природної рівноваги спостерігається тільки при порівняно невеликій (відносно глибини залягання) ширині виробок. При великій ширині склепіння обрушується і починаються переміщення гірських порід від контура виробки до денної поверхні.

3.12.4. Осідання земної поверхні під впливом відкачувань підземних вод або рідких чи газоподібних корисних копалин.

Особливо часто осідання поверхні викликається штучним зниженням рівня ґрунтових вод або зниженням напору артезіанських вод внаслідок довготривалої експлуатації водоносних горизонтів. Тверді мінеральні частки нижче рівня підземних вод перебувають у підваженому стані і втрачають у своїй вазі стільки, скільки важить витіснена ними вода (закон Архімеда). В результаті щільність підваженої породи виявляється меншою, ніж у породи, яка залягає вище рівня підземних вод. Величина зваженої щільності $\rho_{зв}$ може бути обчислена так:

$$\rho_{зв} = (\rho_s - \rho_v) / (1 + \varepsilon), \quad (3.3)$$

де ρ_s – щільність часток породи, г/см³;

ρ_v – густина води (1г/см³);

ε - коефіцієнт пористості.

Зменшення величини щільності породи тягне за собою зменшення побутового тиску.

При зниженні рівня ґрунтових вод на Δh збільшення побутового тиску дорівнює:

$$\Delta P_{\text{поб}} = \Delta h (\rho - \rho_{\text{зв}}). \quad (3.4)$$

Різницю $(\rho - \rho_{\text{зв}})$ можна орієнтовно прийняти рівною одиниці ($\rho_{\text{зв}} \approx 1,0-1,1 \text{ т/м}^3$). Тоді можна вважати, що збільшення побутового тиску (в т/м^2) чисельно дорівнює величині зниження рівня ґрунтових вод (в м): $\Delta P_{\text{поб}} \approx \Delta h$.

Під час довготривалих відкачувань з метою водопостачання зниження рівня ґрунтових вод вимірюється в окремих випадках десятками метрів, а збільшення побутового тиску досягає кількох десятків тон на м^2 . Таке значне збільшення побутового тиску може викликати значні і нерівномірні (у відповідності з формою депресійної поверхні) осідання.

Осідання поверхні можуть бути викликані також відкачуванням напірних підземних вод, нафти, тому що в цьому випадку знижується тиск на підшву пласта, який перекриває водоносний чи продуктивний горизонт.

Завдяки зваженому тиску порода, яка вміщує нафту, газ чи напірні води, приймає на себе не всю вагу товщ, що залягають вище, а вагу цих товщ, зменшену на розмір зваженого тиску. Зниження напору в результаті довготривалих відкачок води, нафти чи випуску газу тягне за собою зменшення зваженого тиску і рівне за величиною збільшення тиску на вмісні породи.

Запитання для самоконтролю.

1. Як відбувається стискання ґрунтів в основах споруд та їх випирання?
2. Якими бувають деформації гірських порід під впливом тиску?
3. Дайте характеристику процесу осідання для різних геологічних типів гірських порід.
4. Поясніть суть процесу фільтраційної консолідації порід.
5. Як відбуваються деформації, пов'язані зі зміною побутового тиску на породи?
6. За яких умов і де виникає гірничий тиск?
7. Поясніть суть гіпотези про «склепіння природної рівноваги».
8. Чому відбувається осідання гірських порід внаслідок відкачувань підземних вод?

РОЗДІЛ 4. СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА СКЛАД ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

4.1. Категорії складності інженерних споруд.

Проектування основ і фундаментів інженерних споруд починають із вивчення факторів, що визначають вибір проектних рішень. Серед них найбільшу значущість мають:

- 1) ступінь відповідальності будівлі чи споруди, їх конструктивні та архітектурно-планувальні особливості;
- 2) навантаження, які враховують в розрахунках;
- 3) дані інженерно-геологічних і гідрогеологічних вишукувань на будівельному майданчику;
- 4) місцеві умови будівництва;

Для проектування конструкцій будівель чи споруд цивільного призначення, залежно від їх архітектурної й технічної складності, згідно з Державними будівельними нормами (ДБН) А. 2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектною документації для будівництва» встановлено 5 категорій складності.

До I категорії складності відносяться архітектурно й технічно нескладні об'єкти (господарські будівлі при житлових будинках, садові літні будиночки, відкриті ринки тощо).

До II категорії складності відносяться архітектурно нескладні, але технічно складні, або технічно нескладні, але архітектурно складні об'єкти (1-3-поверхові садибні житлові будинки, будинки сільських рад, аптеки, туристичні бази, бари, РАГСи, підприємства зв'язку тощо).

До III категорії складності відносяться архітектурно й технічно складні об'єкти (2-10-поверхові житлові багатоквартирні будинки, готелі 3 і 4 розрядів, дитячі ясла, загальноосвітні школи, будинки страхових компаній, будинки архівів, профілакторії, спортивні зали, бібліотеки, ресторани, автовокзали, відділення зв'язку, монастирі тощо).

До IV категорії складності відносяться архітектурно складні, але технічно особливо складні, або технічно складні, але архітектурно особливо складні об'єкти (багатоповерхові (понад 10 поверхів) житлові будинки всіх типів, готелі 1 і 2 розряду, ліцеї, університети, банки, поліклініки, кінотеатри тощо).

До V категорії складності відносяться архітектурно й технічно особливо складні об'єкти (багатоповерхові архітектурні житлові комплекси зі складною структурою, готелі вищого розряду, театри, цирки, залізничні вокзали, аеропорти, телецентри, храми, підземні лінії метрополітену тощо).

Категорії складності об'єктів виробничого призначення встановлюються окремо, згідно відповідного рішення Міністерства регіонального розвитку та будівництва України.

4.2. Класифікація інженерно-геологічних умов ділянок будівництва інженерних споруд.

Залежно від геоморфологічних, геологічних і гідрогеологічних чинників розрізняють *три категорії складності* інженерно-геологічних умов ділянок будівництва інженерних споруд.

Ділянка I (*простой*) категорії розташовується в межах одного геоморфологічного елемента; поверхня ділянки горизонтальна, не розчленована; ґрунтові пласти залягають горизонтально або слабо похило (рис. 1, а), їх потужність витримана за простяганням; підземні води відсутні або є витриманий горизонт з однорідним хімічним складом.

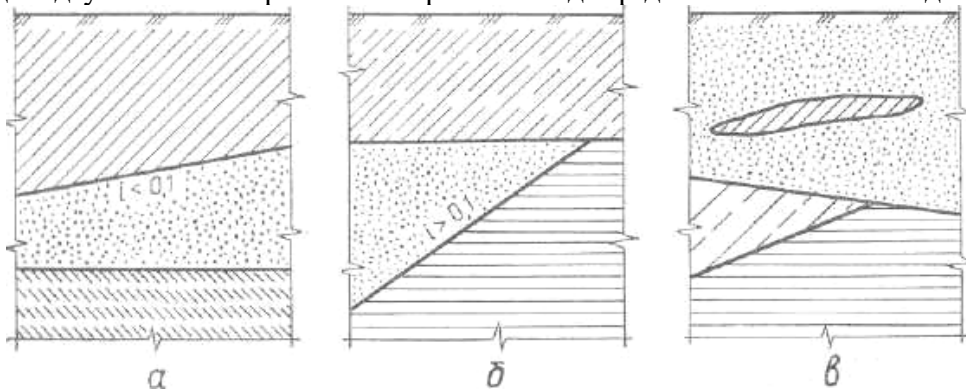


Рис. 4.1. Ґрунтові нашарування:

а - згідне залягання; б - похиле виклинювання пластів; в - лінзоподібне залягання пластів

Ділянка II (*середньої*) категорії складності включає декілька геоморфологічних елементів одного генезису; поверхня похила, слабо розчленована; у сфері взаємодії будівель і споруд із геологічним середовищем розташовується не більше чотирьох різних за літологією шарів, що залягають похило або з виклинюванням (рис. 1,б), потужність шарів змінюється за простяганням закономірно; підземні води мають два або більше витриманих горизонти з неоднорідним хімічним складом або горизонти є напірними.

Ділянки III категорії характеризуються складними інженерно-геологічними умовами: наявністю декількох геоморфологічних елементів різного генезису, поверхня сильно розчленована; у межах ґрунтової товщі розташовується понад чотири різні за літологією шари, потужність яких різко змінюється за простяганням, можливо лінзовидне залягання шарів (рис. 1,в); горизонти підземних вод невитримані за простяганням і за потужністю, мають неоднорідний хімічний склад, місцями можливо складне чергування водоносних і

водотривких порід, напори підземних вод змінюються за простяганням. Крім того, до ділянок третьої категорії складності відносять також будівельні майданчики в умовах залягання структурно-нестійких ґрунтів (просідних і набрякаючих).

Для ділянок III категорії складності умов також додатково виконується оцінка інженерно-геологічних умов забудованих територій, існуючих й експлуатованих будівель і споруд за ступенем соціально-екологічного ризику:

III – умови складні; загроза втрати придатності або руйнування будівель і споруд відсутня;

IIIа – умови особливо складні; є потенційна загроза втрати придатності або руйнування будівель і споруд, а також загроза життєдіяльності населення;

IIIб – екстремальні умови; процеси, що розвиваються, несуть реальну загрозу руйнування будівель і споруд та загрозу життєдіяльності населення.

На ділянках IIIа та IIIб нове будівництво не допускається до вжиття заходів, що усувають загрозу втрати придатності (або руйнування) будівель і споруд та забезпечують життєдіяльність населення.

4.3. Стадії проектування інженерних споруд. Склад та порядок розробки проектної документації.

За прийнятими нормативами в Україні (згідно з ДБН А. 2.2-3-2004) будівництво інженерних споруд здійснюється на підставі затвердженої проектної документації складовими частинами якої є ескізний проект (ЕП); техніко-економічне обґрунтування (ТЕО); техніко-економічний розрахунок (ТЕР); проект (П); робочий проект (РП); робоча документація (Р).

Ескізний проект (ЕП) розробляється з метою принципового визначення вимог до містобудівних, архітектурних, художніх, екологічних і функціональних рішень об'єкту та підтвердження можливості створення об'єкту цивільного призначення.

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) розробляється для об'єктів виробничого призначення, котрі вимагають детального обґрунтування відповідних рішень та визначення варіантів і доцільності будівництва об'єкту. *Техніко-економічний розрахунок (ТЕР)* використовується для технічно нескладних об'єктів виробничого призначення. ТЕО (ТЕР) обґрунтовує потужність виробництва, номенклатуру та якість продукції, кооперацію виробництва, забезпечення сировиною, матеріалами, паливом, електро- та теплоенергією, водою й трудовими ресурсами, включаючи вибір конкретної ділянки для будівництва, розрахункову вартість будівництва та основні техніко-економічні показники.

Проект (П) розробляється з метою визначення містобудівних, архітектурних, художніх, екологічних, технічних, технологічних, інженерних рішень об'єкту, кошторисної вартості будівництва й техніко-економічних показників.

Робочий проект (РП) розробляється для визначення конкретних містобудівних, архітектурних, художніх, екологічних, технічних, технологічних, інженерних рішень об'єкту, кошторисної вартості будівництва, техніко-економічних показників і виконання будівельно-монтажних робіт (робочі креслення). РП використовується для технічно нескладних об'єктів, а також для об'єктів з використанням проектів масового використання.

Робоча документація (Р) розробляється для виконання будівельно-монтажних робіт.

Для технічно нескладних об'єктів I та II категорії складності проектування може здійснюватись:

- в одну стадію – робочий проект (РП);
- у дві стадії – для об'єктів цивільного призначення – ескізний проект (ЕП), а для об'єктів промислового призначення – техніко-економічний розрахунок (ТЕР) та для обох – робоча документація (Р).

Для об'єктів III категорії складності проектування здійснюється в дві стадії:

- проект (П);
- робоча документація (Р).

Для об'єктів IV та V категорії складності проектування здійснюється в три стадії:

- для об'єктів цивільного призначення – ескізний проект (ЕП), а для об'єктів промислового призначення – техніко-економічне обґрунтування (ТЕО);
- проект (П);
- робоча документація (Р).

4.4. Інженерні вишукування для будівництва інженерних споруд.

Інженерні вишукування для будівництва є видом науково-технічної діяльності (згідно із Законом України «Про наукову та науково-технічну діяльність» від 13.12.1991 № 1997), що забезпечує вивчення природних і техногенних умов територій (або ділянок) об'єктів будівництва, розроблення прогнозів взаємодії об'єктів будівництва з навколишнім середовищем, розроблення усіх видів проектів (у тому числі інженерної підготовки територій, захисту територій і об'єктів від небезпечних процесів).

Інженерні вишукування виконують на основі договору підряду згідно з технічним завданням та програмою виконання робіт.

Залежно від порядку розроблення проектної документації (згідно з ДБН А. 2.2-3-2004) обсяги вишукувальних робіт розподіляють таким чином:

- для передпроектних робіт, а також для розроблення *ескізного проекту* (ЕП) – на основі літературних, фондових джерел (враховуючи й державний картографо-геодезичний фонд) і обґрунтованого обсягу польових і лабораторних робіт;
- на стадіях: *техніко-економічне обґрунтування (ТЕО)* чи *техніко-економічний розрахунок (ТЕР)*, *проект (П)* або *робочий проект (РП)* – основні обсяги вишукувань (до 100%);
- на стадії *робочої документації (Р)* – додаткові обсяги вишукувальних робіт за відповідного обґрунтування в технічному завданні.

У всіх випадках *склад і обсяги* вишукувальних робіт визначає вишукувальна організація з урахуванням таких чинників:

1. вид будівництва (мета вишукувань);
2. регіональні, територіальні та локальні особливості території (складність умов);
3. ступінь вивченості території;
4. стадія проектування.

До складу інженерних вишукувань входять наступні види робіт.

1. Інженерно-геодезичні вишукування. Вони повинні забезпечувати отримання топографо-геодезичних матеріалів і даних про ситуацію та рельєф місцевості, розташування й характеристики існуючих будівель і споруд та інших елементів планування, необхідних для комплексного оцінювання природних і техногенних умов території будівництва й обґрунтування можливості проектування, створення та ведення державних кадастрів, забезпечення управління територією і ризиками надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру тощо.

2. Інженерно-геологічні вишукування. Вони виконуються з метою вивчення та оцінки інженерно-геологічних умов території (або ділянки) будівництва для:

1. визначення характеристик інженерно-геологічних умов території та отримання вихідних даних для проектів будівництва;
2. прогнозування змін інженерно-геологічних умов під дією природних і техногенних факторів, визначення допустимих впливів на елементи геологічного середовища та способів досягнення потрібного стану цього середовища;
3. оцінювання ризику життєдіяльності людини на конкретних територіях;
4. розроблення проектів захисту територій та окремих об'єктів від несприятливих і небезпечних процесів.

За складом інженерно-геологічні вишукування є комплексними і включають види робіт, які направлені на вивчення геологічної будови, стану та властивостей ґрунтів, гідрогеологічних умов, інженерно-геологічних процесів і явищ, а також на розроблення основних прогнозів.

У ході інженерно-геологічних вишукувань використовують *маршрутні спостереження, геофізичні роботи, бурові та гірничопрохідницькі роботи, геотехнічні вишукування, лабораторні роботи, польові дослідні роботи, гідрогеологічні вишукування, дослідно-фільтраційні роботи, гідрохімічне випробування та хімічний аналіз підземних вод, стаціонарні спостереження та камеральне опрацювання матеріалів.*

3. Геотехнічні та інженерно-гідрогеологічні вишукування.

До *геотехнічних вишукувань* відносять роботи, які виконують у комплексі інженерно-геологічних вишукувань або окремо з метою вивчення 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 включають в себе:

1. визначення складу, стану і властивостей ґрунтів;
2. прогноз змін стану і властивостей ґрунтів під впливом різних факторів (зволоження, обводнення та осушення, термічні впливи, статичні і динамічні навантаження);
3. прогнозну оцінку стійкості схилів і укосів;
4. моделювання та розроблення рекомендацій з підвищення стійкості природних і створення штучних геотехнічних масивів ґрунтів;
5. розроблення рекомендацій із влаштування основ, фундаментів і захисних споруд;
6. розроблення рекомендацій із використання природних і штучних ґрунтових матеріалів у будівництві.

Інженерно-гідрогеологічні вишукування виконують у комплексі інженерно-геологічних вишукувань або окремо з метою одержання відомостей про інженерно-гідрогеологічні умови території і даних для проектів будівництва або проектів захисту будівель, споруд і територій від небезпечних процесів.

Види й обсяги інженерно-гідрогеологічних робіт визначаються цільовим призначенням вишукувань і ступенем гідрогеологічної вивченості території.

До складу інженерно-гідрогеологічних вишукувань входять:

1) *дослідно-фільтраційні роботи* (відкачки, наливи, нагнітання) виконують з метою одержання гідрогеологічних параметрів для розрахунків дренажів, водознижувальних систем, протифільтраційних завіс, водопритоку в котловани й колектори, тунелі, витоків із водосховищ, накопичувачів, а також для розроблення прогнозів;

2) *гідрохімічне опробування та хімічний аналіз підземних вод* виконують для оцінки агресивних властивостей води до бетонів і металів, а також для оцінки видів і ступеня забруднення підземних вод; число відібраних проб і аналізів повинне бути не меншим трьох;

3) *стаціонарні спостереження* проводять з метою отримання інформації про розвиток інженерно-геологічних та гідрогеологічних процесів, їх циклічність, вплив на стан і експлуатаційну придатність будівель і споруд.

4. *Інженерно-гідрометеорологічні вишукування* здійснюють з метою комплексного вивчення природних умов навколишньої території та локальних умов об'єкта, що проектується, визначення розрахункових кліматичних і гідрологічних характеристик у обсягах, необхідних для вибору майданчика будівництва та прийняття проектних рішень. При визначенні складу цих видів вишукувань необхідно враховувати регіональний характер поширення небезпечних явищ і процесів.

До складу інженерно-гідрометеорологічних вишукувань входять:

1) *інженерно-метеорологічні вишукування*, які виконують для визначення метеорологічного режиму та кліматичних характеристик території, мікрокліматичних особливостей майданчика об'єкта будівництва, наявності та ступеня впливу небезпечних метеорологічних явищ і процесів;

2) *інженерно-гідрологічні вишукування*, які виконують для визначення гідрологічного режиму території суходолу, прилеглою до майданчика будівництва, режиму водних об'єктів, у зоні впливу яких перебуває майданчик, визначення розрахункових гідрологічних характеристик, ступеня впливу небезпечних гідрологічних явищ і процесів;

5. *Вишукування для раціонального використання та охорони навколишнього середовища* виконують у складі комплексних інженерних вишукувань для будівництва (або окремо) з метою:

1. оцінки сучасного стану основних компонентів навколишнього середовища (літосфери, гідросфери, атмосфери, біосфери) для подальшого врахування в проекті;

2. розроблення матеріалів оцінки впливів об'єктів і господарської діяльності на навколишнє середовище (ОВНС) у складі проектної документації для нового будівництва, реконструкції, технічного переоснащення або ліквідації об'єктів відповідно до ДБН А. 2.2-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва»;

3. прогнозування можливих змін при збереженні існуючих тенденцій і при планованих впливах;

4. виявлення геопатогенних зон;

5. розроблення рекомендацій з регулювання впливів, інженерної підготовки освоєної (освоєної) території та особливостей конструкцій будинків і споруд, а також рекомендацій зі створення сприятливих екологічних умов;

6. розроблення заходів щодо охорони навколишнього середовища.

б. *Спеціалізовані вишукування* (умовно вишукувальні роботи) виконують з метою забезпечення органів управління, юридичних і фізичних осіб продукцією, що може бути отримана за допомогою технічного та інтелектуального потенціалу вишукувальних організацій.

До спеціалізованих вишукувань відносять:

1. моніторинг навколишнього середовища в межах населених пунктів (об'єктів);

2. контроль стану об'єкта (інжиніринг);

3. інвентаризацію земель і кадастрові роботи;

4. геодезичне забезпечення в процесі будівництва;

5. пошук і розвідку підземних вод;

6. проектування та буріння розвідувально-експлуатаційних свердловин для питного й технічного водопостачання;

7. розвідування ґрунтових будівельних матеріалів;

8. обстеження ділянок для розроблення проектів локальної реконструкції ландшафтів;

9. бурові та гірничопрохідницькі роботи в процесі будівництва й реконструкції;

10. дослідження забруднення ґрунтів і підземних вод;

11. роботи із санації територій, забруднених нафтопродуктами та іншими хімічними речовинами;

12. створення штучних геотехнічних масивів (основ);

13. випробування натурних паль.

4.5. Інженерно-геологічне випробування.

Це процес виявлення складу, стану та інженерно-геологічних особливостей порід, що залягають в основах споруд. Таке випробування здійснюється шляхом відбору проб порід у геологічних виробках, свердловинах, відслоненнях для подальшого визначення їх властивостей. Інженерно-геологічне випробування проводиться на всіх стадіях інженерно-геологічних досліджень. Детальність випробування підвищується в міру переходу до більш пізніх стадій дослідження. Необхідно розрізняти терміни “зразок”, “проба”, “моноліт”.

Зразком слід називати будь-який об'єм породи, відібраний з метою подальшого геологічного вивчення чи візуального опису.

Інженерно-геологічна проба – це строго визначений об'єм породи, який використовується для випробування в лабораторних і польових умовах, з метою визначення якого-небудь показника складу, стану або фізико-механічних властивостей.

Монолітом називається зразок породи, відібраний зі збереженням її природної вологості і структури. Із моноліта можна також брати проби і з їх порушенням.

Інтервалом випробування слід називати відстань між пробами по вертикалі, а *кроком випробування* – відстань між пробами по горизонталі.

Весь процес інженерно-геологічних випробувань складається із наступних операцій:

- 1) вибір методу інженерно-геологічної оцінки масиву гірських порід;
- 2) визначення системи випробування;
- 3) відбір проб чи виконання спостережень;
- 4) обробка проб;
- 5) аналіз проб лабораторними і польовими методами, включаючи вибір системи показників і методів їх визначення;
- 6) обробка експериментальних даних;
- 7) вибір і обчислення розрахункових значень показників фізико-механічних властивостей порід.

Запитання для самоконтролю.

1. На які категорії за складністю поділяються інженерні споруди?
2. Якими є категорії складності інженерно-геологічних умов ділянок будівництва?
3. Назвіть стадії проектування інженерних споруд. Які завдання розв'язуються на кожній з них?
4. Які вишукування входять до складу інженерних?
5. Які завдання розв'язуються під час інженерно-геологічних вишукувань?
6. Які види робіт входять до складу інженерно-гідрогеологічних вишукувань?
7. Для чого виконуються інженерно-метеорологічні та інженерно-гідрологічні вишукування?
8. Поясніть суть вишукувань для раціонального використання та охорони навколишнього середовища.
9. Що таке спеціалізовані вишукування?
10. Поясніть значення термінів «зразок», «проба», «моноліт», «інтервал випробування», «крок випробування».

РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД.

У практиці інженерно-геологічних досліджень застосовуються наступні методи інженерно-геологічної оцінки масивів гірських порід: 1) непрямий; 2) інженерно-геологічних аналогій; 3) типізації; 4) природно-статистичний; 5) механіко-математичні.

Непрямий метод. До факторів, які непрямом (опосередковано) характеризують інженерно-геологічні умови, належать:

- 1) умови осадконакопичення, діагенез; 2) тектонічні умови; 3) геоморфологічні умови;
- 4) літолого-петрографічний склад порід; 5) гідрогеологічні умови; 6) геоботанічні ознаки; 7) характер фізико-геологічних процесів.

Умови осадконакопичення і діагенез впливають на механічний, хімічний і мінеральний склад порід. Цього вже досить для орієнтовного прогнозу інженерно-геологічних властивостей порід і їх поведінки в сфері впливу споруди. (Наприклад, якщо в результаті

вивчення тектонічних умов встановлено, що масив порід залягає в ядрі антикліналі, то скоріше за все вони матимуть значну тріщинуватість).

Всі перераховані ознаки не дозволяють дати точної цифрової оцінки інженерно-геологічних умов, але характеризують їх непрямо, побічно. Тому метод застосовується тільки на ранніх стадіях досліджень.

Метод інженерно-геологічних аналогій. Він полягає у виявленні інженерно-геологічних умов будівництва і експлуатації даної споруди та у знаходженні аналогічних умов зведення споруд у минулому. Метод вперше запропонований Ф.П.Саваренським при вивченні зсувних схилів, коли треба вивчати сусідні ділянки, щоб виявити зсуви, які відбулися в аналогічних умовах. За такими зсувами можна з більшим чи меншим ступенем вірогідності встановити положення майбутньої поверхні ковзання, об'єм зсувних тіл, а часто і причини зсуву.

Метод типізації полягає в тому, що для порід, які вивчаються, визначаються класифікаційні і непрямі показники (склад, пластичність, вологість, пористість, консистенція). За їх допомогою у розрізі виділяють інженерно-геологічні тіла, наділені приблизно однаковими інженерно-геологічними властивостями, тобто виділяють інженерно-геологічні види порід. На підставі достатньої кількості цих показників виконують розрахунки за будівельними нормами, визначають поведінку порід в різних умовах. Порівнюючи оцінки окремих інженерно-геологічних видів порід, обирають найкращі з них як майбутні основи споруд.

Природно-статистичний метод. Ідея методу полягає в тому, що в природних умовах геологічні процеси прагнуть прийти в стан рівноваги з умовами довкілля. Ця рівновага триває до того моменту, поки які-небудь штучні чи природні причини не змінять умови довкілля. Метод дозволяє отримувати цифрові дані, що характеризують стійкість порід у даних кліматичних, геологічних, гідрогеологічних та ін. умовах.

Для отримання таких даних під час інженерно-геологічної зйомки виконують масові виміри параметрів, які цікавлять дослідників (наприклад, кута нахилу стійких укосів), і піддають їх статистичній обробці. Метод може застосовуватися на всіх стадіях і етапах інженерно-геологічних досліджень.

Статистичний метод. Він є аналогом природно-статистичного і зводиться до наступних операцій:

- 1) породи поділяються на інженерно-геологічні елементи (ІГЕ) за геологічними, літолого-петрографічними ознаками і за найпростішими показниками інженерно-геологічних властивостей порід;
- 2) для виділених ІГЕ визначаються показники властивостей порід у кількості, яка забезпечує вірогідність кінцевих даних;
- 3) обчислюються узагальнені значення показників властивостей порід, визначених лабораторними і польовими методами;
- 4) вибираються розрахункові значення показників властивостей порід із введенням різного роду поправок у значення узагальнених показників.

Цей метод інженерно-геологічної оцінки порід є найточнішим і досконалим. Через необхідність виконання значної кількості гірничо-бурових, лабораторних робіт і польових визначень, а також врахування типу і конструкції споруди, цей метод використовується тільки на останній стадії інженерно-геологічних досліджень (по суті, в процесі детальної інженерно-геологічної розвідки).

Механіко-математичні методи ґрунтуються на застосуванні різноманітних принципів механіки, зокрема механіки ґрунтів, і математичних способів для обчислення тих чи інших кількісних параметрів. Сюди належать різні методи обчислення величини й швидкості осідання споруд, ширини смуги переробки берегів водосховищ, коефіцієнтів запасу стійкості укосів. Застосування всіх цих методів можливе тільки при детальному розчленуванні геологічного розрізу і наявності надійних розрахункових значень показників фізико-механічних властивостей гірських порід.

Запитання для самоконтролю.

1. Поясніть суть кожного з методів інженерно-геологічної оцінки масивів гірських порід.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. М:"Недра", 1986, 329 с.
2. Золотарёв Г.С. Инженерная геодинамика. М: из-во МГУ, 1983, 326 с.
3. Золотарёв Г.С. Методика инженерно-геологических исследований. №5. Из-во МГУ, 1990, 384 с.
4. Золотарёв Г.С. Учебное пособие по инженерной геологии. М: Из-во МГУ, 1982, 344 с.
5. Коломенский Н..В. Инженерная геология. К:"Вища школа", 1964, 476 с.
6. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. М:"Недра", т.2, 1977, 478с.; т.3, 1978, 496с.
7. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М:Из-во МГУ, 1982, 384 с.