Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра геології та гідрології

01-05 -36

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з навчальної дисципліни «Інженерна геодинаміка»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за спеціальністю 103 «Науки про Землю»
(освітня програма «Геологія») денної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності
103 «Науки про Землю»
Протокол № 5 від 07.05.2019 р.

Рівне – 2019

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Інженерна геодинаміка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (освітня програма «Геологія») денної форми навчання / Мельничук В. Г. – Рівне : НУВГП, 2019. – 96 с.

Укладач: Мельничук В. Г., доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри геології та гідрології.

Відповідальний за випуск: Мельничук В. Г., доктор геологічних наук, професор, завідувач кафедри геології та гідрології.

Конспект лекцій складено на основі новітніх інженерно-геологічних досліджень, практики проведення інженерних розвідувань, проектування, будівництва та експлуатації споруд в зонах розвитку небезпечних геологічних процесів. Розглядаються загальні питання ендо- і екзодинаміки земної кори, тектоніки, сейсміки, умови розвитку геодинамічних процесів на морських узбережжях, в долинах рік і водоймищ, в гірсько- складчатих областях, на територіях поширення просідних і слабких грунтів, порід, що вилуговуються і руйнуються під дією підземних вод, зазнають сейсмічних впливів, зазнали значних техногенних перетворень. Значна увага приділяється методам оцінки, прогнозу та розрахунків можливості руйнівних, аварійних та катастрофічних проявів геодинамічних процесів, методам їх попередження та запобігання. Викладаються основи інженерного захисту територій, будинків та споруд.

Кончспект лекцій призначено для здобувачів вищої освіти, що навчаються за спеціальністю «Науки про Землю» а також спеціальностями, пов'язанними з будівництвом та гірничою справою.

© Мельничук В. Г., 2019
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2019

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зміст

Вступ…….…….3
Лекція 1. Загальні поняття з інженерної геодинаміки……..…...7
Лекція 2. Ендогенні геологічні процеси та їх походження……...13
Лекція 3. Тектонічні деформації. ……..…….....22
Лекція 4. Деформаційні структури, магматизм та метаморфізм....30
Лекція 5. Екзогенні геологічні процеси на суші…….…..36
Лекція 6..Геологічна діяльність підземних вод, морів, озер та болiт……..…….48
Лекція 7. Геологічна діяльність льоду і сил гравітації. …….…...62
Лекція 8. Деформації ґрунтів в основах споруд. Поширення небезпечних геодинамічних процесів в Україні.....76
Рекомендована література…… ……..……96

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Вступ

Інженерна геологія та її основна складова частина – інженерна геодинаміка головною своєю метою ставлять забезпечення стійкості та надійності інженерних споруд в умовах нестабільності літосфери при одночасному врахуванні впливів людської діяльності (техногенезу) на стан і процеси в геологічному середовищі як частині літосфери, що зазнає впливу цієї діяльності. Масштаби техногенезу в даний час приводять до значних змін властивостей гірських порід верхніх шарів літосфери, характеру розвитку і проявів на поверхні геологічних процесів.

Середовище активної життєдіяльності людини з часу її появи включало основні геосфери – літо-, гідро-, атмосферу і звичайно біосферу, складовою частиною якої є також людина. З розвитком людського суспільства впливи його на оточуюче середовище постійно збільшувались і на сучасному етапі досягли межі, коли ці впливи вже виступають, як деструктивні, що викликають незворотні зміни в усіх геосферах, загрожують руйнуванню біосфери і створенню умов несприятливих, а в окремих випадках і ворожих до життя. Така ситуація в значній мірі виникає з нарощуванням інтенсивності використання літосфери як основного компонента

Національний університет
водного господарства
та природокористування

оточуючого середовища, субстрату життя і діяльності людського суспільства, комори ресурсів, що задовольняють основні потреби людини.

Зміни властивостей літосферного компоненту навколишнього середовища, що відбуваються внаслідок господарської діяльності суспільства, впливають на стан і процеси в усіх інших сферах планети і особливо в біосфері, на умови проживання людини через зміни характеру та інтенсивності протікання різноманітних процесів, що проходять в масивах гірських порід і на денній поверхні. Особливо важливими, такими, що вимагають оцінки та негайного втручання на сучасному етапі, є зміни в верхніх шарах літосфери і зокрема в грунтово-рослинному покриві як трофічній базі людського суспільства.

В Україні понад 70 % території використовується для потреб сільського господарства, ступінь розораності земельних площ становить біля 56%. За даними державного земельного кадастру загальна площа населенних пунктів України станом на 01.01.2001 року становила 7,1 млн. га або 11,8% всіх земель України, в т.ч. площа земель міст і селищ складає близько 3%. На території України розробляється понад 5000 родовищ корисних копалин, функціонують понад 25 тисяч промислових об'єктів. Щороку в Україні видобувається до 2,5 млрд. тон гірської маси, з якої використовується біля 40%, решта йде у відвали. Геологічні тіла, гірські породи в результаті цієї діяльності руйнуються, переробляються, переміщуються, накопичуються у відвалах у вигляді відходів виробництва. Тисячі великих, середніх і малих кар'єрів, що уже відпрацьовані залишені без належної рекультивації. В даний час на території України орієнтовно накопичено біля 25 млрд. $м^3$ відходів і щорічно вони збільшуються на 1 млрд. $м^3$. Значні проблеми виникають тепер в зв'язку з закриттям гірничих підприємств з причин вичерпання запасів корисних копалин, або їх нерентабельності в сучасних умовах.

На господарську освоєність території України вирішальним чином вплинули геологічна будова, що визначає характер рельєфу, гідрографічну мережу, наявність на доступних глибинах речовин, потрібних для життя та діяльності людей, виступає субстратом ландшафтів. Дослідження показують, що з давнини формування

Національний університет
водного господарства
та природокористування
етнічних спільнот відбувалося в межах певних географічних зон і ландшафтів.

Геологічна будова території значною мірою визначила розселення, економіку і навіть історико-культурний розвиток суспільства. В свою чергу господарська діяльність людського суспільства певним чином впливає на літосферу, викликаючи в ній зміни, які залежать від структури народно-господарського комплексу, видів діяльності, динаміки використання земельних ресурсів, надр.

Зміни в літосфері серйозно впливають на зміни в гідро- і атмосфері. Відбувається зміна геофізичних полів–гравітаційного, електромагнітного, магнітного, теплового, радіаційного.

Господарська діяльність людини впливає також на характер протікання екзогенних і ендогенних геологічних процесів, нерідко викликає активізацію природних процесів, розвиток їх в місцях, де в природному стані вони неможливі, виникнення нових процесів, характерних тільки для умов зміненого природного стану.

В перших розділах Посібника розглядаються ендогенні геологічні процеси – тектоніка, неотектоніка, новітня тектоніка, сили, що спричиняються до вертикальних і горизонтальних переміщень в земній корі, процеси в тектоносфері, космічні впливи на планету, без уявлень про які студентам складно загалом зрозуміти динаміку літосфери, характер розвитку і протікання сучасних геологічних процесів Даються поняття про сучасні теорії глобальної тектоніки, зокрема, про тектоніку літосферних плит, колізії плит, про середньо-океанічні хребти, трасформні розломи, явища субдукції літосферних плит і спредінгу, що спричиняються до катастрофічних землетрусів, цунамі.

Детально розглядається сейсмічність території України, що викликана переважно подіями в підкорових осередках (гіпоцентрах) зони Вранча (на стику Східних і Південних Карпат на території Румунії), на континентальному схилі Чорного моря біля берегів Криму, а також окремими осередками в Українських Карпатах.

Студенти ознайомлюються з принципами мікросейсморайонування, з методами регістрації землетрусів, оцінки їх інтенсивності, макроефектами, що виражаються на земній

Національний університет
водного господарства
та природокористування
поверхні і на об’єктах. Розглядаються особливості будівництва в районах з підвищеною сейсмічносттю.

Важливими для студентів є розділи, в яких висвітлюються питання взаємодії атмосфери і гідросфери, що відбувається на берегах водних об’єктів.

Зміни берегової лінії водних об’єктів, переформування та руйнування берегів визначаються природними та техногенними чинниками, впливають на господарське використання самих берегів і прилеглих до них територій, ускладнюють екологічні умови, створюють умови виникнення надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф, особливо в населенних пунктах, де ширина прибережної захисної смуги встановлюється з врахуванням конкретних умов, що склались. Зміни, перетворення та руйнування території відбуваються в основному в межах прибережних захисних смуг на берегових схилах на суші і акваторії.

Серед природних чинників, що викликають зміни і руйнування берегів водних об’єктів визначаються: геологічна будова, геоморфологія, кліматичні умови, тектонічний режим території.

Звертається увага на характер і масштаби руйнувань берегів і в залежності від того визначається необхідність захисту берега та розташованих на ньому об’єктів, вибираються захисні споруди. Питання про закріплення берега знімається якщо можливий допуск відступання берегової лінії при заповненні водосховищ. В цьому випадку берег залишається під руйнівною дією хвиль на визначений період часу (50–100 років). За цей період хвилі розроблюють підводний укос такого нахилу, при якому енергія найбільших хвиль буде цілковито погамовуватись на мілині і подальше руйнування берега призупиниться. Рішення про недоцільність проведення захисних заходів приймається якщо берег не є цінним тепер і не буде таким в найближчому майбутньому.

Розглядаються різноманітні за генезисом, конфігурацією та будовою схили і схилові гравітаційні процеси, серед яких найбільш поширені і руйнівні – зсуви, обвали, селі. Наводяться методи прогнозу, попередження та запобігання руйнівним (катастрофічним) проявам схилових гравітаційних процесів. Обгрунтовуються умови, за яких проводиться укріплення схилів, виконуються протизсувні, протиобвальні та протиселеві заходи. На прикладі схилових

Національний університет
водного господарства
та природокористування

гравітаційних процесів наочно підтверджується дія закону зв'язку процесів і явищ, коли за наявності одних процесів неминуче виникають і розвиваються інші – одні переходять в інші (наприклад: перехід обвалів в зсуви та селі).

Значна увага приділяється просідним явищам в лесових грунтах. Досить повно розглядаються ознаки і властивості просідних (лесових) грунтів, методи визначення величин, що характеризують здатність грунтів до просідання, форми прояву просідних властивостей грунтів, ризики, що виникають при освоєнні територій поширення грунтів схильних до просідання при замочуванні під власною вагою і при додатковому навантаженні. Подаються схеми основних типів заходів, умовами їх проектування і застосування, методи запобігання негативним впливам просідних властивостей грунтів та методи проектування основ будинків та споруд на територіях поширення грунтів з просідними властивостями.

Суфозія і пливуни розглядаються як поширені явища в будівальній і гірничій справі. Нерідко суфозійні виноси піску, прориви пливунів в гірничі виробки, в будівельні котловани відбуваються швидко і спричиняються до зрушень поверхні.

Значні проблеми в будівництві і гірничій справі виникають в районах поширення порід, що карстуються. Наводяться форми прояву карсту, ризики, що виникають при освоєнні закарстованих територій, методи і заходи з захисту територій, будинків та споруд від проявів сольового, сульфатного та карбонатного карсту, схеми основних типів протикарстових заходів, умови їх проектування і застосування.

Лекція 1. Загальні поняття з інженерної геодинаміки.

Геологічне средовище. Геологічні процеси.. Інженерно - геологічні процеси. Техногенні впливи на геологічне середовище.

Інженерна геодинаміка – розділ інженерної геології, що вивчає інженерно-геологічні процеси та явища в геологічному середовищі. Інженерна геодинаміка вивчає ці процеси з точки зору впливів на життя і діяльність людини, досліджує зміни характеру їх протікання

Національний університет
водного господарства
та природокористування
під впливом цієї діяльності, а також розробляє методи їхнього прогнозу та регулювання.

Геологічне середовище – верхня частина літосфери, що являє собою багатокомпонентну динамічну систему (гірські породи, гази, підземні води, фізичні поля – теплові, гравітаційні, електромагнітні тощо), в межах якої здійснюється інженерно-господарська (у тому числі інженерно-будівельна) діяльність.

Сфера взаємодії (СВ) геологічного середовища зі спорудою являє собою *інженерно-геологічне тіло* (області літосфери), яке знаходиться під спорудами (вміщує їх), де змінюється протікання природних геологічних процесів і розвиваються інженерно-геологічні процеси. Останні можуть відбуватись при взаємодії геологічного середовища з наземними спорудами, з підземними спорудами, наземними і підземними гірничими виробками, будівельними котлованами, штучними водоймами і водостоками.

Геологічні процеси – зміни стану компонентів геологічного середовища у часі і у просторі під впливом природних факторів. Геологічними процесами є події, які викликають утворення, руйнування і перетворення гірських порід, а також зміни в складі і будові земної кори. Вони вивчаються *динамічною геологією (геодинамікою)*.

Причинами зародження і розвитку геологічних процесів є діяльність внутрішніх сил Землі, діяльність поверхневих і підземних вод, вітру, сил гравітації, зміни температури. Розвиток геологічних процесів і явищ на тій чи іншій території пов'язаний з особливостями її геологічної будови, поширеністю певних комплексів гірських порід, з історією геологічного розвитку. Геологічні процеси, як правило, викликають специфічні зміни рельєфу території, їхньої геологічної будови, властивостей гірських порід, що їх складають та ін. Розвитку геологічних процесів і явищ сприяють певні природні умови, які полегшують дію сил, що викликають те чи інше геологічне явище. Відтак, при пізнанні геологічних процесів і явищ необхідно враховувати, що причини їх утворення і умови, які сприяють їхньому розвитку, не одне і те ж. Такий поділ розумінь може видатись певною мірою умовним, але він необхідний і є логічно закономірним, оскільки полегшує аналіз явищ, прогноз процесів і вибір захисних інженерних заходів.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Відповідно до місця і причин прояву розглядають дві групи геологічних процесів:

1) *ендогенні процеси* – проявляються в середині Землі і спричинені її внутрішньою динамікою,

2) *екзогенні* процеси – проявляються на поверхні Землі і спричинені зовнішніми силами.

Між ендо- і екзогенними процесами існує певна взаємозалежність і взаємозв'язок. Так тектонічні рухи в прибережних територіях, що виражаються в опусканнях (підняттях) суходолу, зумовлюють, зокрема, трансгресивний (регресивний) режим накопичення осадів в морському басейні. Землетруси частіше всього супроводжуються гравітаційними процесами на схилах гір, морських узбереж та річкових долин, що проявляються обвалами та зсувами ґрунтів.

Якщо геологічні процеси та явища спровоковані або підсилені інженерною діяльністю людини, то вони відносяться до розряду *інженерно-геологічних*.

Інженерно-геологічні процеси – зміни стану компонентів геологічного середовища у часі і у просторі під впливом техногенних факторів. Причинами зародження і розвитку інженерно-геологічних процесів є діяльність внутрішніх сил Землі, поверхневих і підземних вод, вітру, сил гравітації, змін температури, спровокованих або підсилених техногенною діяльністю людини. В тих випадках, коли природні геологічні процеси і явища справляють суттєвий вплив на об'єкти господарювання, то вони також відносяться до категорії інженерно-геологічних. За таких умов інженерно-геологічні процеси є техногенними аналогами відповідним екзогенним та ендогенним геологічних процесам, за винятком магматизму і метаморфізму, на перебіг яких людина вплинути не в силі.

Умови будівництва інженерних об'єктів на ділянках, що зазнають впливів одного або кількох геологічних процесів, значно ускладнюються і потребують особливих заходів при інженерній підготовці, а інколи заходів з інженерного захисту існуючих споруд та окремих ділянок. Такі заходи регламентуються будівельними нормами і правилами щодо зведення і експлуатації споруд на геодинамічно активних територіях, яких необхідно строго дотримуватись.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

В окремих випадках в ході інженерно-геологічних вишукувань для будівництва особливо відповідальних споруд виникає необхідність у спеціальних дослідженнях умов розвитку геодинамічних процесів Такі дослідження є підґрунттям для вироблення комплексу заходів щодо захисту споруд і територій від руйнівної дії геологічних процесів, запобігання можливості виникнення у зв'язку з їхнім проявом надзвичайних ситуацій – аварій та катастроф. Враховуються як самі геологічні процеси, стадії їх розвитку, механізми впливу на споруди, так і наслідки розвитку процесів, що знайшли вираження в рельєфі, в масивах гірських порід, тощо. З іншої сторони, досліджуються техногенні впливи на геологічне середовище і перебіг геологічних процесів.

Інженерна геологія та її основна складова частина – інженерна геодинаміка головною своєю метою ставлять забезпечення стійкості та надійності інженерних споруд в умовах нестабільності літосфери при одночасному врахуванні впливів людської діяльності (техногенезу) на стан і процеси в геологічному середовищі як частині літосфери, що зазнає впливу цієї діяльності. Масштаби техногенезу в даний час приводять до значних змін властивостей гірських порід верхніх шарів літосфери, характеру розвитку і проявів на поверхні геологічних процесів.

Техногенні впливи – статичні і динамічні навантаження від будівель і споруд, техногенних явищ, підтоплення і осушення територій, забруднення ґрунтів, виснаження і забруднення підземних вод, а також фізичні, хімічні, радіаційні, біологічні та інші впливи на геологічне середовище. Найбільших техногенних впливів геологічне середовище зазнає від спрудження людиною наступних обєктів і видів дільності*: гірничі роботи, будівельні роботи, будинки, карєри, шахти, нафтові і газові промисли, плотини, водосховища, канали, тунелі, трубопроводи, дороги, мости, військові полігони і воєнні дії, обєкти захоронення промислових і побутових відходів та стоків.*

Роботи, що виконуються людиною при будівництві різноманітних споруд, розробці родовищ корисних копалин, регулюванні стоку поверхневих вод, меліорації земель та інші частіше всього суттєво порушують рівновагу природного середовища, яка склалася впродовж тривалої історії геологічного розвитку. Внаслідок цього відбуваються чисельні антропогенні геологічні процеси і явища, які

Національний університет
водного господарства
та природокористування
за своїми масштабами та руйнівною дією співрозмірні з природними, а в деяких випадках перевищують їх. Тому інженерну діяльність людини необхідно розглядати як таку, що має геологічне значення. Прикладом можуть слугувати гірничо-видобувні роботи, при яких здійснюються переміщення величезних об'ємів гірських порід. В зв'язку із закладанням кар'єрів, шахт і відсипкою відвалів відбуваються значні зміни рельєфу поверхні і ландшафту, нищення ґрунтово-рослинного шару. За цих умов найважливішою проблемою є рекультивація (відновлення) територій порушених гірничими роботами.

Гірничі роботи супроводжуються нерідко гравітаційними геологічними процесами – зсувами, обвалами, осипами, осіданнями, провалами, зрушеннями поверхні, що спричиняють виникнення надзвичайних ситуацій як при веденні гірничих робіт, так і після їх закінчення.

Із надр Землі для різних потреб видобувається у великих обсягах вода, нафта, газ. Тривалі і потужні забори цих флюїдів суттєво виснажують їхні запаси, змінюють режим і загалом гідрогеологічні умови на великих площах, що, в свою чергу, веде до розвитку різноманітних геологічних процесів і явищ – зміни властивостей гірських порід, їх фізичного стану, збільшення зони аерації, осідання поверхні та ін.

Середовище активної життєдіяльності людини з часу її появи включало основні геосфери – літо-, гідро-, атмосферу і звичайно біосферу, складовою частиною якої є також людина. З розвитком людського суспільства впливи його на оточуюче середовище постійно збільшувались і на сучасному етапі досягли межі, коли ці впливи вже виступають, як деструктивні, що викликають незворотні зміни в усіх геосферах, загрожують руйнуванню біосфери і створенню умов несприятливих, а в окремих випадках і ворожих до життя. Така ситуація в значній мірі виникає з нарощуванням інтенсивності використання літосфери як основного компонента оточуючого середовища, субстрату життя і діяльності людського суспільства, комори ресурсів, що задовольняють основні потреби людини.

Зміни властивостей літосферного компоненту навколишнього середовища, що відбуваються внаслідок господарської діяльності

Національний університет
водного господарства
та природокористування

суспільства, впливають на стан і процеси в усіх інших сферах планети і особливо в біосфері, на умови проживання людини через зміни характеру та інтенсивності протікання різноманітних процесів, що проходять в масивах гірських порід і на денній поверхні. Особливо важливими, такими, що вимагають оцінки та негайного втручання на сучасному етапі, є зміни в верхніх шарах літосфери і зокрема в грунтово-рослинному покриві як трофічній базі людського суспільства.

В Україні понад 70 % території використовується для потреб сільського господарства, ступінь розораності земельних площ становить біля 56%. За даними державного земельного кадастру загальна площа населенних пунктів України станом на 01.01.2001 року становила 7,1 млн. га або 11,8% всіх земель України, в т.ч. площа земель міст і селищ складає близько 3%. На території України розробляється понад 5000 родовищ корисних копалин, функціонують понад 25 тисяч промислових об'єктів. Щороку в Україні видобувається до 2,5 млрд. тон гірської маси, з якої використовується біля 40%, решта йде у відвали. Геологічні тіла, гірські породи в результаті цієї діяльності руйнуються, переробляються, переміщуються, накопичуються у відвалах у вигляді відходів виробництва. Тисячі великих, середніх і малих кар'єрів, що уже відпрацьовані залишені без належної рекультивації. В даний час на території України орієнтовно накопичено біля 25 млрд. $м^3$ відходів і щорічно вони збільшуються на 1 млрд. $м^3$. Значні проблеми виникають тепер в зв'язку з закриттям гірничих підприємств з причин вичерпання запасів корисних копалин, або їх нерентабельності в сучасних умовах.

На господарську освоєність території України вирішальним чином вплинули геологічна будова, що визначає характер рельєфу, гідрографічну мережу, наявність на доступних глибинах речовин, потрібних для життя та діяльності людей, виступає субстратом ландшафтів. Дослідження показують, що з давнини формування етнічних спільнот відбувалося в межах певних географічних зон і ландшафтів.

Геологічна будова території значною мірою визначила розселення, економіку і навіть історико-культурний розвиток суспільства. В свою чергу господарська діяльність людського

Національний університет
водного господарства
та природокористування
суспільства певним чином впливає на літосферу, викликаючи в ній зміни, які залежать від структури народно-господарського комплексу, видів діяльності, динаміки використання земельних ресурсів, надр.

Зміни в літосфері серйозно впливають на зміни в гідро- і атмосфері. Відбувається зміна геофізичних полів–гравітаційного, електромагнітного, магнітного, теплового, радіаційного.

Господарська діяльність людини впливає також на характер протікання екзогенних і ендогенних геологічних процесів, нерідко викликає активізацію природних процесів, розвиток їх в місцях, де в природному стані вони неможливі, виникнення нових процесів, характерних тільки для умов зміненого природного стану.

Лекція 2. Ендогенні геологічні процеси та їх походження. *Тектоніка літосферних плит. Основні геодинамічні структури земної кори. Внутрішня динаміка земної кори і літосфери. Гарячі точки.*

Ендогенні процеси протікають в надрах Землі і зумовлені в основному енергією, що виділяється при розвитку її речовини, дією сил гравітації і ротаційних сил, котрі виникають при обертанні Землі.

Серед ендогенних геологічних процесів розглянемо тектонічні сейсмічні та епейрогенні рухи земної кори, магматизм і метаморфізм, спричинені переміщеннями літосферних плит і внутрішньою динамікою земної кори

Тектоніка літосферних плит. Поняття тектоніки плит з локалізованими деформаційними рухами, що є результатом взаємодії глобальної системи руху, суміжних літосферних плит витіснило стару ідею дрейфу континентів. Замість жорстких континентів кори, що поглиблюють верх мантії, що постійно деформується та важкого долання океанічної кори, залучені набагато потужніші літосферні плити.

Загальні положення тектоніки плит наступні:

1. Земна кора і верхня мантія утворюють порівняно крихку тектоносферу, нижче якої залягає більш слабка астеносфера.

2. Тектоносфера поділяється на порівняно мале число плит, на краях яких зосереджена майже вся тектонічна, сейсмічна і

Національний університет
водного господарства
та природокористування
вулканічна активність. Плити зміщуються стосовно одна одної, в результаті чого утворюються зони розтягання (конструктивні краї, межі нарощування плит), надвиги і піддвиги (краї руйнування, поглинання плит і здвиги (трансформні межі плит).

3. Гаряча речовина піднімається із астеносфери в зонах розтягання, що існують на серединно-океанічних хребтах і "гарячих точках" а потім розтікаються до сусідніх окраїн.

4. Спредінг (розширення) океанічного дна від серединно-океанічних хребтів компенсується субдукцією (піддвиганням) в глибоководних жолобах біля континентальних окраїн при чому речовина океанічного дна резорбується в речовину мантії.

Плити являють собою застиглий поверхневий шар Землі, 50 – 150 кілометрові блоки літосфери, розділені на шість головних плит. Вони є всі в середині відносно стійкі, це означає, що рух плит є керованим внутрішньою конвекційною системою Землі, що визначає розподіл тектонічних зон. Існує три основні типи країв плит:

(а) конструктивний, де матеріал нової океанічної кори породжується на океанічному хребті;

(б) руйнуючий, де субдукція западин руйнує старі океанічні плити;

(в) стійкий, границя плити є перетвореним порушенням з рухом по простяганню (з розривом).

Активні границі плит відзначені зонами сейсмічної активності й часто вулканами.

Частини континентальної кори можуть бути порушені діючим краєм плити і привести до розширення й зтоншення кори в розломах. Де континентальний край знаходиться під впливом субдукції при зруйнованому краї, тектоніка стиску призведе до збільшення потужності кори та утворення гір, оскільки дві плити зійдуться в одній точці.

Де континентальний край стійкий, переміщення порушень по простяганню (з розривом) зі зв'язаним компресійними і просторовими згинами розвиває нахилені порушення до границь плит. Звичайно, такі області є дуже сейсмічними.

Найбільші структурні одиниці літосфери – *літосферні плити*, розміри яких в перетині становлять 1-10 тис. км. У сучасну епоху

Національний університет
водного господарства
та природокористування

літосфера розділена на 7 головних і декілька менших плит (рис. 1.). Межі плит є зонами максимальної тектонічної, сейсмічної і вулканічної активності.

Літосферні плити повільно рухаються, ковзаючи по поверхні пластичної астеносфери: розходяться і сходяться між собою. Підрахунки показали, що швидкість руху літосферних плит різна: у Атлантичному океані в районі хребта Рейк'янес вона становить 1 см/рік, в Північному Льодовитому – 0,5 см/рік, а в Тихому – 19 см/рік.

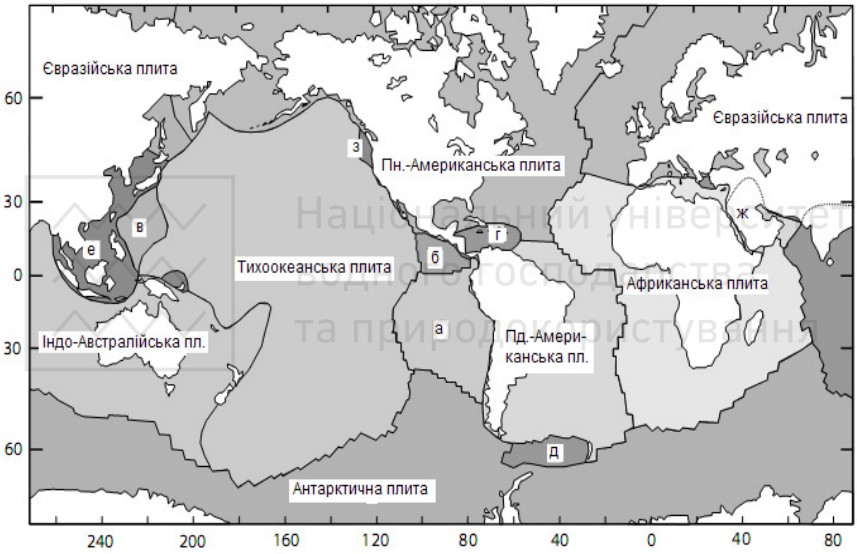

Рис. 1.. Схема розміщення літосферних плит: а – плита Наска, б – плита Кокос, в – Філіппінська плита, г – Карибська плита, д – плита Скота, е – Китайська субплита, ж – Арабська плита, з – плита Фука

Межі розходження літосферних плит проходять по серединно-океанічних хребтах – осьових частинах рифтових поясів або зон спредінгу, в котрих краї плит нарощуються новоутвореною океанічною корою. *Межі сходження літосферних плит* простягаються переважно вздовж активних континентальних окраїн:

Національний університет
водного господарства
та природокористування
по глибоководних жолобах та супутніх їм лінійних гірських системах, де краї плит з важкою океанічною корою занурюються в мантію, а протилежні – з відносно легкою континентальною корою насовуються на них, формуючи такзвані “зони субдукції”. Над зонами субдукції формуються магма, яка вививається на поверхню і утворює числені вулкани, розміщені вздовш активних континентальних окраїн паралельними до глибоководних жолобів ланцюжками (дугами).

Місцями континентальні плити стикаються між собою. В таких місцях відбувається їх *колізія*, що спричиняє утворення грандіозних розломно-складчастих гірських споруд типу Гімалаїв.

Механізм горизонтальних переміщень літосферних плит прихильники теорії мобілізму пояснюють наявністю замкнутих конвективних потоків речовини в мантії. В певних місцях астеносфери створюються висхідні потоки перегрітої (а, отже, легшої) речовини. Підіймаючись вверх, потоки такої речовини досягають охолоджених ділянок верхньої мантії і розтікаються в протилежні боки, створюючи в цьому місці зони розтягу, в яких можуть появлятися розриви, що досягають поверхні кори і вздовж яких перегріта мантійна речовина (магма) може поступати назовні. Такі висхідні потоки в астеносфері можуть спричиняти виникнення рифтових зон розтягу в земній корі. Рухаючись у горизонтальному напрямку, астеносферна речовина переносить на собі занурені в неї літосферні плити. Охолоджуючись і ущільнюючись, речовина астеносфери утворює низхідні потоки, які спричиняють субдукцію та колізію літосферних плит і пов'язані з ними складкоутворюючі процеси, розриви, насуви тощо. Таким чином, замкнуті петлі конвективних потоків у мантії можна образно порівняти із конвеєром, яким літосферні плити переносяться іноді на величезні відстані – сотні і тисячі кілометрів.

Основні геодинамічні структури земної кори – це конкретні, більш або менш відокремлені одна від одної ділянки земної кори, котрі відрізняються між собою динамічною активністю, будовою, певними особливостями речовинного складу, походження і умовами залягання гірських порід, що їх складають. Одні з них характеризуються слабкістю проявів сейсмічних і епейрогенних тектонічних рухів, інші мають високу тектонічну активність.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Тектонічні структури вивчає галузь геології – *геотектоніка*.

Земна кора, як і літосфера, не суцільна, а розчленована на літосферні плити. В межах літосферних плит земна кора неоднорідна. Основними структурними елементами земної кори на материках є континентальні платформи, складчасті пояси та континентальні рифтові пояси, в океанах – океанічні платформи (таласократони) та океанічні рифтові пояси. Особливе місце в будові земної кори посідають геосинкліналі – тектонічно активні перехідні зони між материковими та океанічними структурами. Всі ці тектонічні одиниці відрізняються одна від одної геологічною будовою, характером рельєфу, інтенсивністю ендогенних і екзогенних геологічних процесів, динамікою підземних вод і т.д., що зумовлює розмаїття інженерно-геологічних умов територій.

Континентальні платформи являють собою стійкі, як правило, рівнинні ділянки материкової земної кори зі слабкими вертикальними переміщеннями і незначною магматичною діяльністю. Для платформ властива двоярусна будова: *фундамент* – древні деформовані породи; *осадовий чохол* – більш молоді шаруваті товщі, що залягають в основному горизонтально. В межах континентальних платформ виділяють щити, плити та западини.

Щити – давні консолідовані частини платформ, в яких на денну поверхню виступають древні (архейські і протерозойські) кристалічні (магматичні та метаморфічні) породи – переважно граніти та гнейси. Потужність осадових відкладів на них незначна або вони відсутні зовсім. Щити – це одноярусні споруди, які виражаються в рельєфі у вигляді випуклих та плоских піднять. *Плити* характеризуються наявністю на складчастому фундаменті осадового чохла, який залягає здебільшого горизонтально й інколи досягає значної потужності. *Западини* – це прогини в земній корі, виповнені потужними (до 5-10 км) осадовими відкладами.

На території континентальних платформ тектонічна активність земної кори є мінімальною, що сповільнює, в свою чергу, перебіг небезпечних інженерно-геологічних процесів і позитивно впливає на збереженність споруд та комунікацій.

Складчасті пояси – витягнуті на тисячі кілометрів гірські ділянки материкової земної кори, в яких проявляються інтенсивні переміщення порід з виникненням складок і розривних порушень,

Національний університет
водного господарства
та природокористування
відбуваються часті землетруси та виверження магми. Потужність зім'ятих в складки осадових утворень тут дуже велика (10-25 км і більше). В складчастих поясах широко розповсюджені масиви інтрузивних та ефузивних гірських порід. В межах складчастих поясів виділяються структурні елементи нижчого рангу: *складчасті системи та серединні масиви.* Складчасті системи, в свою чергу, поділяються на *орогени* (гірсько-складчасті споруди) та *прогини.* Прикладом такого поясу є Альпійсько-Гімалайський, котрий простягається через всю Європу та Азію від Піренейського до Індокитайського півостровів і охоплює Кримські гори та Карпати. Інтенсивність тектонічних переміщень в цих регіонах дуже висока, що активізує перебіг небезпечних інженерно-геологічних процесів, які спричиняють негативний вплив на будівлі і комунікації.

Континентальні рифтові пояси – це сукупність лінійно витягнутих на сотні кілометрів тектонічних опускань земної кори, так званих *грабенів,* закладених на крупних підняттях. До них приурочені найглибші озера Землі. Рифти формуються на ділянках спредінгу (розходження) літосферних плит, в умовах розтягування земної кори над висхідгними потоками мантійної речовини і супроводжуються виверженнями базальтової магми та частими землетрусами. Прикладом таких структур може служити Аравійсько-Африканський рифтовий пояс.

Океанічні рифтові пояси подібні до континентальних зон спредінгу (розходження) літосферних плит, але закладені на корі океанічного типу. Вони знаходяться в центральних частинах серединно-океанічних хребтів та валоподібних піднять і являють собою сукупність лінійно витягнутих щілиноподібних грабенів. Розтягування земної кори вздовж цих структур також супроводжуються високою сейсмічністю і виверженням базальтової магми. Океанічні рифтові пояси протягуються по всіх океанах і місцями сполучаються з континентальними рифтами, утворюючи грандіозну рифтову систему Землі. Яскравим прикладом океанічного рифтового поясу служать рифти Серединно-Антлантичного хребта.

Океанічні платформи (таласократони) – це тектонічно стабільні області океанічного дна, для яких властиві переважно низхідні вертикальні рухи та слабка порушеність гірських порід. Таласократони відповідають океанічним котловинам і знаходяться

Національний університет
водного господарства
та природокористування

глибоко під водами океанів і вивчені ще слабо. В будові таласократонів беруть участь нижній базальтовий шар земної кори потужністю 4-6 км та надбазальтовий осадовий шар потужністю від кількох десятків метрів до 1-2 км. Прикладом океанічних платформ є котловини в Антлантичному океані: Північно-Американська, Бразилійська, Ангольська та інші.

Океанічні платформи розсікаються численними паралельними *трансформними розломами*, які розмежовують сегменти літосфери океанічного типу, що змішуються з різною швидкістю в від зон спредінгу ло зон субдукції.

Геосинкліналі – динамічні, здебільшого прогнуті ділянки земної кори в області переходу від материків до океанів. Рельєф таких перехідних зон, як правило, представлений улоговинами окраїнних морів, острівними або окраїнно-континентальними вулканічними дугами та глибоководними жолобами. Інтенсивні рухи земної кори тут супроводжуються землетрусами, формуванням складок та розломів, а також виверженням базальтової, андезитової та дацитової магми. При цьому, в морських улоговинах накопичуються багатокілометрові товщі уламкових та пірокластичних відкладів. З часом геосинкліналь може перетворитись в складчастий пояс. Сучасною геосинкліналлю вважається система острівних дуг і окраїнних морів вздовж східного узбережжя Євразії та Океанія. Трансформованими древніми геосинкліналями ймовірно є Альпійсько-Гімалайський та Урало-Монгольський складчасті пояси

Внутрішньоплитна динаміка земної кори і літосфери. Земна поверхня і породні шари літосфери постійно знаходяться під впливом внутріземних і зовнішніх (зокрема, космічних) чинників, що спричиняється до постійних переміщень (дислокацій) і деформацій з утворенням різноманітних просторових структур. Це може відбуватись без порушення суцільності – складки різних видів і з порушенням суцільності з утворенням розривних (диз'юнктивних) – різної орієнтації, характеру і масштабів розривних порушень, що супроводжуються переміщенням розірваних частин геологічних тіл відносно одна одної. Виділяють розриви зі зміщенням (параклази) і розриви без зміщень (тріщини, діаклази).

Крупні диз'юнктивні дислокації земної кори, що поширюються на велику глибину і мають значну довжину і ширину називаються

Національний університет
водного господарства
та природокористування

розломами. Зони рухомого зчленування крупних блоків земної кори та верхньої мантії, що підстеляє кору і мають протяжності сотні і тисячі кілометрів при ширині інколи до десятків кілометрів називаються глибинними розломами. Тривалість розвитку та існування таких розломів вимірюється геологічними періодами та ерами, вони слубують граничними структурами між окремими елементами земної кори і через них відбувається зв'язок верхньої мантії та глибоких частин земної кори з поверхнею.

Внутрішня будова зон глибинних розломів дуже складна, для них характерний розвиток вузьких блоків – пластин і клинів, розділених розривами з високою диференційною рухомісттю, що приводить до утворення дуже різнохарактерних стратиграфічних перетинів над окремими пластинами. Відповідно уявленням нової глобальної тектоніки найбільшими зонами глибинних розломів вважаються системи розривних порушень на границях рухомих літосферних плит.

Однак є багато і внутрішньоплитних розломів, що обмежують тектонічні блоки земної кори. Вони можуть бути як глибинними, так і приповерхневими, а також змінювати своє простягання та кути нахилів зміщувачів від вердикальних до горизонтальних (лістричні розломи).

Серед розривних внутрішньоплитних порушень розрізняють: скид, підкид, надвиг, піддвиг, роздвиг, здвиг, скидо–здвиг, шар'яж (тектонічний покрив). Різні види розривних порушень змінюють одне одного за орієнтацією в просторі. За інтенсивністтю переміщень відділених розривними порушеннями частин геологічних тіл можна виділити давні стабілізовані, активні в новітні геологічні епохи, активні на сучасному етапі.

Гарячі точки - у геології динамічно активні райони тривалого внутрішньоплитного вулканізму з розплавами мантійного походження. Термін з'явився невдовзі після появи теорії тектоніки плит для пояснення внутриплитного магматизму. Класичним прикладом гарячої точки стали Гавайські вулкани. Від них на північний схід йде підводне пасмо вулканів, що тягнеться до Алеутської острівної дуги, де Тихоокеанська плита рухається на північний схід і зазнає субдукції під Північноамериканську плиту.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Початково для гарячих точок було запропоновано три моделі утворення, проте врешті-решт більшість дослідників зійшлися на тому, що вони виникають над гарячими мантійними потоками - плюмами, які пропалюють рухому літосферну плиту наче автоген (рис. 2).

Геологи виявили близько 40-50 таких гарячих точок по всьому світу - Гаваї, Реюньйон, Єллоустоун, Галапагоси та Ісландія є наразі найактивнішими.

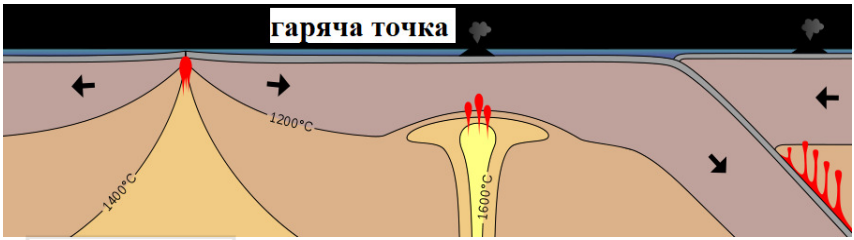

Рис. 2. Положення гарячої точки в мантії під рухомую літосферною

Більшість вулканічних гарячих точок є базальтовими, тому що вони прориваються через океанічну літосферу (наприклад, Гаваї , Таїті). Якщо гаряча точка знаходиться під континентальною корою, базальтова магма закорковується менш щільною континентальною корою, яка нагрівається і плавиться утворюючи ріоліти. Ці ріоліти можуть бути досить гарячим і створювати потужні виверження, незважаючи на їх низький вміст води. Наприклад, Єллоустонська кальдера була утворена одним з найпотужніших вулканічних вибухів в геологічній історії. Проте, коли ріолітова магма повністю вивергнеться, в кінцевому підсумку можливо виверження базальтової магми через той же кратер. На кшталт хребта Ілгачуз в Британській Колумбії, який був створений низкою вивержень трахітів і ріолітів, які перекриті базальтовими лавовими потоками.

Існують чотири типи лінійних пасм вулканів розташованих у напрямку руху тектонічних пластин над гарячими точками над плюмами (рис. 3) .

- Всі вулкани мають один вік, вулканізм обумовлений розломом.
- Вулканізм має не глибинне походження викликаний рифтінгом, наприклад: провінція Басейнів і Хребтів у США.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

- Вторинні гарячі точки: Вулканізм відбувається на верхній частині плюмової бані поблизу перехідної зони верхньої мантії/межі нижньої мантії. Приклад: гарячі точки над суперплюмами під Французькою Полінезією і Західною Африкою.
- Первинні гарячі точки походять з границі ядро-мантія.

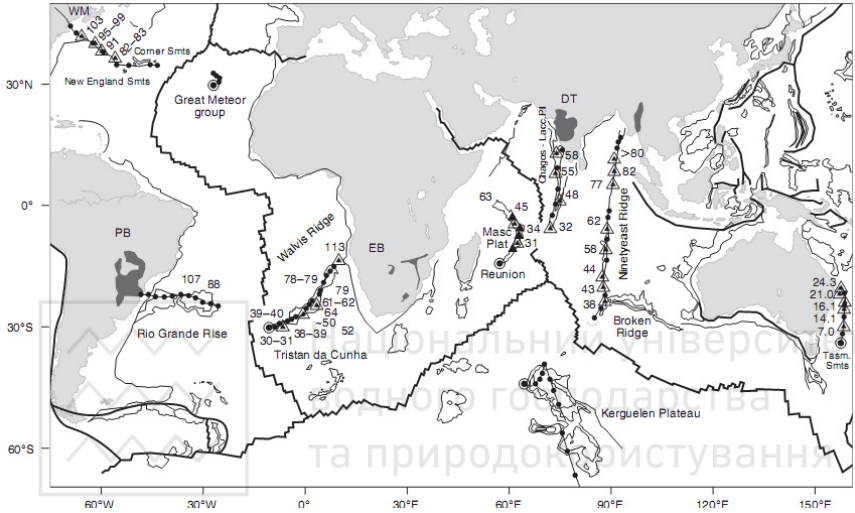

Рис.3. Сліди гарячих точок в Атлантичному і Індійському Океанах. Кружки – діючі гарячі точки. Чорні крапки – модельовані сліди гарячих точок.

Лекція 3. **Тектонічні деформації.** *Тектонічні рухи земної кори. Сейсмічні рухи , сейсмічні хвилі. Сейсмічне прискорення Класифікація Землетрусів. Епейрогенні рухи та методи їх визначення.*

Тектонічні рухи – процеси переміщення ділянок земної кори, спричинені внутрішніми силами Землі. За характером прояву вони поділяються на сейсмічні та епейрогенні.

Тектонічні порушення і особливо активні на сучасному етапі безпосередньо впливають на інженерно-геологічні умови територій. Вони є визначальними при формуванні рельєфу і розвитку екзогенних геологічних процесів, які корінним чином

Національний університет
водного господарства
та природокористування
впливають на інженерні об'єкти, життя та діяльність людського суспільства Так, ендогенні геологічні процеси, зокрема, диференційні рухи окремих блоків земної кори сприяють збільшенню контрастності рельєфу та створюють найбільш значні його форми і, тим самим, умови для розвитку екзогенних процесів. Різна направленість тектонічних рухів сприяє вертикальному розчленуванню рельєфу і активізації окремих груп екзогенних процесів: для районів підняття - це ерозія, зсуви, обвали; для районів опускання - підтоплення, засолення, просідання лесових порід. Отже, сучасні тектонічні рухи вагомо впливають на формування рельєфу та гідромережі, визначаючи тенденцію розвитку екзогенних геологічних процесів

Сучасні рухи земної кори на території України мають переважно блоковий характер. Просторова диференціація швидкостей сучасних рухів земної кори добре пов'язується з інтенсивністю проявів сучасних геологічних процесів, особливо ерозійних процесів, що є провідними екзогенними процесами, які визначають основні геоморфологічні риси території.

Характер усіх сучасних геологічних процесів тісно поєднаний з динамікою тектонічних структур різних рангів, що підтверджується їх інтенсивними проявами в зонах активних тектонічних порушень, розломів.

Сейсмічні рухи або *землетруси* проявляються в хвильових пружних коливаннях земної кори, які виникають в основному внаслідок переміщення літосферних плит. Землетруси проявляються переважно на межах сходження та розходження літосферних плит, утворюючи сейсмічні зони і пояси (наприклад, Альпійсько-Гімалайський та Тихоокеанський пояси).

Хоча вже з давніх часів ведуться численні дослідження, не можна сказати, що причини виникнення землетрусів повністю вивчені. За походженням виділяють кілька генетичних типів землетрусів, основними з яких є тектонічні, вулканічні та техногенні.

Тектонічні землетруси виникають внаслідок раптового зняття напруги, наприклад, під час переміщення по розлому у земній корі (дослідження останніх років показують, що причиною глибоких землетрусів можуть бути і фазові переходи в мантії Землі, що відбуваються при певних температурах і тисках). Іноді глибинні

Національний університет
водного господарства
та природокористування

розломи виходять на земну поверхню. Під час катастрофічного землетрусу в Сан-Франциско 18 квітня 1906 р. загальна довжина поверхневих розривів в зоні розлому Сан-Андреас склала понад 430 км, а максимальна зареєстрована величина сейсмогенних зміщень по розлому – 15 м.

Вулканічні землетруси відбуваються внаслідок швидких переміщень магматичниго розплаву в надрах Землі або в результаті виникнення розривів під впливом цих переміщень. Вони передують або супроводжують виверження вулканів.

Техногенні землетруси можуть бути викликані підземними ядерними випробуваннями, заповненням водосховищ, видобутком нафти і газу методом нагнітання рідини в свердловини, вибуховими роботами при видобутку корисних копалин та ін. Менш сильні землетруси відбуваються при обвалі склепінь печер або гірських виробок.

Точку в надрах Землі, в якій зародились сейсмічні хвилі (рис.4), називають *гіпоцентром* (Г). Глибина знаходження гіпоцентрів різна і часом досягає 700 км. Якщо через гіпоцентр провести земний радіус, то на його перетині з поверхнею Землі отримаємо *епіцентр* (Е). В міру віддалення від епіцентру в усі сторони коливальні рухи (струси) і сила поштовхів поступово зменшуються до ледве помітних. Землетруси з глибиною розташування гіпоцентру 0-50 км відносять до корових, 50-100 км – до проміжних, більш як 100 км – до глибоких (підкорових). Лінії на плані, що сполучують пункти, в яких землетруси на поверхні Землі проявились з одинаковою силою (інтенсивністю), називають *ізосейстами*.

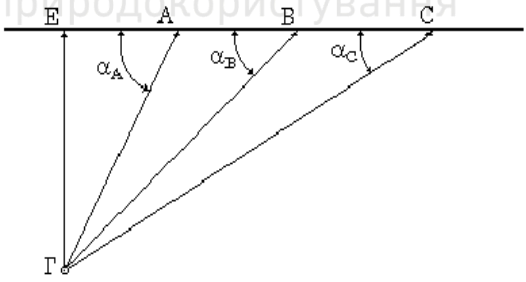

Рис.4. Схема виходу сейсмічних променів на поверхню Землі

Якщо ми з'єднаємо гіпоцентр з точками денної поверхні А, В, С, то отримаємо сейсмічні промені, кути α називають кутами виходу

Національний університет
водного господарства
та природокористування

удару. Віддаль ГЕ є найкоротшою від гіпоцентра до денної поверхні. Тому в епіцентрі тектонічний поштовх буде сприйнятий як прямий удар знизу вверх, викличе хитання (трясіння), інколи, навіть, з обертанням навколо вертикальної осі. В інших точках земної поверхні тектонічний поштовх буде складнішим – в ньому появиться горизонтальна складова. При цьому, чим дальше розташована точка від епіцентра, тим більше помітний перехід хитного руху в змішаний хитально-коливальний і далі в чисто коливальний.

Коливання, що поширюються з осередка землетрусу, являють собою пружні сейсмічні хвилі, характер і швидкість поширення яких залежать від пружних властивостей та щільності гірських порід. На сейсмограммах першими з'являються поздовжні хвилі, при проходженні яких кожна частка середовища піддається спочатку стисненню, а потім знову розширюється, здійснюючи при цьому зворотньо-поступальний рух в поздовжньому напрямку (тобто в напрямку поширення хвилі). Ці хвилі називаються також Р-хвилями або первинними хвилями. Поблизу земної поверхні швидкість Р-хвиль становить 6 км/с, а на дуже великій глибині – близько 13 км/с. Наступними реєструються поперечні сейсмічні хвилі, що називаються також S-хвилями або вторинними хвилями. При їх проходженні кожна частка породи коливається перпендикулярно до напрямку поширення хвилі. Їхня швидкість залежить від опору породи на зрушення і складає приблизно 7/12 від швидкості розповсюдження Р-хвиль.

Швидкість поширення пружних хвиль збільшується прямо пропорційно квадратному кореню значень параметрів пружності та щільності середовища. Швидкість поширення поздовжніх сейсмічних хвиль в осадових породах змінюється від 2000 до 5000 м/с, в гранітах 5000-6000 м/с, в базальтах 6500-7500 м/с і в ультраосновних породах – гіпербазитах верхньої мантії вона перевищує 8000 м/с.

Для споруд небезпечні прискорення, що виникають в породах основ. *Сейсмічне прискорення* (ε) залежить від амплітуди (A) і періоду (T) коливань сейсмічних хвиль

$$\varepsilon = 4A\pi^2/T^2. \qquad (1)$$

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Періоди і частоти коливань сейсмічних хвиль змінюються залежно від геологічного середовища (табл. 5.1). Як видно із таблиці 5.1, найшвидше сейсмічні хвилі поширюються в скельних ґрунтах із жорсткими структурними зв'язками і гаснуть в дисперсних грунтах, особливо – у водонасичених, що слід враховувати в сейсмічних районах при виборі основ під споруди.

Таблиця 1

Періоди і частоти сейсмічних коливань в різних гірських породах

Гірські породи	Періоди $T(c)$	Частоти $f(c^{-1})$
Граніти, діорити, базальти	0,005 – 0,0003	200 – 3000
Вапняки, піщаники, конгломерати	0,01 – 0,0005	100 – 2000
Туфи вулканічні, черепашники	0,015 – 0,001	70 – 1000
Галечники, гравій	0,03 – 0,003	30 – 300
Піски, попели	0,04 – 0,004	25 -250
Супіски, суглинки, глини, леси	0,05 – 0,0025	20 -400
Водонасичені піски, супіски, суглинки	0,1 – 0,01	10 -100

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Для *класифікації землетрусів* використовують їх *магнітуду* – логарифм відношення максимального зміщення земної поверхні в хвилі даного типу або максимальну швидкість зміщення до аналогічної величини для землетрусу, магнітуда якого умовно прийнята рівною нулю.

Найбільш популярною шкалою для оцінки енергії землетрусів є локальна шкала магнітуд Ріхтера (введена у 1935 р. американським сейсмологом Ч. Ріхтером). За цією шкалою зростанню магнітуди на одиницю відповідає 32-кратне збільшення звільненої сейсмічної енергії. Землетрус з магнітудою 2 ледь відчутно, тоді як магнітуда 7 відповідає нижній межі руйнівних землетрусів, що охоплюють великі території.

Сильному землетрусу можуть передувати в часі незначні поштовхи – *форшоки*, а після нього можуть також виникати повторні підземні поштовхи – *афтершоки*.

За статистичними даними щорічно на земній кулі відбувається до 100 тисяч землетрусів, із яких 10-20 руйнівних і приблизно 1

Національний університет
водного господарства
та природокористування

катастрофічний. Сильні землетруси відбуваються досить часто і являють собою страшні стихійні лиха. В XX столітті від землетрусів загинуло біля 1-го млн. жителів. Основні дані про сильні землетруси на Земній кулі на початку XXI століття наведено в табл.2.

Т а б л и ц я 2.

Сильні землетруси світу за останні 10 років

№ з.п.	Дата	Місце	Магніту-да	Руйнування та наслідки
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	26 січня 2001	Індія	7,9	За різними оцінками загинуло від 2 500 до 13 000 людей
2	25 березня 2002	північ Афганістану	5,8	Загинуло близько 1 000 людей
3	22 січня 2002	схід Середземномор'я	5,6	Поштовхи відчувались на Кіпрі та у прибрежних районах Єгипту
4	1 травня 2003	південний схід Туреччини	6,4	Загинули 167 людей
5	грудень 2003	Керман (Іран)	6,3	Загинуло 40 000 людей
6	23 жовтня 2004	Ніїгате, Японія	6,8	Загинуло 40 людей, травмовано понад 35 000. Зруйновано 10 000 будівель
7	26 грудня 2004	західний берег північної Суматри	8,9-9	Загинуло 225 000 людей, загальна кіль-кість постраждалих 2 000 000

Національний університет
водного господарства
та природокористування

продовження табл. 2

1	*2*	*3*	*4*	*5*
8	20 березня 2005	Японія, префектури Фукуока, Сага і Нагасакі	7,0	Загинула одна людина, близько 500 одержали поранення, було пошкоджено близько 200 будівель
9	4 травня 2006	Тихий океан (о. Тонга)	8,0	Оголошено попередження про загрозу цунамі на островах Фіджі та Новій Зеландії
10	25 березня 2007	Біля берегів Японії	6,2	Постраждало 150 людей
11	15 серпня 2007	Біля берегів Перу	7,9	Понад 1000 людей загинуло, 400 пропало без звістки. Постраждало 340 000 людей.
12	12 травня 2008	Провінція Січуань (Китай)	7,8	До 87 000 людей загинуло або рахуються такими, що пропали без звістки, 370 000 отримали травми
13	12 січня 2010	о. Гаїті	7	Загинуло 212 000, поранених 193891, без житла залишились міліони людей
14	11 березня 2011	130 км східніше м. Сендай на о. Хонсю	9	Загинули 12 232 особи, 14 554 людини рахуються такими що пропали без звістки

Катастрофічний за наслідками землетрус стався в 2011 році в західній частині Тихого океану. Епіцентр знаходився в Тихому океані за 373 км від Токіо, 130 км східніше міста Сендай на острові Хонсю (Японія). Після основного поштовху магнітудою 9,0 в 14:46 місцевого часу, відбулась серія слабкіших поштовхів – афтершоків: 7,0 магнітуд в 15:06; 7,4 – в 15:15 і 7,2 – в 15:26. При цьому руйнувань зазнала атомна електростанція Фукусіма, з реакторів якої стався витік радіації.

Для оцінки ефекту землетрусів на поверхні Землі користуються шкалами інтенсивності або бальності землетрусів. Найбільш

Національний університет
водного господарства
та природокористування

поширена 12-бальна шкала, перший варіант якої був розроблений Меркалі у 1902 р. і з тієї пори декілька разів удосконалювався.

12-бальна шкала Медведєва-Шпонхойера-Карніка (MSK-64) була розроблена в 1964 році і отрилала широке розповсюдження в Європі та СРСР. З 1996 року в країнах Європейського Союзу застосовується більш сучасна Європейська макросейсмічна шкала (EMS). Шкала MSK-64 лежить в основі СніП-11-7-81 "Будівництво в сейсмічних районах" і продовжує використовуватися в Росії та країнах СНД (табл. 3).

Таблиця 3

Шкала сейсмічної інтенсивності MSK – 64

Бали	Коротка характеристика землетрусу	E, *м/с*^{2*}	V, *м/с***	*X, м м* ***
1	Коливання відмічаються приладами	–	–	–
2	Коливання відчувають в рідких Випадках люди, що знаходяться в стані спокою	–	–	–
3	Коливання відчуваються окремими людьми	–	–	–
4	Землетрус відчувається багатьма людьми. Можливе дрижання скла.	–	–	–
5	Коливання висячих предметів, багато тих, що сплять прокидаються	0,12-0,25	0,01-0,02	0,5-1,0
6	Легкі пошкодження в будівлях, тонкі тріщини в штукатурці	0,25-0,50	0,02-0,04	1,1-2,0
7	Тріщини в штукатурці і в стінах, відколювання окремих кусків	0,5- 1,0	0,04-0,08	2,1-4,0
8	Великі тріщини в стінах, падіння карнизів, димових труб	1,0-2,0	0,08-0,16	4,1-8,0
9	В окремих будівлях обвали стін і дахів перекрить	2,0-4,0	0,16-0,32	8,1-16
10	Обвали в багатьох будівлях. Тріщини в ґрунтах до метра шириною	4,0-8,0	0,32-0,64	16- 32
11	Чисельні тріщини на поверхні землі. Великі обвали в горах. Катастрофа	–	–	–
12	Радикальні зміни рельєфу	–	–	–

* прискорення точок на поверхні для періодів від 0,1 до 0,5 с.

** швидкість коливання точок на поверхні для періодів від 0,1 до 0,5 с.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

*** амплітуда зміщення центру маси маятника з періодом власних коливань 0,25 с і логарифмічним декрементом затухання 0,5.

Епейрогенні рухи – це повільні вікові коливання (піднімання та опускання) земної кори, інтенсивність яких вимірюється міліметрами за рік. Повільні плавні безперервні вертикальні переміщення мас гірських порід; одна з форм тектонічних рухів. Причину їх вбачають у глибинних процесах, що відбуваються в мантії Землі, деякі вчені – у космогенних процесах. Коливальні рухи земної кори впливають на зміни рівня Світового океану, що є однією з причин трансгресій (наступання на сушу) та регресій (відступання) моря, на склад, шаруватість і потужність осадів, на інтенсивність процесів денудації тощо.

Так, територія Волинської та Рівненської областей підіймається на 8-10 мм за рік, Львівської та Закарпатської – понад 10 мм за рік. Зате північна частина Чернігівської та Сумської областей та невелика ділянка на схід від Дніпропетровська опускаються зі швидкістю понад 2 мм за рік. Опускаються також території вздовж узбережжя Чорного моря.

Епейрогенні рухи встановлюються інструментальними (геодезичними та космічними) вимірами, а також спостереженнями за підняттями чи опусканнями історичних споруд, давніх річкових та морських терас, позитивними та негативними формами сучасного рельєфу.

Лекція 4. Деформаційні структури, магматизм та метаморфізм. *Складчасті структури. Розривні структури. Роль складчастих і розривних структур в розподілі геодинамічних умов. Інтрузивний магматизм. Ефузивний магматизм. Пірокластичний магматизм. Метаморфізм.*

В непорушеному стані осадові гірські породи утворюють шари, прошарки та лінзи, які лежать горизонтально або під невеликим (до 5°) кутом до горизонталі. Магматичні породи знаходяться у формі ізометричних або плитоподібних тіл. Це так звані *первинні форми їхнього залягання*. Але земна кора весь час знаходиться в русі: в одних випадках підіймається, в інших – опускається або переміщується в горизонтальному напрямку. В результаті

Національний університет
водного господарства
та природокористування

відбуваються *тектонічні деформації гірських порід* і формуються складчасті та розривні тектонічні структури.

С к л а д ч а с т і с т р у к т у р и утворюються внаслідок пластичних деформацій шарів порід (зі збереженням їхньої цілісності) під дією тектонічних сил, орієнтованих переважно в горизонтальному напрямку. Найпоширенішими серед них є синкліналі та антикліналі (рис. 5.).

Синкліналь (від грець. ”συγκλίνω (синкліно)” – кладу разом) – це така складчаста форма, в якій шари порід вигнуті донизу. В її ядрі залягають молоді породи, а в крилах більш древні і крила нахилені в бік ядра.

Антикліналь (від грець. ”ἀντι (анти)”– проти і ”κλίνω (кліно)” – нахиляю) – це така складка, в якій шари вигнуті доверху. В її ядрі залягають древні породи, а у крилах – молодші і крила нахилені в різні боки від ядра. Одне з крил в суміжних антикліналі та синкліналі спільне.

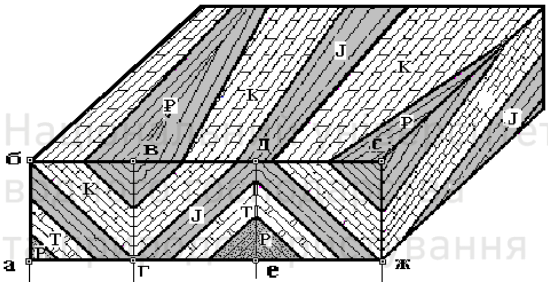

Рис. 5. Складчасті структури. В контурі а, б, д, е – синкліналь (в ядрі синкліналі залягають палеогенові відклади); в контурі в, г, є, ж – антикліналь

Різновидом антикліналі є *діапір* – склепінчастоподібна складка з інтенсивно зім'ятим ядром, що виникла шляхом видавлювання знизу високопластичних порід (сіль, глини), які при своєму підйомі прорізають шари, що складають склепіння складки і утворюють так зване ядро протикання

Крім згаданих складок, існують ще *моноклінали* – пачки шарів, нахилених під одним кутом, та *флексури* – колінчасті або східчасті вигини шарів.

Для зображення просторового положення шару на карті служать *елементи* його *залягання* (рис. 6). Серед них показуються: 1) *лінія простягання* (будь-яка горизонтальна лінія в площині шару), 2) *лінія*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

падіння (перпендикуляр до лінії простягання, який знаходиться в площині пласта і направлений в бік його занурення), 3) *кут падіння* (кут між горизонтальною площиною і лінією падіння), 4) *азимут простягання* (кут між лінією простягання і географічним меридіаном), 5) *азимут падіння* (кут між лінією падіння і географічним меридіаном). Визначення всіх цих елементів залягання проводиться за допомогою *гірничого компаса.*

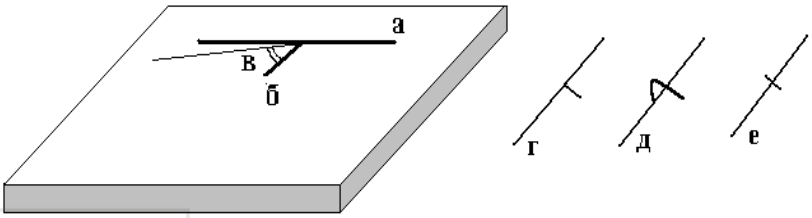

Рис. 6. Елементи залягання шару: а – лінія простягання, б – лінія падіння, в – кут падіння. Позначення залягання шарів на геологічних картах: г – нахилене, д – перевернуте, е – вертикальне

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Розривні структури утворюються внаслідок жорстких розривних деформацій гірських порід з порушенням їхньої суцільності. В таких структурах, як правило, відбувається не лише порушення суцільності шарів, інтрузій та інших геологічних тіл, але і зміщення їх в просторі по площині розлому – так званому *зміщувачу* (на геологічних картах і розрізах показується товстою чорною лінією). При цьому частини геологічних тіл по обидва боки від зміщувача (*крила*) бувають піднятими, опущеними або переміщеними в горизонтальному напрямку одне відносно іншого. Якщо ж при розриві суцільності породи зміщення не відбулось, то такі розломи називаються *тріщинами.* Найпоширенішими розривними структурами, крім тріщин, є скиди, підкиди, зсуви та насуви.

Скид – розривна структура, у якої зміщувач нахилений в сторону опущеного крила (рис.7, а).

Підкид – розривна структура, у якої зміщувач нахилений в сторону піднятого крила (рис.7, б).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Зсув – розривна структура, у якої крила переміщені по круто нахиленому зміщувачу одне відносно іншого в горизонтальному напрямку.

Насув – розривна структура, у якої одне крило насунуте на інше по зміщувачу, котрий нахилений полого або залягає субгоризонтально(рис. 7, в) Насунуте, висяче крило називається *алохтон,* лежаче крило – *автохтон.*

В результаті розривних деформацій геологічні тіла розломуються на окремі блоки з утворенням *горстів* та *грабенів*.

Грабен – опущений блок порід, обмежений скидами. (рис.7, г).

Горст – піднятий тектонічний блок гірських порід, обмежений підкидами (рис. 7, д).

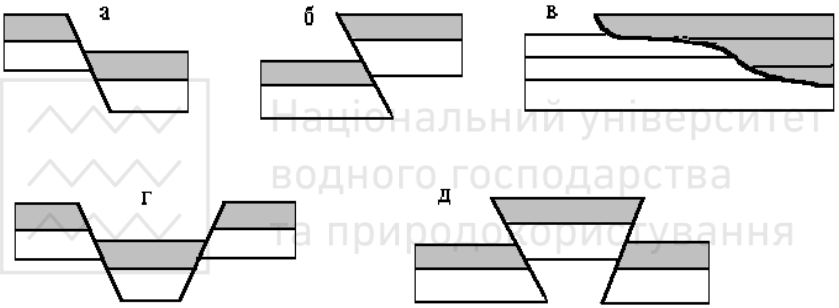

Рис.7. Типи розривних структур: а – скид, б – підкид, в – насув, г – грабен, д – горст

Із них *скиди* та *грабени* утворюються внаслідок розтягнення ділянок земної кори, а *насуви*, *підкиди* і *горсти* – в умовах стиснення.

Геодинамічно активні складчасті і розривні структури на території України найбільше розповсюджені в складчастих системах Карпат, Криму і Донбасу. Більшість з них захоронені під чохлом осадових порід, тому непомітні на земній поверхні. Будівництво споруд над ними небажане з тієї причини, що існує ймовірність відновлення по ним тектонічних переміщень.

Магматизм – це процес виникнення і переміщення магми – гарячого алюмосилікатного розплаву в надрах і на поверхні Землі. За місцем і формою прояву він буває інтрузивним та ефузивним.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Інтрузивний магматизм – процес проникнення магми в літосферу і утворення з неї різноманітних тіл кристалічних гірських порід. Відомі два типи проникнення магми у літосферу. При першому типі магма, розсовуючи породи літосфери, частково поглинає їх, створюючи собі тим самим додатковий об'єм для стравлювання надлишкового тиску. Такий тип проникнення магми характерний для величезних мас, які застигають на великих глибинах. Утворені таким чином куполоподібні тіла мають великі розміри і часто нижньою своєю частиною пов'язані безпосередньо з магматичним осередком. Такі інтрузії називають *батолітами.* Подібні масиви, але з меншою площею (до 200 км^2), називаються *штоками*. При другому типі проникнення магма підіймається по тріщинах в більш високі пласти, де утворює масиви різних розмірів і форм, які називаються лаколітами, лополітами, факолітами тощо. Для цих тіл характерна наявність каналу захололої магми, який з'єднує їх з магматичним осередком. *Лаколіти* – це тіла караваєподібної форми, *лополіти* – чашеподібні, *факоліти* – сочевицеподібні. Пластоподібні інтрузивні тіла називають *міжпластовими інтрузіями*, якщо ж магма проникає у тріщини, які розтинають гірські породи, то утворюються *жили* і *дайки*.

Процеси інтрузивного магматизму проявляються глибоко в надрах Землі, тому беспосереднього впливу на життя і діяльність людини не мають.

Ефузивний магматизм проявляється у формі виливу магми на поверхню Землі або виверження її в атмосферу у вигляді уламків різного розміру і консистенції. Продукти ефузивного магматизму бувають розплавленими, газоподібними і твердими. Розплавлені гарячі продукти виверження представлені *лавою*. Лави основного складу текучі, кислі – більш в'язкі. Температура лав 800-1300°С. *Газоподібні* продукти вулканічної діяльності представлені виділеннями водяної пари і різних газів. Серед *твердих* продуктів виверження виділяють *вулканічний попіл, пісок, лапіллі і бомби*.

Ефузивні породи залягають у вигляді потоків, покривів, куполів і обелісків. *Потоки* нагадують захололі ріки, *покриви* порівняно тонким шаром покривають великі площі. *Куполи* і *обеліски* утворюються при видавлюванні із надр в'язкої швидко захолодаючої лави. Накопичення уламкових (пірокластичних) продуктів

Національний університет
водного господарства
та природокористування
виверження магми часто утворюють споруди конусоподібної форми – вулкани.

Прояви ефузивного магматизму на поверхні Землі мають надзвичайно руйнівний характер і катастофічні наслідки пов'язані з швидким виверженням гарячої лави, яка розтікається поверхнею Землі, руйнуючи все на своєму шляху, або засипає території у вигляді гарячих пірокластичних уламків, формуючи вулкани. Крім того, виверження вулканів, як правило, супроводжуються ще і землетрусами.

Всього на Землі нараховується понад 500 діючих вулканів. До найвідоміших вулканів відносяться Везувій, Кракатау, Сан-Паулу, Мон-Пеле, Кіліманджаро, Ключевська Сопка, Етна, Фудзіяма та інші. Виверження більшості з них спричиняли природні катастрофи і призводили до масової загибелі людей, а іноді і цілих міст, як наприклад, загибель м. Помпеї та м. Сен-П'єр.

Згаслі вулкани в Україні знаходяться в Закарпатті та в Криму. Викопні покриви базальтової лави та пірокластичні утворення віком понад 600 млн. р. широко розповсюджені в Рівненській та Волинській областях.

Метаморфізм – це процес перекристалізації гірських порід в надрах земної кори під дією температури і тиску. Метаморфізмові здатні піддаватись всі породи – осадові, магматичні і раніше утворені метаморфічні. При цьому, змінюються мінеральний склад, структура і текстура порід. Залежно від переважання тих чи інших факторів, що викликають зміни в породах, розрізняють метаморфізм контактовий, динамічний і регіональний.

Контактовий метаморфізм пов'язаний з проникненням в земну кору магми, від якої вміщуючі породи зазнають впливу високої температури, парів і газів. При цьому, вапняки перетворюються в мармури, піщано-глинисті породи переходять в *роговики,* які мають щільну зернисту будову і складаються переважно з новоутворених мінералів.

Динамічний метаморфізм пов'язаний з тектонічними рухами земної кори, в результаті яких виникають складки і розривні порушення. Зміни гірських порід при динамічному метаморфізмі відбуваються під впливом одностороннього тиску, так званого

Національний університет
водного господарства
та природокористування

стресу. Продуктами динамометаморфізму є філоніти, мікрокристалічні сланці та інші.

Регіональний метаморфізм проявляється на значних глибинах і охоплює великі ділянки земної кори. Рівнозначними чинниками метаморфізму тут виступають як висока температура, так і високий тиск. Під впливом цих факторів гірські породи сильно перекристалізовуються, перетворюючись в кристалічні сланці, гнейси, амфіболіти та кварцити.

Враховуючи той факт, що процеси метаморфізму відбуваються на значних глибинах, прояви його на поверхні Землі та вплив на будівельні споруди і геологічні умови територій практично відсутні.

Лекція 5. Екзогенні геологічні процеси на суші. *Загальна характеристика геологічних процесів. Вивітрювання. Геологічна діяльність вітру. Геологічна діяльність тимчасових водних потоків. Геологічна діяльність поверхневих текучих вод. Геологічна діяльність підземних вод.*

Екзогенні процеси відбуваються на поверхні Землі і у верхніх шарах земної кори при взаємодії літосфери з гідросферою і атмосферою. Виражаються ці процеси в *ерозії* (руйнуванні*)*, переміщенні та *акумуляції* (накопиченні) гірських порід під дією водних і повітряних течій, температурних перепадів, хвилювання водної поверхні, що призводить до зміни стану і властивостей порід, вирівнювання чи розчленування рельєфу, утворення порожнин в масивах порід, переміщенні їх на схилах та інших явищ.

До екзогенних процесів належать вивітрювання, геологічна діяльність вітру, поверхневих і підземних вод, льодовиків, сил гравітації.

Сукупність процесів руйнування гірських порід водою, вітром, льодовиками тощо на підвищеннях рельєфу і перенесення продуктів руйнування до нижчих ділянок (рівнів) земної поверхні називається *денудація* (від лат. ”denudo” – оголюю, розкриваю). Внаслідок денудації на підвищеннях розкриваються корінні гірські породи, а рельєф земної поверхні вирівнюється.

Нагромадження на поверхні суші або на дні водного басейну мінеральних частинок чи органічних залишків в результаті

Національний університет
водного господарства
та природокористування
діяльності вітру, текучих вод, льодовиків, вулканів, моря та інших геологічних чинників називається *акумуляцією* (від лат. ”accumulatio” – нагромадження). Цей процес, в деякій мірі протилежний денудації і залежний від неї.

Вивітрювання. Під вивітрюванням розуміють процеси руйнування гірських порід на поверхні Землі під впливом фізичних, хімічних та біологічних чинників. При цьому продукти вивітрювання не зазнають значного переміщення, а накопичуються поблизу материнських порід. За домінуючою роллю того чи іншого чинника розрізняють фізичне, хімічне і біологічне вивітрювання.

Фізичне вивітрювання відбувається в результаті розширення та стиснення гірських порід під дією коливань температури повітря і збільшення (до 10%) об’єму замерзаючої води в порах та тріщинах. При цьому руйнуються структурні зв’язки між мінеральними зернами порід, а лід розриває породу зсередини.

Хімічне вивітрювання – процес руйнування гірських порід внаслідок агресивної дії на них парів та газів повітря, а також атмосферної води. При цьому, відбуваються процеси окиснення, гідратації, дегідратації, розчинення та гідролізу первинних мінералів, а на їхньому місці утворюються нові – вторинні.

Біологічне вивітрювання відбувається в результаті життєдіяльності тварин і рослин. Землерийні тварини свердлять та подрібнюють породи, а рослини своїм корінням розширюють тріщини в породах. Гумусні кислоти, які є продуктом розпаду організмів після їхньої смерті, також спричиняють активне руйнування порід.

Продукти вивітрювання, які залягають на місці свого формування, називаються *елювіальними* (від лат. ”eluo” – вимиваю) відкладами, позначаються індексом (*е*) і зафарбовуються в рожевий колір. Вони утворюють так звану *кору вивітрювання*, в будові якої виділяються наступні зони: з самого верху – *зона повного вивітрювання,* складена найдрібнішими частками (зерна мінералів, піски); нижче – *зона неповного вивітрювання*, складена уламками порід (жорства, щебінь), а ще нижче – *зона часткового вивітрювання* (брили серед ділянок ще не зруйнованої породи).

Геологічна діяльність вітру. Геологічні процеси, спричинені вітром, називаються е о л о в и м и (від грец. ”Αἴολος (Еолус)” –

Національний університет
водного господарства
та природокористування

володар вітрів). Під напором вітру гірські породи зазнають *дефляції* (від лат. ”deflatio” – здування) і *коразії* (від лат. ”corrado” – зішкрябую). Внаслідок еолової діяльності скелі гірських порід можуть приймати химерні форми (камінні стовпи, столи, гриби тощо). Вітер не тільки руйнує гірські породи, а і переносить та відкладає уламковий матеріал. Піщані, пилуваті та глинисті частки переносяться вітром на величезні віддалі і відкладаються у формі дюн та барханів. *Дюни* мають форму симетричних в розрізі і видовжених в плані горбів і гряд. Вони формуються вздовж піщаних берегів морів, озер та річок. *Бархани* – серпоподібні в плані та асиметричні в розрізі піщані горби, характерні для пустель в зонах аридного клімату. Надвітряний схил барханів довгий і пологий (5-14°), підвітряний відповідає куту природного відкосу пісків (30-35°). Дюни і бархани здатні до переміщення, чим загрожують земельним угіддям, шляхам сполучення, господарським і житловим спорудам.

Пилуваті та глинисті частки здатні переноситись вітром на значних висотах і на великі відстані. В районах, де сила вітру слабшає, вони осідають і обволікають трав’яну рослинність суцільною кірочкою, яка позбавляє її доступу вуглекислого газу, і рослини гинуть, розкладаються і, цим самим, збагачують грунт органічними речовинами. На цьому родючому шарі з часом виростає новий трав’яний покрив, який проіснує до наступної пилової бурі. В результаті утворюються потужні товщі пилувато-глинистих відкладів, котрі інколи досягають потужності в декілька сотень метрів. Такі пилуваті відклади називаються *лесами.* Вони широко розвинуті на території України.

Більш ніж за вікову історію вивчення лесів було запропоновано не менш двадцяти різних гіпотез їхнього походження. Узагальнення цих даних дозволило об’єднати всі гіпотези в кілька груп, що пояснюють виникнення лесів еоловим (вітровим) і водним шляхом. Узагальнення і аналіз існуючих в наш час гіпотез походження лесів дозволяє сказати, що процес формування лесових порід складається із двох етапів: а) нагромадження мінерального пилуватого осаду, що може відбуватись різними шляхами, і б) перетворення накопиченого осаду в типових лес, тобто просадну породу.

На картах та розрізах *еолові* відклади позначаються індексом (*v*) і зафарбовуються в жовтий колір.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Геологічна діяльність поверхневих текучих вод.

Поверхневі води на земній поверхні утворюють тимчасові потоки води, постійнодіючі водотоки – річки, а також озера і болота.

Геологічна діяльність тимчасових водотоків полягає у площинному змиві та лінійній (яружній) ерозії гірських порід на схилах. Тимчасові водотоки формуються в результаті випадання дощу і танення снігу. Атмосферні опади, випадаючи на поверхню Землі, виконують певну геологічну роботу. Краплі дощу і талі води частково просочуються в підстелюючі породи, а частково, у вигляді струминок, стікають в пониження рельєфу, змиваючи на своєму шляху дрібні уламки порід. Це – п л о щ и н н а е р о з і я. Вона призводить до накопичення біля підніжжя схилу дрібного уламкового матеріалу, який називають *делювіальними* (від лат. ”deluo” – змиваю) відкладами. Такі відклади мають індекс (*d*) і зафарбовуються в оранжевий колір.

Я р у ж н а е р о з і я розвивається на схилах під дією тимчасових лінійних водостоків, які виникають в результаті інтенсивних дощів і танення снігу. *Яри* являють собою глибокі крутосхилі вимоїни, утворені тимчасовими водостоками на схилах, складених слабкими породами (леси, глини, суглинки та ін.). Початок яру (його найвища частина) називається *вершиною,* а місце впадіння в долину річки або вихід його на рівнину – *гирлом* (рис. 8). Це активні ерозійні форми схилового рельєфу, які безперервно розвиваються (збільшується довжина, глибина врізу, утворюються бічні “притоки” – *відвершки* тощо).

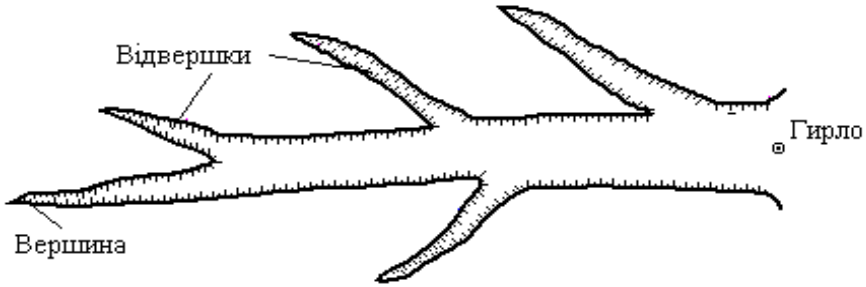

Рис. 8. Яр в плані та його елементи

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Найактивнішою частиною яру є його вершина, за рахунок розмиву якої (відступаюча або регресивна ерозія) яри постійно збільшують свою довжину і глибину. За сприятливих умов вони можуть вийти за межі схилу, на якому були започатковані, і врізатися у простори межиріч, сягаючи довжини у сотні метрів і навіть у кілька кілометрів (головний стовбур Костянецького яру на Канівщині перевищує 18 км).

Розвиток ярів, їхні розгалуження ведуть до поступового знищення схилів, відчутно скорочуючи площі сільськогосподарських угідь та створюючи загрози руйнування будівель і комунікацій. В той же час сама господарська діяльність створює додаткові передумови для розвитку яружної ерозії.

Серед основних чинників яротворення відзначимо:

1. Особливості геологічної будови схилу, у першу чергу – наявність малостійких до розмиву порід (лесоподібні, глинисті, карбонатні інженерні ґрунти).

2. Особливості клімату, насамперед – нерівномірність і зливовий характер атмосферних опадів.

3. Низьке положення *базису ерозії* – лінії, нижче якої дно яру не заглиблюється. ЇЇ положення зумовлене перевищенням абсолютних позначок дна ярів відносно рівнів води в місцевих водоймах.

4. Інтенсивна господарська діяльність, особливо розорювання схилів, знищення лісів тощо.

Яри ростуть вершиною і відвершками в бік вододілів. Зародження ерозійних форм починається біля підніжжя схилу – там, де енергія спрямованого водотоку найбільша. Тут формуються *ерозійні вибої* (рос. – ”рытвины”). Глибина вибоїв переважно від 0,3 до 1,5 м, а ширина – від 0,5 до 5 м. За глибиною їх поділяють на мілкі – до 0,7 м і глибокі – більше 0,7 м. Такий поділ зумовлений технічними можливостями боротьби з їх утворенням, про що буде сказано далі.

Згодом відбувається переростання вибоїв у яри. По них вода стікає з численних дрібних улоговинок, які всі разом створюють так званий *водозбірний басейн.*

Поздовжній профіль дна вибою, який має по всій довжині невелику глибину, повторює профіль схилу річкової долини чи балки. Яр своїм дном врізається у схил значно більше і тому його профіль буде увігнутим (рис.9). Після того, як утворилася промоїна

Національний університет
водного господарства
та природокористування

(або вибоїна), починається формування яру, у розвитку якого виділяють 3 стадії: 1) врізання висячого яру (його гирло знаходиться на схилі) вершиною; 2) вироблення профіля рівноваги; 3) затухання. Оскільки яри бувають довжиною у кілька кілометрів, вздовж нього можна спостерігати різні стадії його розвитку: у верхній частині – першу стадію, в середній – другу, а в нижній – третю.

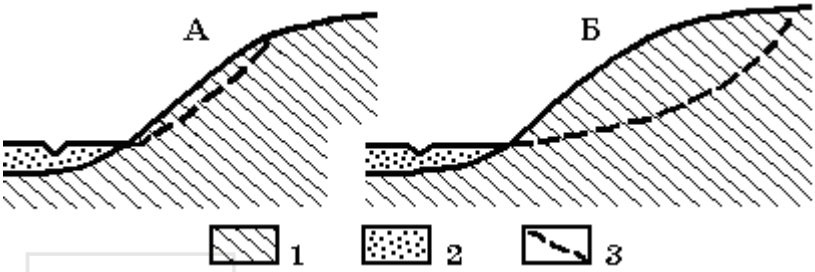

Рис. 9. Поздовжні профілі вибою (А) та яру (Б). 1 – корінні породи схилу; 2 – алювіальні відклади заплави; 3 – профілі дна ерозійних форм

Стадія врізання висячого яру вершиною починається після того, як у його вершині утворюється крутий або навіть вертикальний перепад повздовжнього профіля. З цього моменту яр росте вверх проти течії в результаті обвалів і розмиву пухких порід. Стрімкий потік води падає з висоти кілька метрів, утворюючи *котел вибивання*. Утворений над ним карниз через деякий час обвалюється і поки утвориться новий котел – породи інтенсивно розмиваються потоком. У такий спосіб (*регресивна ерозія*) яр може вирости до кількох км у довжину. В цей час відбувається також розмив яру у ширину (*бічна ерозія*) і у глибину (*глибинна ерозія*). По мірі зменшення площі водозбірного басейну ріст яру уповільнюється і біля вододілу регресивна ерозія припиняється (відсутній потік).

Стадія утворення профіля рівноваги починається відтоді, коли яр, поглиблюючись, втрачає своє висяче гирло – тобто після того, як він перестав бути висячим. А це означає, що гирло доходить до рівня *місцевого базису ерозії* і нижче не врізається. Місцевим базисам ерозії може бути рівень водосховища, озера, річки, дна балки тощо. Відстань між стінками у верхній частині поперечного

Національний університет
водного господарства
та природокористування
профіля яру в цей час все більше розширюється і він стає V-подібним.

Стадія затухання яру характеризується повільним зменшенням крутизни стінок, розширенням його дна за рахунок меандрування (зміщення) водного потоку, поступовим заростанням схилів травою, чагарниками і деревами, початком формування ґрунтового покриву. Після закінчення цієї стадії яри перетворюються у балки.

Ступінь прояву яружної ерозії визначають за процентом площі під ярами; сумарною довжиною ярів на 1 км^2; кількістю ярів на 1 км^2 та ін.

Швидкість росту ярів різна. В одних регіонах вона може бути в середньому 2 м на рік, в других 40-60 м, нерідко ріст досягає 80-100 м на рік, а іноді і до 200-250 м. Це залежить від порід, у яких розвиваються яри, кількості і характеру опадів, особливостей рельєфу, рівня освоєння земель (розораності), швидкості підняття земної кори тощо.

В гирлі яру накопичуються промиті тимчасовими водними потоками несортовані різноуламкові відклади, які накопичуються у вигляді дельтоподібного *конусу виносу*. Відклади конусів виносу називають *пролювіальними* (від лат. ”proluvium” – промивання). Пролювій індексується буквою (*р*) і зафарбовується в палево-жовтий колір

Заходи захисту від яружної ерозії впроваджуються залежно від стадії її розвитку.

На першій стадії – вирівнюванням оранкою чи дорожньою технікою та засипанням вручну промоїн (вибоїн). А якщо навколо ерозійного вибою уже утворились схили, то їх найкраще засіяти багатолітніми травами. Коли вони уже стали великими – рекомендується робити плетені загороди (з кілків і гілок) або загати з будь-яких міцних порід (вапняків, пісковиків, тощо). І оскільки ці ділянки з орної площі уже виключаються, навколо них висаджують дерева.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

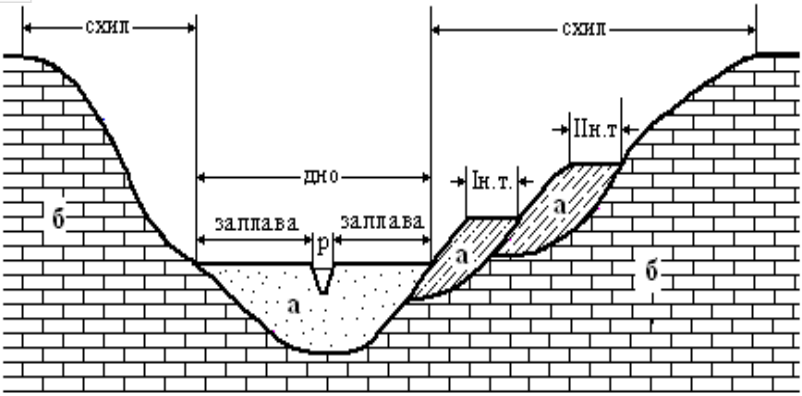

Рис.10. Будова долини гірської річки в поперечному розрізі: а – алювіальні відклади, б – корінні породи, I н.т. – перша надзаплавна тераса, II н.т. – друга надзаплавна тераса

На другій стадії для захисту від яружної ерозії будуються розпилювачі потоків (вали, валики, канави), водовідвідні і швидкотічні лотки, підпірні стінки у верхів'ях яру, на дні споруджуються загати і плетені загороди та висаджуються дерева підібраних видів. Потрібно зробити все, щоб припинити, перш за все, глибинну ерозію, яка в цій стадії найбільш активна.

На третій стадії в ярах зводяться донні споруди, потрібні для того, щоб не допустити меандрування потоку (а значить і бічного розмиву) та для накопичення пухких наносів, які покращують ріст насаджених на дні яру дерев. Регресивну ерозію зупиняють залізобетонними лотками – швидкотоками. Схили закріплюються висадкою дерев і кущів, засіваються трави, виположуються стінки яру (бульдозерами) до крутизни природної рівноваги (35-40^{o}), а потім (в разі потреби), строго горизонтально виробляються тераски.

Геологічна діяльність річок полягає в ерозії річкою поверхні земної кори, а також перенесенні і накопиченні (акумуляції) річкового уламкового матеріалу. Річки в процесі свого розвитку виробляють річкові долини, в будові яких можна виділити такі елементи (рис.10): *русло* річки – частина долини, зайнята річковими водами, *тераси* – відносно горизонтальні ділянки, які розташовані уступами по висоті в межах від дна до брівки долини.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

За формою, розмірами і морфологією русла істотно відрізняються одне від одного. Проте, у їх будові простежуються і спільні риси, серед яких найбільш типовою є чергування в руслах рівнинних річок відносно неглибоких ділянок (перекатів) та заглиблень (плесів).

Тераса, яка знаходиться в межах дна долини і заливається водами річки під час повеней, називається *заплавою.* Тераса, яка знаходиться безпосередньо над дном долини (заплавою), вважається *першою надзаплавною терасою*, наступна за нею вверх – *другою* і т.д.

В плані річки рідко течуть прямолінійно, вони часто змінюють напрямок своєї течії і утворюють звивини русла – так звані *меандри*. Внаслідок безперервного руйнування ввігнутого берега меандри набувають форми петель, які в період повені можуть прориватись і утворювати *старорічища.* В результаті меандрування річки долина розробляється в ширину – збільшується довжина і зменшується уклон річки і, природньо, зменшується її швидкість.

Річковими водами переносяться уламки зруйнованих гірських порід і мінералів різного розміру: від глинистих, пилуватих і піщаних часток до гальок і валунів залежно від швидкості води в річці. Вони переносяться річкою вниз за течією до тих пір, доки не зменшиться швидкість течії, акумулюються утворені при цьому відклади, які називаються *алювіальними* (від лат. „алювіо" – нанос). Характерними рисами алювіальних відкладів є хороша обкатаність і сортованість уламкового матеріалу. На картах алювій позначається індексом (*а*) і зафарбовується в світло-зелений колір.

На перших етапах після виникнення ріки мають невироблене річище, яке порівняно слабо врізається у підстеляючі гірські породи. В міру розвитку річки величина врізу поступово збільшується, проте повздовжній профіль ще довго зберігає нерівності (пороги, водоспади тощо). Це – *стадія юності річкової долини*. Подальше врізання русла призводить до поглиблення річкової долини і поступового формування увігнутого поздовжнього профілю річища. При цьому темпи вертикального врізання уповільнюються, поступаючись місцем бічному розмиву. На цьому етапі одночасно з річищем починає формуватися заплава річки. Річкова долина входить у *стадію зрілості*. У подальшому переважання бічного розмиву призводить до розширення заплави, блукання ріки по звивистому

Національний університет
водного господарства
та природокористування
(меандруючому) річищу, уповільнення течії води. Починається *стадія старості* у розвитку річкової долини.

Геологічні процеси в долинах річок. Долини річок віддавна використовуються для забудови. В просторі, який займають річкові долини, інженерно-геологічні умови змінюються в дуже широких межах – від сприятливих до малосприятливих і цілком несприятливих для будівництва. Тут мають місце підтоплення і затоплення території, розвиток ерозійних та гравітаційних процесів, поширення заболоченності, слабких ґрунтів, відбуваються також часові сезонні зміни цих умов. Річкові долини загалом є місцями інтенсивної і складної взаємодії літосфери з поверхневою та підземною гідросферою і атмосферою, відбувається постійний перерозподіл ґрунтових фаз – від повного водонасичення до пересихання ґрунтів.

Ділянки територій в долинах рівнинних рік на сучасному етапі, особливо в межах великих міст, інтенсивно використовуються в містобудівних цілях – забудовуються заплавні тераси з використанням намивних технологій для захисту від затоплення і підтоплення, схили і прилеглі до них ділянки з проведенням спеціальних протиерозійних та протизсувних заходів.

На рис. 11. подаються схематичні план і геологічний розріз фрагменту долини рівнинної ріки, де виділені основні геоморфологічні елементи з характерною геологічною будовою та гідрогеологічними умовами. Виразно виділяється асиметрія долини – правий берег підвищений з редукованими терасами, лівий понижений, терасований. Всі елементи долини взаємопов'язані і взаємозалежні – зміни інженерно-геологічних умов в одному місці долини призводять до певних наслідків в іншому. Так, наприклад, бокова ерозія, підмив берега спричиняє активізацію схилових процесів, які, в свою чергу, суттєво впливають на гідрогеологічні і гідрологічні процеси, на співвідношення ерозії та акумуляції в річкових долинах, ступені диференціації алювіальних відкладів.

Морфометричні параметри схилів долини визначають швидкості стоку поверхневих вод в русло ріки, посилення чи послаблення ерозійно-гравітаційних процесів на схилах, а значить і надходження продуктів розмиву зі схилів на дно долини, відкладення їх в річищі і на заплавних терасах. Потужні алювіальні відклади, що

Національний університет
водного господарства
та природокористування

накопичуються в долинах рік, вміщують водоносні горизонти, які безпосередньо зв'язані з поверхневими водами.

Заплави як частина дна річкових долин на рівнинах займають

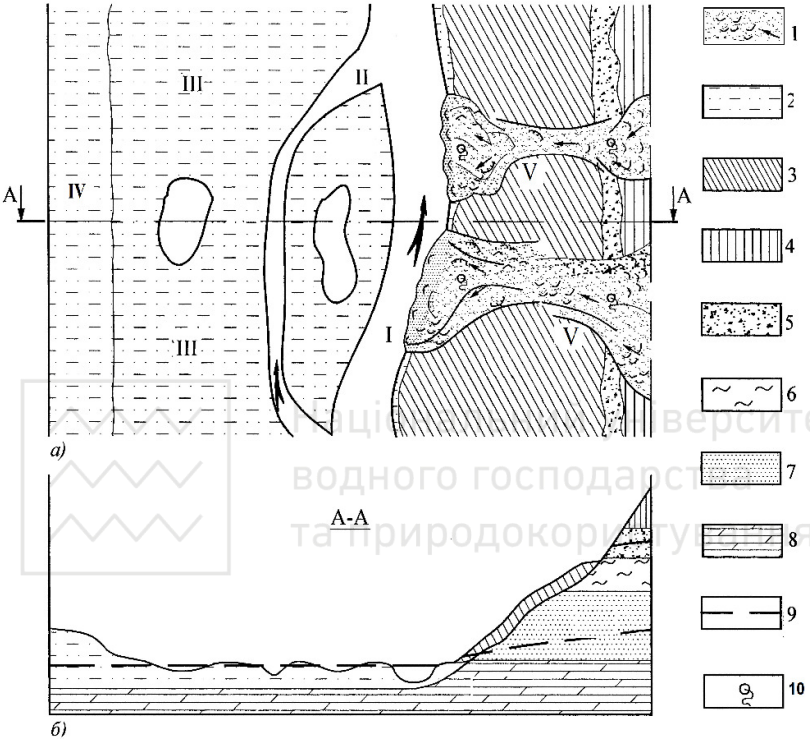

Рис11. Будова фрагмента долини рівнинної річки (за Демчишиним М.Г., Анацьким О.М із змінами): а) план; б) переріз; I – основне русло; II – меандр; III – заплава; IV – перша надзаплавна тераса; V – яри, що розчленяють схил; 1-5 – четвертинні відклади (1 – делювіально-пролювіальні, 2 – алювіальні, 3 – схилові, 4 – еолові, 5– водно-льодовикові); 6-8 – корінні породи (6 – неогенові глини, 7 – неогенові та палеогенові піски, 8 – палеогенові мергелі); 9 – рівень підземних вод; 10 – джерела

досить значні площі, їх ширина може змінюватись від сотень метрів у верхів'ї ріки до кількох десятків кілометрів у пониззях. Заплавні

Національний університет
водного господарства
та природокористування
території багатьох рівнинних рік меліоровані та інтенсивно використовуються під забудову, особливо в межах населених пунктів. Основні обмеженням їх використання є затоплюваність при повенях і паводках, заболоченість, поширення слабких ґрунтів.

Розміри річкової заплави мають суттєве значення для рівневого і витратного режиму ріки. В періоди високих вод заплави затримують велику кількість води для того щоб пізніше віддати її в в ріку, виступаючи таким чином природним регулятором водного режиму ріки.

Умови використання і будівництва на заплавних болотах в значній ступені залежать від їхньої структури, яка визначається: а) потужністю болотних відкладів і особливо потужністю лінз, шарів і умов залягання торфу; б) складом і консистенцією торфу та інших болотних відкладів; в) рельєфом мінерального дна боліт.

Захист від затоплення та підтоплення територій на заплавах і будівництво на них стають можливими при підвищенні рівня рельєфу шляхом намиву алювіальних пісків. Потужність намитого шару пісків коливається від 2 до 9 м. Намиви здійснюються з підводних руслових кар'єрів та кар'єрів на заплаві річок, які в природних умовах з поверхні перекриті відкладами мулу, що мають незначну несучу спроможність.

На заплавах річок в значних об'ємах видобувається прирусловий алювій (галька, гравій, пісок). Його виїмки суттєво впливають на природній перебіг руслових процесів.

Схили річкових долин є місцем прояву ерозійно-гравітаційних процесів. Ці процеси проявляються частіше всього у вигляді зсувів тісно пов'язаних з яружною ерозією, особливо на бортах коротких ярів, що розчленовують схили долини основної ріки. Зміщеннями охоплюються значні обсяги четвертинних порід на бортах ярів і по їх тальвегах.

У верхній частині схилів, де переважають частіше всього лесові ґрунти, спостерігаються обвали крутих (50-70°) уступів, їх розмив. В середній частині схилів деформаціями і рухом охоплюються схилові відклади – елювіально-делювіальні та зсувні, яружний пролювій в ярах, що розчленовують схил. Відмічались також зсуви, що захоплюють глинисті шари в нижній частині схилів, а також часткові

Національний університет
водного господарства
та природокористування
деформації конусів відкладення (виносу) при повторних зсувах. З освоєнням таких схилів під забудову ці явища активізуються.

Зсувні зміщення порід на схилах відбуваються також внаслідок їх підрізки при планувальних роботах і при закладанні кар'єрів.

Лекція 6 . Геологічна діяльність підземних вод, морів, озер та боліт. *Геологічна діяльність підземних вод. Геодинаміка океанічного дна. Руйнівна та акумуляційна дія моря. Геологічна діяльність озер та боліт. Геологічні процеси в зоні впливу водойм і водосховищ.*

Геологічна діяльність підземних вод. Підземні води, рухаючись в порах і пустотах порід, за певних умов можуть розмивати і розчинювати породи. Іноді процеси розмивання і розчинення відбуваються одночасно. Розмивання виявляється в тому, що рухома вода захоплює дрібні частки породи і виносить їх з собою. В скельних породах вода розмиває стінки тріщин і пустот. Однак в основному розмиваюча дія підземних вод проявляється на нескельних породах. Внаслідок винесення водою найдрібніших фракцій, пористість породи збільшується, як збільшуються і розміри самих пор. Зрозуміло, що чим більші розміри пор, тим більші розміри фракцій, які можуть бути винесені через ці пори.

Розмивання породи супроводжується її розчиненням. Розчинюються всі породи без винятку; одні з них надзвичайно повільно, а інші – порівняно швидко. Процес розчинення порід залежить від ступеню мінералізації води. Внаслідок розчиняючої і розмиваючої дії підземних вод на гірські породи виникають явища, що називаються *суфозією* і *карстом*.

Підземні води зумовлюють динамічну активність водонасичених тонкодисперсних ґрунтів, що називається *пливуном*, а також в силу особливостей хімічного складу здійснюють руйнівний вплив на будівельні конструкції.

Суфозія (від лат. "suffosio" – підкопування, підмивання) – це процес механічного і хімічного руйнування та виносу рухомими підземними водами окремих компонентів і крупних мас дисперсних ґрунтів й зцементованих уламкових порід, що веде до осідання земної повехні.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Основною причиною суфозії слід вважати виникнення в підземних водах значних сил гідродинамічного тиску та перевищення величини деякої критичної швидкості руху води. Це викликає відривання у водоносних породах мінеральних часток та винесення їх в завішеному стані. Завішування часток відбувається при *критичному градієнті* ($I_{кр}$), який можна вирахувати за залежністю

$$I_{кр} = (\rho_s\text{-}1)(1\text{-}n)+0{,}5n, \qquad (2)$$

де ρ_s – щільність часток уламкової породи (піску) (про цей параметр ми дізнались раніше), n – пористість в частках одиниці.

Гідродинамічний тиск (D), який діє по дотичній до депресійної кривої, визначають за формулою

$$D = \rho_w \cdot n \cdot I, \ (г/см^3), \qquad (3)$$

де ρ_w – густина води, котра дорівнює 1, n – пористість породи в частках одиниці, I – гідравлічний градієнт.

Суфозії найчастіше піддаються неоднорідні породи. Процес суфозії в різнозернистих пісках відбувається таким чином. Пісок складається з часток різного розміру – великих і дрібних. Крупні частки складають структурний каркас породи. Пори між крупними частками досить великі і через них під дією рухомої води вільно проходять дрібні частки (глинисті, пилуваті). В пісках, як правило, суфозія починається при критичному градієнті більшому 5.

Суфозія відбувається порівняно повільно (роки, десятки років), але вона дуже поширена в природі і проявляється в різних формах. Наприклад, якщо в нижній частині схилу спостерігається вихід водонасичених піщано-галькових порід і має місце проявлення суфозії, то ці породи, особливо в зоні розвантаження підземних вод, внаслідок винесення дрібних часток збільшують пористість і щільність їхня зменшується. Це часто викликає їхнє ущільнення під дією вищезалягаючих мас порід, в котрих при цьому виникають тріщини, зони послаблення. Якщо суфозія розвивається під спорудами, то це може викликати значні і нерівномірні осідання, деформації і руйнування.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Суфозія часто є причиною утворення оповзів, провалів та "*степових блюдець*". Вона може різко змінити водопроникливість порід та викликати утворення промитих шляхів поступлення підземних вод в будівельні котловани або в підземні виробки. Були випадки різкого збільшення фільтрації через тіло плотини. Суфозія часто призводить до порушення нормальної роботи дренажів та фільтрів через їхню кольматацію (вмивання дрібних часток порід в пори і пустоти заповнювачів дренажів та фільтрів).

Для захисту від суфозії потрібно припинити рух води через масив, котрий розмивається, для чого породи скріплюють твердіючими розчинами. Якщо не вдається повністю припинити рух підземних вод, то потрібно хоча б зменшити швидкість її руху і величину гідравлічного градієнта, для чого їх корегують дренажем і ущільненням водонасичених ґрунтів.

Фільтрація підземних вод може супроводжуватись не тільки розпушуванням, але і природним ущільненням ґрунту.

Кольматація (від франц. ”colmatage”, від італ. ”colmata” наповнення, насипання) – процес природного проникнення або штучного внесення дрібних (головним чином колоїдних, глинистих і пилуватих) частинок і мікроорганізмів в пори і тріщини гірських порід, а також осадження на них хімічних речовин, що зумовлює зменшення їх водопроникності. Цей процес властивий палеоводоносним горизонтам піску, тріщинуватих крейди і мергелів, де відбувається вмивания глинистих і колоїдних частинок у водопроникні породи.

Карст (англ. ”karst”) – процес розчинення та вилуговування гірських порід поверхневими чи підземними водами і формування специфічного (поверхневого та підземного) рельєфу. Термін походить від назви вапнякового плато Карст, або Крас біля Трієсту у Словенії. Розчинюються або вилуговуються породи перш за все легкорозчинні: кам’яна сіль, гіпси, вапняки, доломіти, мергелі, крейда. А тому карст буває *соляним, гіпсовим, карбонатним*.

Поверхневі прояви карсту (рис. 12) досить чітко поділяються на так званий непокритий (рос. – "голый") і покритий карст. Непокритий карст утворюється при безпосередньому виході на поверхню порід, що карстуються (найчастіше це буває у горах, де переважають процеси руйнування), а покритий карст формується в

Національний університет
водного господарства
та природокористування

умовах, коли карстові породи перекриваються відкладами, які не підлягають карстоутворенню. Особливою різноманітністю поверхневих форм відрізняється непокритий карст.

На поверхні Землі внаслідок розчиняючої дії атмосферних вод утворюються канавки, борозни, щілини глибиною від кількох

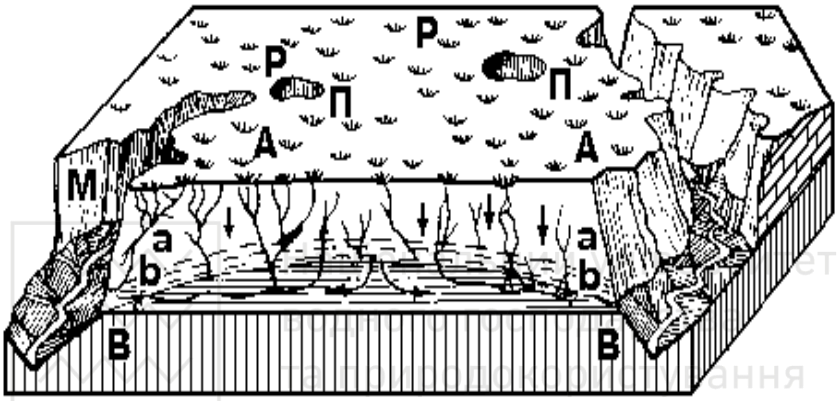

Рис.12. Схема ідеального карстового масиву (за І. Щукіним). А-а – потужна вапнякова товща; В – водотривка порода; П – окремі провалля над порожнинами; Р – понори; М – каньйони; b-b – зона періодичного повного насичення з періодично діючими джерелами; (стрілки вказують напрямки циркуляції підземних вод)

сантиметрів до метра. Всі ці утворення називаються карами, а площі розвитку карів – каровими полями. Серед карів зустрічаються і глибокі щілини, якими поверхневі води відводяться в горизонти підземних вод. Такі щілини називають *понорами*.

Найбільш характерними поверхневими формами прояву карсту є карстові блюдця (улоговини), розміри яких досягають сотні метрів в діаметрі і десятків метрів в глибину (такими, наприклад, є улоговини Шацьких озер на Волині).

Кількість карстових блюдець, їх розміри на тій чи іншій ділянці характеризують інтенсивність закарстованості порід. Блюдця, розташовані на невеликих відстанях одна від одної, можуть

Національний університет
водного господарства
та природокористування
сполучатись і утворювати одну видовжену западину – сліпу долину, балку, яр, жолоб, а при великих розмірах – карстову котловину, при дуже великих розмірах – карстові поля.

Утворення карстових блюдець та інших улоговин може відбуватися: 1) шляхом вилуговування порід з поверхні по тріщинах з постійним їх розширенням і заглибленням (улоговини вилуговування); 2) при просіданні або провалі порід в результаті завалів склепінь підземних порожнин – печер (провальні улоговини); 3) при вмиванні в тріщини і порожнини пухких покрівних утворень (улоговини просочування). Можливі також сполуки і комбінації різних способів утворення карстових улоговин.

Підземні прояви карсту – розширені розчиненням порід тріщини, каверни, різноманітні печери, розущільнені зони в товщі порід, що карстуються, зрушення залягання гірських порід в результаті їхнього обвалу над карстовими порожнинами.

Для карстового процесу (на відміну від суфозії) головним є розчинення порід і винесення з них речовин в розчиненому стані. Виникнення і розвиток карсту зумовлені здатністю порід до повного розчинення, наявністю протічної води і ступенем її мінералізації, геологічною будовою масиву, рель'єфом місцевості, тріщинуватістю порід, характером рослинності, кліматом і т.п.

Із усіх порід найкраще розчиняються водою солі (кам'яна, калійна), гіпси, ангідрити та різні вапняки. Для розчинення однієї частини кам'яної солі (котра складається з галіту) достатньо трьох частин води, а для гіпсу потрібно уже 480 частин води. Найважче розчиняються вапняки. Залежно від вмісту в воді CO_2 та від температури, для розчинення однієї частини мінералу кальциту (а саме з нього складаються вапняки) необхідно від 1000 до 30 000 частин води. Так же важко розчиняються доломіти і магнезити.

Одним з основних факторів карстоутворення є дія води (атмосферної, річкової, підземної), якщо вона не має підвищної мінералізації. Найсильніше розчиняє породи прісна вода, а також та, що вміщує вільну вуглекислоту. У такому випадку розчиняюча дія води збільшується в багато разів. Розчиненню також сприяють підвищення температури та збільшення швидкості руху води. Вода з розчиненим сірчанокислим кальцієм та іншими сульфатами має агресивні властивості (руйнує бетон).

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Дуже важливою умовою розвитку карсту є ступінь водопроникливості порід. Чим водопроникливіша порода, тим інтенсивніше проходить процес її розчинення. Найсприятливіші умови в цьому відношенні створюються в тріщинуватих породах, особливо за наявності тріщин шириною не менше 1 мм, тому що це забезпечує вільну циркуляцію води. Вода поступово розширює тріщини в канали і печери, які розвиваються на глибину аж до водотриву або до рівня підземних вод. Нижню межу розвитку цього корозійно-ерозійного процесу називають *базисом корозії*. Ним найчастіше є рівень води у найближчій річці, озері або морі, а також поверхня водотривких порід.

Підняття або опускання карстового масиву, внаслідок рухів земної кори, викликає зміни положення базису корозії. При цьому карстовий процес або підсилюється, або послаблюється.

Ступінь закарстованості гірських порід можна оцінювати за показником закарстованості, що виражає відношення обсягів порожнин до обсягу порід, в межах якого визначено обсяг порожнин.

Оцінку ступені закарстованості виконують за даними: 1) геоморфологічних спостережень; 2) спостережень і безпосередніх вимірів карстових порожнин у відслоненнях і в самих карстових порожнинах; 3) спостережень при проходці гірничих виробок і бурових свердловин; 4) геофізичних розвідувальних робіт; 5) спеціальних гідрогеологічних і гідрологічних спостережень; 6) дослідних фільтраційних і дослідних цементаційних робіт; 7) спостережень за деформаціями споруд.

Для кількісної оцінки закарстованих територій рекомендується також визначати: а) середньорічну кількість провалів на одиницю площі, і б) середньорічну враженість карстовими провалами. Середньорічну кількість карстових провалів на одиницю площі (випадки / км^2*рік), розраховується за формулою

$$P = n/Ft, \tag{4}$$

де n – число провалів зафіксованих на площі F за певний період часу t.

Середню враженість території карстовими провалами визначають за формулою

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$B = \Sigma f 100 / Ft, \qquad 5)$$

де Σf – сума площ провалів, що утворились на площі F за проміжок часу t.

Особливі райони розвитку карсту складають ділянки приповерхневого залягання крейди, вапняків, кам'янної солі, гіпсу та ангідриту в межах солянокупольних структур.

Будівництво в карстових районах пов'язане зі значними труднощами, тому що породи, які піддаються карсту, є ненадійними основами для споруд. Наявність порожнин зменшує міцність і стійкість порід. Розвиток карсту може викликати недопустимі деформації і навіть повне руйнування конструкцій. Карстові провали та осідання земної поверхні над ними іноді спричиняють катастрофічні деформації і руйнування будівель. Особливо небезпечний карст для гідротехнічних споруд. Через карстові пустоти можливе витікання води з водосховищ.

При оцінці закарстованих територій з точки зору придатності їх для будівництва виділяють: 1) території стійкі і відносно стійкі, в межах яких розчинні породи слабозакарстовані і середньорічне число провалів на площі 1 км^2 не перевищує 0,01, а також такі, де слабозакарстовані породи залягають на глибині понад 10 м і перекриті щільними і стійкими породами. При плануванні забудови таких територій їх закарстованість можна не враховувати; 2) території з дещо зниженою стійкістю, де розчинні породи мають підвищену закарстованість, середньорічне число провалів на площі 1 км^2 досягає 0,01-0,05, товщина покрівних відкладів мала бо недостатня порівняно з товщиною активної зони споруд. Рекомендується обмежувати висоту будинків і щільність житлової забудови до 20%; 3) території недостатньо стійкі характеризуються підвищеною закарстованністю порід, де середньорічне число провалів та осідань поверхні досягає 0,05-0,1 і вони проявляються часто. Будівництво будинків висотою до 5 поверхів тільки у виключних випадках, при спеціальних обґрунтуваннях можливості їх будівництва. Щільність житлової забудови до 10%; 4) території нестійкі, де розчинні породи мають підвищену закарстованість, часті

Національний університет
водного господарства
та природокористування
провали і осідання поверхні. Будівництво капітальних будинків і споруд не допускається.

Для правильного проектування будов та споруд в карстових районах необхідні детальні інженерно-геологічні дослідження, які повинні мати комплексний характер.

Заходи захисту від карсту полягають в цементуванні та бітумізації порід, що карстуються. При цьому, якщо це можливо, стараються зменшити швидкість руху підземних вод, оскільки це один з активних чинників розвитку карсту. Найбільш поширені схеми протикарстового захисту: 1) планування територій з регулюванням поверхневого стоку; 2) дренування і каптаж обводнених порід; 3) влаштування опор (фундаментів) на породах, що не карстуються; 4) штучне ущільнення і закріплення порід; 5) влаштування протифільтраційних завіс; 6) різноманітні конструктивні заходи на спорудах, що проектуються для розміщення в карстових зонах.

Пливуни – водонасичені тонко- і дрібнозернисті піски, а також пилуваті суглинисті ґрунти, котрі часто вміщують органічну речовину і проявляють динамічну активність. Такі породи приходять в рух і опливають при струсі або розкритті їх будівельними і гірничими виробками, чим наносять величезні ускладнення будівництву. Явище пливунності виражається в тому, що водонасичені породи приходять в рух, набуваючи властивостей дуже в'язкої рідини. Чим більше ґрунту вибирається з виїмки, тим більша його кількість по поповнюється з боку дна та стінок. Пливуни поділяють на фільтраційні (псевдопливуни) і тіксотропні (істинні).

Фільтраційні пливуни переходять до стану пливунності під дією гідродинамічного тиску води, що фільтрується. Перехід фільтраційного пливуна до пливунного стану визначається величиною *критичного* напірного градієнта, яку дуже часто приймають чисельно рівною щільності ґрунту, завішеного в воді.

Тіксотропні (від грец. "τύχης (тіксіс)" – дотик і грец. "τροπή (тропе)" – поворот, зміна) пливуни спостерігаються в колоїдних системах і виникають під впливом зовнішніх факторів: поштовху, струшування, вібрації, дії ультразвуку тощо. Колоїдна система втрачає свою структуру і руйнується, а після припинення зовнішнього впливу відновлює свої первинні властивості. Явище

Національний університет
водного господарства
та природокористування
зміни стану дисперсної речовини під впливом зовнішніх факторів називається *тіксотропією.*

При розгляданні істинних пливунів під мікроскопом, видно, що безпосередніх контактів між зернами породи немає. Коефіцієнт фільтрації таких порід мізерний і складає біля 0,01 м/добу.

Вчені експеременталь но встановили, що в істинних пливунах причиною утворення колоїдної маси є діяльність особливих організмів. Досліджуючи істинні пливуни, вчені звернули увагу на те, що поверхня піщаних часток пливуна ніби з'їдена. Подальші дослідження показали, що в 1 $см^3$ пливуна вміщується до 8 млн. мікроорганізмів. Ці організми з'їдають органічні і мінеральні речовини і виділяють колоїдну масу – слиз, який і зумовлює рухливість пливунного ґрунту.

Досліди по відтворенню властивостей істинного пливуна були поставлені з дрібними кварцовими пісками. Посіви колоній мікроорганізмів показали, що вже через три місяці в піску з'явились кульки газу і утворився пливун. Через 5-8 років відмічалась чітко виражена кородованість зерен, які набували зв'язності і злипались при висиханні за рахунок появлення пилуватих часток. При знищенні мікроорганізмів антисептиками порода втрачала рухливість.

Знешкодження пливунів передбачає використання наступних заходів: 1) осушення (заморожування) пливунного ґрунту; 2) знищення мікроорганізмів антисептиками; 3) механічне закріплення пливунних ґрунтів.

Геологічна діяльність озер. О з е р о м називається природне, заповнене водою заглиблення в земній корі, яке не має зв'язку з океаном. Геологічна діяльність в озері проявляється в *абразії* – руйнуванні хвилями берегів і накопичені в озері осадового матеріалу. Теригенний матеріал нагромаджується в результаті твердого стоку річок і розмивання берегів озера. Значними є і хімічні осади – солі, сполуки заліза, алюмінію, марганцю тощо. З органогенних відкладів часто утворюються мули. Для невеликих озер зони помірного клімату характерні відклади *сапропелю* (від грець. "σάπιος (сапрос)" – гнилий і "πηλός (пелос)" – глина) – гнильного мулу. Матеріалом для його утворення служать водорості, комахи, черв'яки, риби. Залишки відмерлих організмів гниють на дні при обмеженому доступі кисню і перетворюються в чорний мул, який складається з

Національний університет
водного господарства
та природокористування
органічної речовини та глинистого, кременистого або вапнякового матеріалу. Відклади озер позначаються індексом (*l*) (від грец. ”λίμνη (лімне)” – озеро) і зафарбовуються в світло-блакитний колір.

Геологічна діяльність боліт. Б о л о т а – перезволожені ділянки суші, вкриті шаром торфу потужністю не менше 0,3 м (при меншій потужності торфу перезволожені території називаються з а б о л о ч е н и м и з е м л я м и). Розрізняють болота низинні, верхові і перехідні.

Н и з и н н і болота зароджуються в долинах річок, на місцях старорічищ і різних типів озер. Першою ознакою заболочування озера є поява на його берегах болотної рослинності (осоки, очерету, *гіпнового* моху тощо), яка згодом розростається, відмирає і перетворюється на т о р ф. Живляться такі болота, в основному, за рахунок підземних вод. При піднятті підземних вод до поверхні відбувається заболочування земельних угідь.

В е р х о в і болота утворюються на вододільних ділянках з достатньою кількістю атмосферних опадів. Рослинність таких боліт представлена, в основному, білими (*сфагновими*) мохами. Ці болота розвиваються в умовах живлення виключно атмосферними водами.

Відклади боліт мають індекс (*b*) і зафарбовуються в брунатний колір.

Будівництво на заболочених територіях, як правило, має виконуватись після їх осушення, а інколи після планування відсипкою або намивом глинистих, піщано-гравійно-галечних і щебнистих ґрунтів. Таким чином непридатні для забудови заболочені території перетворюються в придатні для забудови великими житловими масивами і промисловими закладами, проте слід враховувати, що умови будівництва капітальних споруд на спланованих і осушених територіях залежать також від особливостей складу, стану і властивостей порід мінерального дна боліт.

Болота і заболочені ділянки часто неможливо обійти при прокладці лінійних споруд – доріг, трубопроводів, ліній електропередач. Основні вимоги при проектуванні лінійних споруд на болотах: а) має бути забезпечена надійність основ; б) встановлена і по можливості знижена величина осідання; в) забезпечено закінчення інтенсивної частини осідання в заданий термін; г) виключені недопустимі пружні деформації насипів при русі

Національний університет
водного господарства
та природокористування

транспорту. Насипи для полотна доріг залежно від типу заболоченості, виду і значення комунікацій можуть влаштовуватись за різними схемами, що передбачають доведення насипу до мінерального дна або ущільнення болотних відкладів.

Геологічна діяльність морів. Морські хвилі руйнують гірничі породи берегів. Цей процес отримав назву а б р а з і я (від лат. ”abrasion” – зішкрябування, збривання). Швидкість руйнування берегів залежить від їхньої форми, літологічного складу, а також від сили морського прибою. Під час шторму сила удару хвилі досягає величезних значень. В районі м. Сочі вона досягла 18 т/м^2, а на берегах Франції були зареєстровані удари хвилі силою 60 т/м^2.

Інтенсивність руйнування берегів зростає, якщо в роботі морських хвиль приймають участь уламки порід. Руйнування морських берегів триває тисячоліттями і веде до того, що вони відступають у бік суші на віддаль, яка стає недосяжною для морських хвиль. Смуга суші, яка знаходиться між водою і береговим уступом, називається *пляжем*. Пляж служить захисною смугою, що оберігає берег від руйнування. Береги із розсипчастих порід руйнуються значно швидше, ніж скельові. Продукти руйнування йдуть на утворення пляжу і на нівелювання нерівностей берега.

Для *захисту морських берегів від ерозії* на них зводять захисні споруди, які діляться на пасивні і активні. До споруд пасивного захисту відносяться ті, які безпосередньо стають перешкодою дії на берег морських течій та хвиль. Споруди активного захисту змінюють характер протікання процесів в береговій зоні. Для захисту берегів від розмиву застосовуються берегові стінки: із каменю, бетону, залізобетону і сталі; берегові покриття: кам’яні, бетонні, залізобетонні і асфальтобетонні, штучні пляжі з піску, насадження рослинності, берегові хвилерізи, буни і різноманітні комбінації цих видів захисту.

Геологічна діяльність моря проявляється не лише в руйнуванні берегів, а і в утворенні осадів. *Морські відклади* за походженням, як і осадові породи, поділяються на уламкові (теригенні), хемогенні та органогенні.

Теригенні відклади складаються з уламків, які поступають в море з суші. Накопичення їх відбувається по всьому морському дну, але різко переважає в прибережній зоні і в області шельфу. Хемогенні

Національний університет
водного господарства
та природокористування

відклади накопичуються переважно в області шельфу. Органогенні відклади утворюються у всіх областях морського дна. Крім зазначених типів осадів, на морському дні накопичуються продукти вулканічної діяльності, космічний пил, а також уламковий матеріал, принесенний айсбергами.

Всі четвертинні морські відклади позначаються буквою (*m*) (від лат. ”marinus” – морський) і зафарбовуються в блакитний колір.

В зоні берегового прибою, там де морські хвилі досягають дна, відбувається повільне переміщення часток уламкового матеріалу, котрий біля похилих берегів може утворювати обмілини, коси, пересипи. Пересип відокремлює від моря гирло річки і при опусканні прибережних ділянок утворюються *лимани*.

Акумулятивні форми у вигляді довгих смуг, утворених піщано-гравійно-гальковими наносами, які підняті над рівнем моря і проходять паралельно до берега, називають *барами*. Бари відділяють від моря великі мілководні ділянки, котрі називають *лагунами*. Це, як правило, відбувається при піднятті прибережних ділянок. Лиманні та лагунні відклади є перехідними від морських фацій (від лат. ”facies” – лице, вигляд) до континентальних.

Геологічні процеси в зонах впливу водосховищ. При створенні водосховищ в долинах річок на берегах, а також на ділянках їхнього розташування і в зоні, що прилягає до них, змінюється природний стан геологічного середовища – створюються так звані зони затоплення, підтоплення і впливу водосховища. В прибережній частині водосховища відбувається підйом рівня ґрунтових вод, порушується стійкість схилів, які були стійкими до затоплення чаші водосховища водою. Після заповнення водойми в береговій зоні відбувається вироблення нового, стійкого в нових умовах, схилу. Це веде до руйнування порід у береговій смузі. В зону затоплення, підтоплення і перероблення берега можуть попасти населені пункти, сільськогосподарські угіддя, різні підприємства і природно, виникає необхідність перенесення їх в безпечні місця або проведення укріплення берегів водосховища.

Затоплення в зоні впливу водосховища в основному пов’язано з паводками і повенями, що періодично відбуваються переважно на заплавних територіях. Відповідно нормативних документів території населенних пунктів і великих промислових підприємств не повинні

Національний університет
водного господарства
та природокористування
затоплюватись повенями 1% забезпеченості; інші території не повинні затоплюватись паводками 2% забезпеченості; при захисті тимчасових підприємств (з термінами експлуатації 10-15 років) необхідно передбачати захист ділянок від паводків 10% забезпеченості. Захист цих територій від затоплення здійснюється обвалуванням незатоплюваними і затоплюваними дамбами.

Перероблення берегів водосховищ зумовлюється поєднанням дії різних факторів: кліматичних, гідрологічних, геоморфологічних, геологічних і гідрогеологічних.

З кліматичних факторів основну роль в процесах перероблення берегів грає сила і напрямок вітру, а також коливання температури повітря, які впливають на вивітрювання гірських порід, що складають берег.

Гідрологічні фактори представлені величиною підйому рівня води у водосховищі, амплітудою його коливання, висотою вітрових хвиль та наявністю течій.

Велике значення мають і геоморфологічні фактори, оскільки ступінь і інтенсивність перероблення берегів залежать від ухилу самих берегів. Встановлено, що при інших рівних умовах круті береги перероблюються сильніше.

Стійкість берегів водосховищ дуже залежить від складу порід і умов їхнього залягання. Найбільш стійкими від розмивання є скельові та напівскельові породи. Менш стійкі береги, котрі складені щільними дочетвертинними глинами. Дуже нестійкі береги, що складені розсипчастими четвертинними піщаними породами, суглинками і особливо супісками та лесами. Нестійкими берегами є і ті, на котрих поширені зсуви, обвали, осипні нагромадження і опливини.

Гідрогеологічні умови також мають вплив на руйнування берегів водосховищ, особливо у випадках наявності гідравлічного зв’язку ґрунтових вод з водами водосховищ. Заповнення водосховища водою викликає підпір ґрунтових вод, а швидке зниження рівня в ньому створює гідродинамічний тиск, котрий понижує стійкість берегової смуги.

На стійкість берегів впливає наявність деревної і кущової рослинності, а також конфігурація берегів в плані, господарське освоєння прибережної території тощо.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Інтенсивність перероблення берегів водосховищ з часом затухає, найбільшої величини вона досягає в перші 2-3 роки. Залежно від природних умов через 10 і більше років береги водосховища досягають профілю рівноваги.

Одночасно з руйнуванням берегів у водосховищах відбувається *акумуляція* продуктів руйнування і того уламкового матеріалу, який приноситься течіями. Замулення водосховищ має негативне значення і нерідко викликає необхідність проведення додаткових заглиблювальних робіт.

Крім перероблення берегів водосховища, у прилеглій до нього смузі суші іноді утворюється *зона підтоплення*. В цій смузі капілярна зона або дзеркало ґрунтових вод, внаслідок підйому їхнього рівня від напору з боку водосховища, досягають денної поверхні. З часом такі площі вимагатимуть осушувальних меліорацій.

Підтоплення є результатом дії трьох видів води: верховодки, власне ґрунтових і напірних вод.

Верховодка утворюється над шарами (лінзами) водотривких чи слабопроникливих ґрунтів, що залягають неглибоко від поверхні, над якими в періоди підвищеної водності, обумовленої природними або техногенними чинниками, накопичуються води, що можуть формувати замкнутий басейн, бути нерухомими або рухатися за нахилом водотривкого шару до місця виходу на поверхню або до водоприймача.

Рівень води перших від поверхні водоносних горизонтів має тенденцію до зростання в зв'язку з ускладненнями умов фільтрації води, виникнення баражного ефекту при влаштуванні фундаментів, порушенням умов поверхневого стоку, поганою експлуатацією водних комунікацій, будівництвом гребель і каналів в населенних і промислових районах.

Високий рівень ґрунтових вод і контакт їх з фундаментами в основах будинків і споруд, а також з трубопроводами різноманітного призначення викликає корозійний процес в бетонних, залізобетонних та інших елементах споруд, а також деформації основ під ними, що в свою чергу викликає деформації та руйнування споруд.

Однією із форм захисту фундаментів і підземних частин будинків та споруд, що знаходяться в зонах підтоплення або капілярного

Національний університет
водного господарства
та природокористування
зволоження є гідроізоляція – цементно-піщана, асфальтова, обмазочна і оклеєчна, з використанням синтетичних плівок.

Поряд з гідроізоляцією широко застосовуються водознижуючі дренажні споруди, які в різноманітних комбінаціях дають можливість збирати і відводити воду від підземних частин будинків та споруд, або здійснювати перехват підземних потоків, направлених до місць, де вони можуть призвезти до небажаних і шкідливих наслідків (надмірне зволоження ґрунтів, фільтраційні руйнування схилів та укосів).

В сейсмічних районах у зв'язку із спорудженням водосховищ виникає загроза збільшення сейсмічної активності. Вода з водосховища поповнює підземні водоносні горизонти, внаслідок чого в них зростає пластовий тиск. Вода також проникає у зміщувачі розривних порушень і відіграє в них роль змазки, завдяки чому відбувається швидке розвантаження тектонічних напруг по розломах і провокуються землетруси.

Тема 7. Геологічна діяльність льоду і сил гравітації. *Діяльність льодовиків.. Геологічні процеси в областях поширення багатолітньомерзлих гірських порід. Геологічна діяльність сил гравітації, зсува, обвали, селі, лавини.*

Геологічна діяльність льоду і льодовиків. У високих широтах земної кулі, де температура повітря опускається нижче 0 °С, вода в природі існує у формі снігу та льоду. В екваторіальних широтах сніг і лід можна зустріти лише на вершинах високих гір (в Гімалаях – на 6000 м). Границя, вище якої сніг не розтає за літній період, називається *сніговою лінією*. В напрямку від екватора до полюсів відмітки снігової лінії понижуються і приблизно біля границь Гренландії і Антарктиди доходять до рівня моря.

Сніг, як і пісок, здатний до перевівання, внаслідок чого на схилах, захищених від вітру, утворюються потужні снігові маси, які можуть при потеплінні сходити в вигляді *снігових лавин*. Лавини сприяють накопиченню уламкового матеріалу в долинах. Маси свіжого снігу з часом ущільнюються, його частинки оплавлюються під дією сонячних променів і перетворюються в зернистий лід – *фірн*. В останній просочуються снігові води і, замерзаючи, цементують його,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

утворюючи суцільний прозорий *глетчерний лід*. На утворення 1 м^3 глетчерного льоду йде біля 11 м^3 снігу.

Величезні маси природного льоду називаються *льодовиками* Ними вкрито біля 11% поверхні суші. Границі льодовиків непостійні, в останні роки їх площа поступово скорочується. Льодовики виконують величезну руйнівну роботу. Під час свого руху (швидкість приблизно в 10 000 разів менша від швидкості течії річки) льодовик проорює береги і дно ложа. Цей процес називається *екзарацією* (від лат. ”exaratio” – виорювання). Руйнування посилюється, якщо в льодовик впаяні уламки твердих порід. Такий "армований" льодовик перетирає, царапає і полірує скельні породи, які зустрічаються на його шляху і загрожує будівельним спорудам.

В геологічному минулому на Землі було кілька епох крупних зледеніннь. Під час наймолодших з них утворились гляціальні і флювіогляціальні четвертинні відклади, більшість з них є дисперсними інженерними ґрунтами і мають широке застосування у будівництві.

Уламки порід, котрі переносяться або відкладаються льодовиком, називаються м о р е н о ю. Покривний лід вміщує морену всередині тіла льодовика, або біля самого низу. У гірських льодовиків морени бувають *поверхневі, внутрішні, донні, серединні* і *кінцеві* (рис. 13).

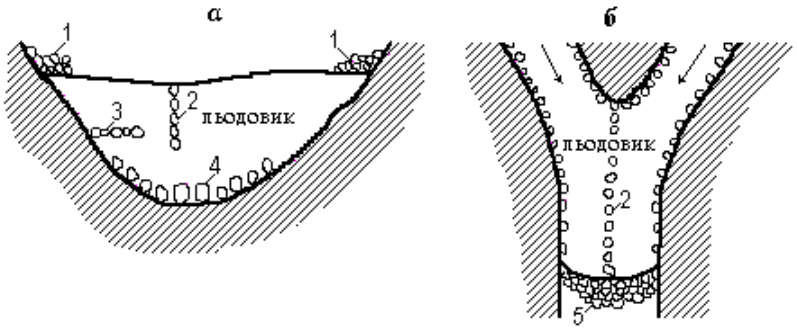

Рис.13 . Типи морен: *а* – в розрізі, *б* – в плані; 1 – поверхнева, 2 – середина, 3 – внутрішня, 4 – донна, 5 – кінцева

Усі види морен, крім кінцевої, називаються *рухомими*. При рівномірному таненні льодовика рухома морена поступово

Національний університет
водного господарства
та природокористування
опускається і відкладається у вигляді камінних гряд, витягнутих за напрямком його руху. Відкладена морена, на відміну від рухомої, називається *основною*. Основна морена складається з щебеню, гравію, гальки, валунів, брил, а також з піщаного та глинистого матеріалу. Якраз така різнорідність і невідсортованість матеріалу і властива моренним відкладам. Позначаються *гляціальні* (від лат. "glacies" – лід) відклади індексом (*g*) і зафарбовуються на картах четвертинних відкладів в світло-брунатний колір.

При таненні льодовиків утворюються талі води, котрі, стікаючи в пониження, наповнюють річки, що протікають серед льодовикових берегів. Захоплюючи з льодовика морену, річки сортують її і відкладають, утворюючи *флювіогляціальні* (від лат. "fluvius" – річка і "glacialis" – льодяний) *відклади*. Флювігляціальні відклади представлені глинами, пісками, гравієм, галькою. Глини утворюються переважно в прильодовикових озерах.

На місці відступившого льодовика флювіогляціальні відклади утворюють різні форми рельєфу, серед яких слід виділити ози, ками і зандри.

Ози (від швец. "asar" – хребет, пасмо) – витягнуті в напрямку руху льодовика гряди з хвилястими та вузькими гребенями. Складаються з добре відсортованих пісків, гравію і гальки. Вважають, що ози утворюються з руслових осадів на поверхні льодовика.

Ками (від нім. "kamm" – гребінь) – піщані горби висотою до 12 м, безсистемно розкидані серед кінцевих морен. Складені добре відсортованими пісками з домішками гравійних та глинистих часток. Вважають, що ками утворились з осадів крупних котловин, які раніше знаходились на поверхні льодовиків.

Зандри (від дат. "sandur" – пісок) – великі хвилясті піщані поля, які простягаються перед кінцевими моренами. Утворились в результаті злиття між собою конусів виносу окремих водно-льодовикових потоків, складені пісками з великою кількістю гравію і глини. Значне поширення зандри мають в Українському Поліссі. Флювіогляціальні відклади позначаються буквами (*fg*) і зафарбовуються в зелений колір.

Інженерно-геологічні явища, пов'язані з мерзлотою. В районах розповсюдження багаторічної мерзлоти спостерігаються інженерно-геологічні явища, які своїм походженням зобов'язані різким змінам

Національний університет
водного господарства
та природокористування

температури повітря і стану гірських порід. Серед цих явищ, що називаються кріогенними (від грец. ”κρύο” (кріо) – холод, лід), широке розповсюдження мають *деформації здимання* – збільшення об’єму пилувато-глинистих та іноді піщаних порід при промерзанні водонасиченого діяльного шару. Здимання є наслідком утворення кристалів льоду за рахунок замерзлої в породах води. Воно виражається у локальному піднятті денної поверхні, а разом з нею – наземних будівельних споруд і комунікацій.

Здимання може відбуватись впродовж однієї зими або роками і називається відповідно сезонним і багаторічним. Сезонне здимання пов’язане з тимчасовим замерзанням води у діяльному шарі на незначну глибину, а багаторічне, крім того, охоплює і більш глибокі шари порід.

Здимання може бути причиною пошкодження різноманітних споруд. До деформацій споруд ведуть як самі здимання, так і нерівномірні осідання після відтанення ґрунтів в основі споруди. Внаслідок здимання часто виникають горби здимання, які інколи досягають декількох метрів висоти. У високих широтах з ”вічною мерзлотою” формування горбів може відбуватись впродовж декількох років. Пояснюється воно двома причинами: 1) промерзанням надмерзлотної води і утворенням льоду у товщі діяльного шару і 2) напором води і ґрунтової маси, які підіймаються знизу і здимають верхні мерзлі шари гірських порід. Горби здимання, утворені за рахунок проникнення води, називають *гідролаколітами*. Після відтанення льодистого ядра на місці горба утворюється пониження, в якому розвиваються мочажини.

Геологічна діяльність сил гравітації. На територіях з розчленованим рельєфом, штучних схилах укосів і виїмок ґрунтів, в гірських виробках внаслідок дії сил гравітації, зумовлених земним тяжінням і посилених або спричинених діяльністю людини, нерідко відбувається відривання, сколювання, або пластичне переміщення гірських порід додолу під дією їхньої власної ваги. Зміщення порід можуть бути у вигляді зсувів, обвалів, осипів, опливин, лавин, селів, тощо.

Зсуви – це ковзаючі зміщення масивів гірських порід (ґрунтів) на схилах під дією сили тяжіння, коли зсувні зусилля більші міцності порід. Зсуви – явище досить часте і властиве для схилів долин, ярів,

Національний університет
водного господарства
та природокористування

балок, берегів морів, гірничих виробок. В результаті зсувів деформуються і руйнуються будівлі, насипи шосейних доріг та

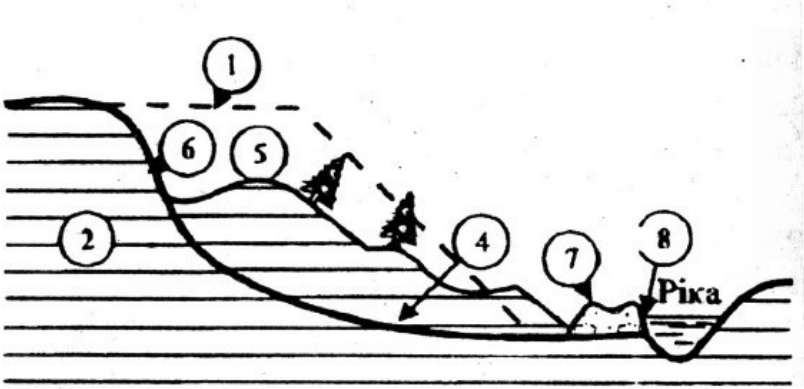

Рис.14. Морфологічні елементи зсуву і рельєф зсувного схилу: 1 – початкове положення схилу; 2 – непорушений (корінний) схил; 3 – тіло зсуву; 4 – поверхня сковзання; 5 – зсувна тераса; 6 – стінка відриву зсувного блоку; 7 – напірний зсувний вал; 8 – уріз води в річці

Національний університет
водного господарства
та природокористування

залізниць, колодязі, труби тощо.

Зсуви ґрунтового масиву відбуваються у вигляді його сковзання додолу (рис. 14). Поверхня, якою відриваєть-ся і ковзає вниз тіло зсуву, називається *поверхнею ковзання*. В однорідних глинистих породах ця поверхня, як правило, плавна, близька до циліндричної, в неоднорід-них – плоска, хвиляста або ламана (тут дає себе знати шаруватість). Місце виходу площини сковзання на земну поверхню в основі схилу чи відкосу називають підошвою зсуву, а у верхній частині схилу – вершиною. Виходи її на схилі справа і зліва від осі позначають як борти зсуву.

Зсувами формується особливий комплекс форм рельєфу, головними елементами якого є *зсувний цирк*, обмежений стінкою відриву; *зсувний блок*, обмежений похилою зсувною терасою та крутим укосом у напрямку падіння схилу; часто біля підніжжя схилу формується *напірний зсувний вал*, що являє собою деформовані під тиском зсувної маси корінні породи схилу.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Залежно від умов формування і морфологічних особливостей виділяють різні *типи зсувів*: *детрузивні* (штовхаючі), що починаються у верхній частині схилу; *деляпсивні* (сповзаючі), які утворюються у нижній частині схилу; *зсуви-опливини* тощо.

Загальний вигляд зсувонебезпечних схилів має ряд характерних ознак, за якими можна встановити, що схили перебувають в нестійкому стані. В місцях відривання маси порід утворюється серія концентричних тріщин, котрі зорієнтовані вздовж схилів. За рахунок тиску оповзаючих порід утворюються вали витискування. Між валами часто накопичуються поверхневі води, котрі призводять до заболочення схилів. Часто ознакою оповзання є терасованість схилів, п'яний ліс та розірвані стовбури дерев. На зсувних схилах будинки і деформуються, в них утворюються тріщини, котрі мають найбільше розкриття в нижній частині споруди.

Утворенню зсуву зазвичай передує виникнення трішин в його тілі. В верхній частині схилу біля вершини зсуву утворюються тріщини відриву – круті, орієнтовані по дузі (концентрично) або паралельно простяганню схилу. В нижній частині, біля підошви зсуву, з'являються поздовжні і косі тріщини сколу. Такі тріщини пересікають тіло зсуву поперек і орієнтовані також паралельно схилу. Дані тріщини появлються внаслідок різної швидкості зміщення мас гірських порід в тілі зсуву.

Зсуви виникають за певних умов, під якими потрібно розуміти всю сукупність природних та техногенних чинників, що порушують рівновагу мас гірських порід на схилах. Найважливіші з них наступні: 1) кут нахилу схилу; 2) наявність на схилі глинистих високопластичних (з числом пластичності >7%) гірських порід; 3) надмірна зволоженість схилів від опадів, підземних вод чи водогосподарських комунікацій; 4) нахил шарів порід в бік пониження схилу; 5) наявність техногенних та природних вібрацій гірських порід на схилах; 6) розорювання і підрізка схилів людиною; 7) знищення на схилах лісів і чагарників.

Наприлад, місцевості з розчленованим рельєфом більш придатні для розвитку зсувів, навпаки, рівнинні території найменш придатні. Круті опуклі та нависаючі схили частіше піддаються зсуванню, ніж пологі.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

В районах з вологим кліматом зсуви зустрічаються частіше, ніж в районах з сухим кліматом.

В межах зони впливу водойм, в глибоководній і обривистій їх частині утворення зсувів більш можливе, порівняно з пологими схилами водойм.

Стійкість зсувного схилу в значній мірі залежить і від характеру циркуляції підземних вод в його масиві. Часто саме дія підземних вод є найбільш істотним фактором зміщення земляних мас на схилі. Значну роль в утворенні оповзів на окремих ділянках схилів відіграє гідродинамічний тиск. Як відомо, він направлений вздовж фільтраційного потоку і є тим більшим, чим менша водопроникність порід. В періоди різкої зміни напірного градієнту він може стати причиною порушення стійкості мас гірських порід на схилі або нахилі. Якщо під час повені рівень води в річці різко підніметься і затопить нижню частину схилу, а потім також різко опуститься, то у водопроникних породах, особливо в слабопроникних, в цей час виникає гідродинамічний тиск при зворотній фільтрації води.

Велике значення при утворенні зсувів мають геологічна будова та літологічний склад порід схилів. Найчастіше зсуви утворюються на схилах при падінні пластів в бік схилу. Типовими зсувними породами вважають різні глинисті відклади, для котрих характерна підвищена пластичність при зволоженні. Дуже часто зсуви пов'язані з лесовими породами, особливо в місцях виходів підземних вод. При наявності в основі нашарувань гірських порід, що відслонюються на схилі, пластичних глин часто розвиваються ступінчаті (терасовані) зсуви (рис.15). Із природних умов, які найчастіше сприяють виникненню зсувів, можна назвати наступні: кліматичні особливості району, гідрологічний і гідрогеологічний режим поверхневих і підземних вод, ландшафт місцевості, геологічна будова нахилів і відкосів, сучасні тектонічні рухи і природні сейсмічні явища.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

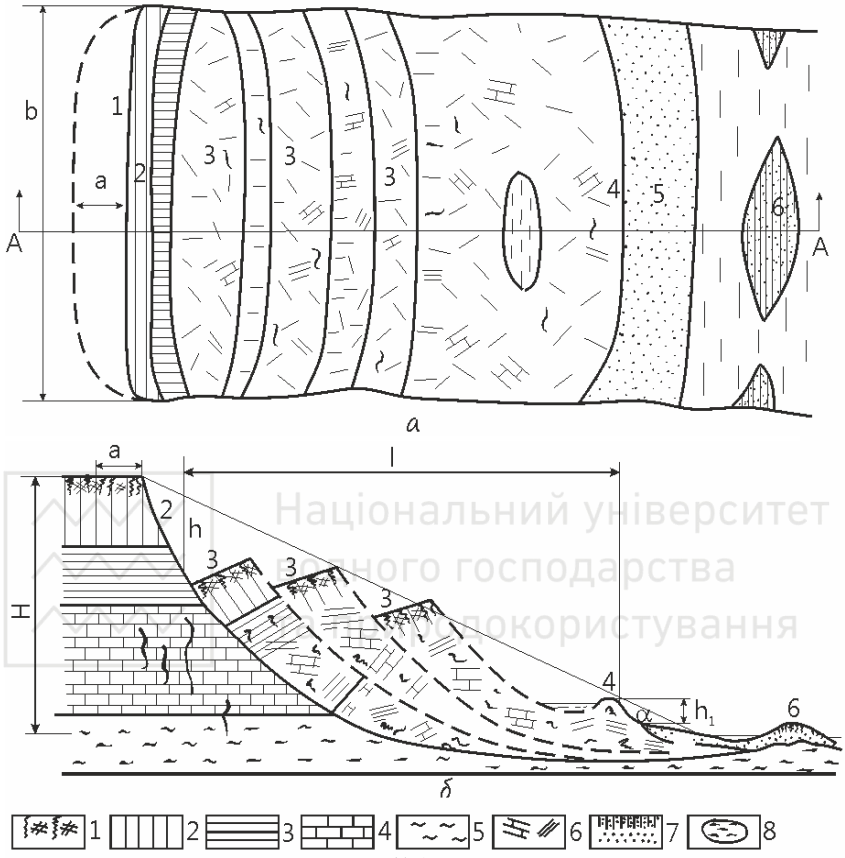

Рис.15. Схема розвитку зсувних деформацій на береговому схилі при наявності в його основі пластичної глини (за Демчишиним М.Г.): а – план; б – розріз; 1 – ґрунтовий покрив; 2 – леси; 3 – глина; 4 – вапняки; 5 – глина пластична; 6 – ґрунти, що змістились; 7 – сучасні морські відклади; 8 – скупчення води на схилі. *Цифри на малюнку*: 1 – брівка схилу; 2 – стінка зриву; 3 – зсувні уступи (тераси); 4 – кліф; 5 – пляж; 6 – горб (вал) випирання. Букви на малюнку: H – висота схилу; *а* – ширина кроку зсувного руйнування; *б* – ширина зсуву; l – довжина зсуву; *h* – висота стінки обрива; h_1 – висота кліфа; α – загальний кут нахилу схилу

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Існує ціла низка методів розрахунку стійкості схилів. *Ступінь стійкості схилу* визначається співвідношенням сил, котрі прагнуть зіштовхнути масу гірських порід вниз по схилу та сил, котрі утримують ці маси. Стійкість ґрунтових мас на схилах виражається рівнянням

$$T=Ntg\varphi + cF, \qquad (6)$$

де T – зрушуючи складова ваги масиву; N – нормальна складова ваги; F – поверхня сковзання зсуву; c – зчеплення; $tg\varphi$ – коефіцієнт внутрішнього тертя (з визначенням цих параметрів ми вже познайомимось при вивченні фізико-механічних властивостей ґрунтів).

Ступінь стійкості схилу визначається *коефіцієнтом стійкості* ($K_{ст}$)

$$K_{ст} = Ntg\varphi + cF/T. \qquad (7)$$

Чисельник складає суму сил, які створюють опір виникненню зсуву, в знаменнику – зіштовхуючі сили.

Опір зсуву створюють зчеплення та внутрішнє тертя порід. До зіштовхуючих сил відносять вагу маси породи, розташованих на ній будов та споруд, гідростатичний та гідродинамічний тиск підземних вод тощо.

При $K_{ст}$ >1 схил знаходиться в стійкому стані; при $K_{ст}$ = 1 цей стан називають граничною рівновагою, тобто за певних умов зсув може відбутись; якщо $K_{ст}$ < 1 – схил нестійкий, відбувається оповзання.

Варто розглянути ще один досить простий спосіб визначення стійкості схилу.

Допустимо, що породи, які складають частину природного схилу, знаходяться в стані граничної рівноваги і зміщення порід відбувається по циліндричній поверхні $ABEC$, описаної радіусом R з точки O (рис.16). Припустимо при цьому, що опір породи зсуванню залежить лише від сил зчеплення. Проведемо з точки O перпендикуляр OE, котрий розділить зсув на дві частини: справа виявиться частина, котра сповзає (активна), а зліва – частина, котра виштовхується (пасивна частина). На оповзаючий масив діють такі сили: P – вага активного масиву $DGABE$ з центром O_1; Q – вага

Національний університет
водного господарства
та природокористування

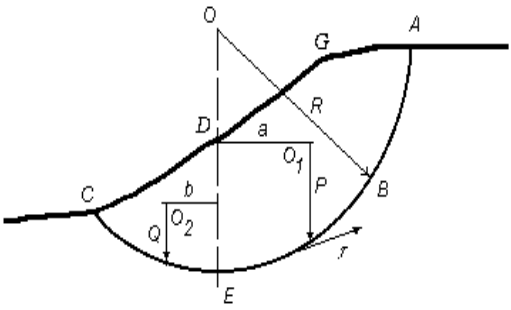

Рис.16. Схема зсування схилу

пасивного масиву з центром ваги O_2; τ – опір зсуву на одиницю поверхні ковзання, який визначається лише силами зчеплення; $\Sigma\tau R$ – опір зсуву по всій поверхні сковзання *ABEC*.

В рівнянні моментів сил додатніми будуть моменти, котрі обертають систему за годинниковою стрілкою, а від'ємними – моменти, що обертають систему в протилежному напрямку

$$Pa\text{-}Qb\text{-}\Sigma\tau R=0, \qquad (8)$$

де a – плече сили P відносно точки O_1; b – плече сили Q відносно точки O_2.

Наведене рівняння визначає стан граничної рівноваги. Збільшення навантаження на правій частині зсуву, тобто на поверхні *AGDEB*, призведе до зсування ґрунтів на схилі. Збільшення ж навантаження на поверхні *DEC* збільшить стійкість схилу, тому що зросте значення момента сили Qb, яка протистоїть зсуву.

Ряд дослідників вважають, що причинами зсувів можуть слугувати три групи процесів:

1) процеси, котрі змінюють форму та висоту схилу: коливання базису ерозії річок, ярів; руйнуюча робота хвиль та текучих вод; підрізання схилів штучними виїмками;

2) процеси, що призводять до зміни будови і фізико-технічних властивостей порід, котрі складають схил: погіршення фізико-механічних властивостей за рахунок процесів вивітрювання; погіршення фізико-механічних властивостей порід за рахунок зволоження їх підземними, дощовими, талими та господарськими водами; погіршення фізико-технічних властивостей за рахунок

Національний університет
водного господарства
та природокористування
їхнього зміщення; погіршення фізико-технічних властивостей порід за рахунок вилуговування з них водорозчинних солей та винесення часток водою з утворенням в породі пустот та ніш (суфозія);

3) процеси, котрі створюють додатковий тиск на породи, що складають схил: гідродинамічний тиск при фільтрації води в бік схилу; гідростатичний тиск води в тріщинах та порах породи; штучні статичні та динамічні навантаження на схил; сейсмічні явища.

Сходження зсувів може мати катастрофічний характер. Так, наприклад, в 1963 р. в Італії, в долині р. П'яве від сходження зсува об'ємом понад 240 млн. $м^3$ загинуло близько 3 тис. людей. Катастрофа тривала не більше 7 хв. Причиною її стали несприятливі інженерно-геологічні умови на схилі в зоні його взаємодії з водосховищем.

Запобігти зсуву можна лише, ліквідувавши його причини. Залежно від факторів, які зумовлюють утворення зсувів, *заходи захисту від зсувів* можуть бути різними і їх поділяють на дві групи: пасивні та активні.

Пасивні протизсувні заходи є профілактичними за змістом і забороняють ті чи інші дії. Забороняється: підрізати зсувонебезпечні схили; будувати споруди на схилах та біля їхніх брівок; проводити вибухові і гірничі роботи поблизу зсувонебезпечної зони; швидкий рух транспорту; знищення рослинності на схилах; поливання земельних ділянок та скидання на схили поверхневих або підземних вод.

До пасивних відносять заходи, скеровані проти руйнівної роботи морських хвиль та річкової ерозії, замочування схилів та відкосів виїмок підземними та поверхневими водами. Поверхневі води відводять нагірними канавами і скидають їх у безпечне місце. Водовідведення часто вимагає великих матеріальних затрат. В основному воно полягає в будівництві поверхневих дренажів, хоча інколи доводиться проходити і штольні.

Активні протизсувні заходи – це зведення інженерних споруд та спеціальні роботи з закріплення зсувного схилу або укосу гірничої виїмки. Ці заходи поділяють на 4 групи: 1) запобігання процесам, які викликають зсування; 2) динамічна стабілізація і утримання тіла зсуву; 3) збільшення опору порід зсовуючому зусиллю та
4) знімання зсувних ґрунтових мас до стійких корінних порід.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

До активних протизсувних заходів відноситься влаштування підпірних стінок, паль-шпонок тощо. Палі-шпонки – це залізобетонні, металеві, інколи дубові стовпи, вставлені в попередньо пробурені в тілі зсува свердловини. Нижня частина цих паль входить в стійку частину схилу і утримує тіло зсува. Часто також застосовують привантажування ґрунтом нижньої частини схилу і виположують його. До активних заходів відносяться також силікатизація, цементування, електрохімічні способи закріплення ґрунтових мас тощо. Іноді застосовується знімання зсувних мас, але цей метод пов'язаний із значними матеріальними затратами. Його застосовують до невеликих зсувних тіл. Інколи тіло зсуву змивають гідромоніторами.

Обвали являють собою раптове відокремлення скельних ґрунтів на крутих схилах внаслідок вивітрювання або якихось поштовхів (землетрусів, техногенних вібрацій, вибухів) чи підрізки схилів. Обвали, як правило, відбуваються в гірських районах і викликають інколи велике стихійне лихо. Маси уламків накопичуються біля підніжжя схилів і створюють завали, які часто є загрозою для будов та інженерних споруд, розташованих на цих ділянках: гідроелектростанцій, напірних водопроводів, мачт електропередач, шосейних доріг та залізниць.

Про можливість виникнення обвалів свідчать руйнівний характер схилів та наявність біля їхніх підніж обвальних накопичень. Якщо вершина схилу розчленована, гостроверха, нависає над нижньою частиною схилу, а нашарування порід падають з таким же нахилом, як і поверхня схилу, і на ній помітні свіжі сліди зміщення окремих шарів, то все це свідчить про активний обвальний процес.

Заходи захисту від обвалів зводяться до розчищення схилів від брил та проведення вибухових робіт з метою штучного обрушення. Інколи проводять цементування тріщин, влаштовують захисні сітки. Якщо ці роботи вимагають дуже великих затрат, то розглядають варіанти підземного розташування споруд або будівництва потужних перекрить над наземними спорудами.

Осипи – це накопичення щебенистих уламків порід, які скотились зі схилів. Ці нагромадження звичайно приурочені до балок і лощин, по яких вони, як в руслі, зміщуються вниз. Рух осипу переривчастий: при збільшенні кількості щебенистого матеріалу кут відкосу осипу

Національний університет
водного господарства
та природокористування
збільшується до певної межі, яка відповідає межі стійкості. Осип зміщується вниз і рухається до тих пір, доки внаслідок природного виположування укосу знову наступить рівновага і т.д. Рух осипу може початись, коли по ньому пробіжить звір, коли пройде дощ або внаслідок землетрусу.

При будівництві малі осипи розчищують, а великі стараються обійти (наприклад, при будівництві доріг) або закріпити їх фашинами, шпунтами тощо.

Осуви відрізняються від осипів тим, що щебенистий матеріал їх складається із суміші твердих і м'яких порід. Наявність уламків таких порід як мергелі, глини, сланці, призводить до того що осуви затримують воду, насичуються нею і починають рухатись. Звичайно спочатку раптово відокремлюється нижня ділянка тіла осуву, уворюючи обрив по границі зміщення, потім ділянка, яка залягає вище по схилу і т.д.

Способи *захисту від осувів* аналогічні до способів боротьби з осипами.

Опливини – це зміщення по схилах розріджених земляних мас. Розрідження відбувається внаслідок насичення пилувато-глинистих порід і ґрунту водою і переходу їх в текучий стан. Особливо цьому піддаються породи, котрі легко розмокають (леси, лесоподібні суглинки). Для *захисту від опливин* необхідно влаштовувати нагірно-ловчі канали, які не дають можливості поверхневим та підземним водам попадати на територію схилу.

Снігові лавини також належать до зсувів і виникають так само, як і інші зсувні зміщення. Сили зчеплення снігу переходять певну межу, і гравітація викликає зміщення снігових мас уздовж схилу.

Великі лавини виникають на схилах 25-60° через перевантаження схилу після значного випадання снігу, частіше під час відлиги, внаслідок формування в нижніх частинах снігової товщі горизонту розрихлення.

В історії людства відомо багато лавинних катастроф. В Альпах відома страшна трагедія, яка сталася під час Першої світової війни. На австро-італійському фронті, який проходив засніженими гірськими перевалами, стихія забрала життя близько 10 тис. солдат. Найбільш лавиннонебезпечною країною вважається Швейцарія, де впродовж року сходить приблизно 10 тис. лавин. На території

Національний університет
водного господарства
та природокористування

України снігові лавини поширені в гірських районах Карпат та Криму.

Причини сходження снігових лавин: перенапруження снігового покрову, різкий порив вітру, звукова хвиля, різка зміна метеорологічних умов.

Лавина, яка несе з собою десятки і сотні тисяч тонн снігу та каміння зі швидкісттю майже 200 км/год спустошує все на своєму шляху. Небезпека руйнівної сили лавини полягає ще в тому, що сніговий вал жене поперед себе повітряну хвилю, а повітряний таран більш небезпечний, ніж удар снігової маси – перевертає будинки, ламає дерева, контузить і душить людей. Така хвиля повітря мало чим відрізняється від викликаної вибухом великої бомби.

Існує пасивний та активний *захист від лавин*. При пасивному захисті уникають використання лавинонебезпечних схилів або ставлять на них загороджувальні щити. При активному захисті проводять обстріл лавиннонебезпечних схилів, що викликає сходження невеликих, безпечних лавин, запобігаючи таким чином накопиченню критичних мас снігу.

Селі – це короткочасні паводки з великою концентрацією ґрунту, мінеальних частин, каміння, уламків гірських порід (від 10-15 до 75% об'єму потоку). ”Сель” (сайль) – слово арабського походження, що в перекладі означає грязекам’яний потік. За зовнішнім виглядом – це шалено вируюча хвиля, яка мчить ущелиною з великою швидкістю. Швидкість селевого потоку зазвичай становить 2,5-4,5 м/с, але під час прориву заторів вона може досягати 8-10 м/с і більше.

За складом твердого матеріалу, який переносить селевий потік, їх можна поділити на: а – грязьові (суміш води з ґрунтом при незначній концентрації каміння, об'ємна вага складає 1,5-2 т/м^3); б – грязекам'яні (суміш води, гравію, невеликого каміння, об'ємна вага – 2,1-2,5 т/м^3); в – водокам'яні (суміш води з переважно великим камінням, об'ємна вага – 1,1-1,5 т/м^3).

Селі виникають в басейнах невеликих гірських річок внаслідок злив, інтенсивного танення снігів, проривів завальних озер, обвалів, зсувів, землетрусів. В гирлі гірської ущелини або яру сель втрачає швидкість і розтікається у вигляді дельтоподібного *конусу виносу*. Відклади конусів виносу називають *пролювіальними* (від лат. „proluo”

Національний університет
водного господарства
та природокористування
– виношу течією). Пролювій індексується буквою (*р*) і зафарбовується в палево-жовтий колір.

В Україні селеві потоки трапляються в Карпатах та Криму. У Карпатах найчастіше трапляються водокам'яні селеві потоки невеликої потужності, у Криму грязекам'яні потоки.

Небезпека селів не тільки в їх руйнівній силі, а й у раптовості їх появи. Засобів прогнозування селів на сьогодні не існує, оскільки наука точно не знає, що саме провокує початок сходження потоку. Однак відомо, що необхідні дві основні передумови – достатня кількість уламків гірських порід і вода. Разом з тим для деяких селевих районів встановлені певні критерії, які дозволяють оцінити вірогідність виникнення селів.

Заходи захисту від селів полягають в будівництві захисних кам'яних або бетонних гребель в долинах гірських річок. Будують також потоковідвідні дамби, які направляють сельові потоки в бік від населеного пункту, риють великі і глибокі басейни з метою заповнення їх цими потоками. Нерідко роблять штучні тераси на схилах гір та водовідводні канави. В тих місцях, де виникають селі, забороняється розорювання схилів і випас худоби, яка розбиває копитами ґрунт. Дуже поширені насадження дерев і кущів, висівання трав, які своєю кореневою системою закріплюють ґрунти і зменшують їх руйнування процесами вивітрювання і ерозії. Щодо попередження селю, то технічні можливості сьогодення дозволяють установлювати в долинах річок прилади, які автоматично подають звукові сигнали про те, що почався рух сельового потоку.

Утворені в результаті оповзів, обвалів, осипів, осувів, опливин, лавин, селів *гравітаційні* відклади мають індекс (*с*) і зафарбовуються в червоно-брунатний колір.

Лекція 8. Деформації ґрунтів в основах споруд. Поширення небезпечних геодинамічних процесів в Україні. *Просідання ґрунтів та осідання споруд . Осідання земної поверхні при експлуатації рідинних і газоподібних корисних копалин. Поширення і районування проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів на території України.*

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Деформації ґрунтів в основах споруд. Інженерні споруди і проведення будівельних робіт справляють суттєвий вплив на геологічне середовище, взаємодіють з ним і викликають нові інженерно-геологічні явища, які ускладнюють умови будівництва або можуть бути навіть небезпечними для запроектованих споруд. Це: деформація порід основи, зміни міцності порід, виникнення пливунів в котлованах, порушення стійкості відкосів, усідання глинистих порід в основах споруд в результаті висихання.

Створення глибоких будівельних котлованів для міських та промислових будівель (до 15-20 м) і для гідротехнічних споруд (до 40-50 м) пов'язано зі значними змінами напруженого стану порід, їхніх механічних властивостей, а також режиму підземних вод.

Зсуви,і обвалення брил, в тому числі великих, – часті явища у відкосах глибоких котлованів, а виявлені ними сезонні або постійні підземні води суттєво сприяють порушенню їхньої стійкості, викликають суфозію, гідродинамічний тиск, розмочування ґрунтів, розвиток пливунів.

Розподіл і величини додаткових напружень, крім навантаження на ґрунти від маси споруд, залежать від багатьох факторів: 1) розмірів, міцності і форми фундаментів; 2) нерівномірності прикладення навантаження по площі, 3) особливостей літологічного розрізу і механічних властивостей порід; 4) положення рівня ґрунтових вод та ін.

Просідання ґрунтів та осідання споруд. В практиці будівництва відомі численні випадки, коли нерівномірне просідання ґрунтів призводило до осідання і порушення нормальної експлуатації споруд, до проведення додаткових закріплювальних заходів і серйозних деформацій будівель. Унікальним прикладом є нерівномірне просідання ґрунтів і крен башти в Пізі з 1186 р. до 50-х років XX ст. Висота башти 90 м, діаметр – 30 м. В основі цієї споруди залягають четвертинні водонасичені глинисті ґрунти. За період існування башти її осідання біля північного краю склало 120 см, біля південного – 300 см, що зумовило її нахил на 9°.

Забезпечення максимальної надійності споруд на просідних ґрунтах може бути досягнуто при повному прорізанні просідної товщі. Для палевих фундаментів, що прорізають ґрунти і впираються у непросідний ґрунт, велику роль відіграє модуль деформації шару

Національний університет
водного господарства
та природокористування
цього непросідного ґрунту. Якщо в основі окремих паль споруди залягають однорідні за модулем деформації ґрунти, то необхідно вести розрахунок деформацій окремих паль, не допускаючи нерівномірності просідань.

На освоєних міських і промислових територіях нерідко виникає необхідність прибудови до існуючих будівель нових більш високих споруд, але з однаковим тиском на ґрунти основи. В цих випадках можливе нерівномірне осідання і крен нової будівлі внаслідок того, що глинисті ґрунти ущільнились і стали більш міцними під старою будівлею і на деякій віддалі від неї. Нерівномірне осідання будівель можливе внаслідок неоднакового висихання глинистих ґрунтів основи під гарячими цехами (доменні печі, котельні тощо).

Глибини закладення фундаментів будинків і споруд визначаються їхнім призначенням, конструкцією, інженерно-геологічними умовами, заляганням і режимом ґрунтових вод, а також сезонними деформаціями ґрунтів основи, пов'язаними з процесами промерзання, відтанення, зволоження і висихання. При неможливості закладення фундаментів вище максимального рівня ґрунтових вод передбачаються постійно діючі дренажні пристрої, спеціальна гідроізоляція підземних частин будинків та інші заходи. Глибина сезонних змін стану і деформування ґрунтів основ визначається за даними багаторічних натурних спостережень, узагальнених у вигляді загальних і регіональних карт глибин сезонного промерзання.

У випадках неоднорідної основи, усунення нерівномірності осідання споруд може бути досягнуто: 1) закладенням фундаментів окремих частин будинку на різних глибинах, на яких знаходяться породи з приблизно однаковою або більшою несучою здатністю; 2) розширенням фундаментів, створенням піщано-гравійних подушок; 3) особливими типами фундаментів для різнодіючих частин споруд (наприклад, в тепловій електростанції: машинний зал, котельня, бункери, адміністративний будинок і т.п.); 4) зміцненням ґрунтів основи ін'єкціями цементних, силікатних та інших розчинів.

Сумарне осідання фундаменту окремої споруди (S) визначається методом пошарового підсумовування ущільнення окремих шарів

Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$S = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i h_i}{E_i}, \qquad (9)$$

де n – кількість шарів в товщі, яка стискується; h_i – потужність i-го шару ґрунту; E_i – модуль деформації i-го шару ґрунту (модуль деформації являє собою коефіцієнт пропорційності між тиском і відносною лінійною загальною деформацією ґрунту, МПа, кгс/см^2); p_i – середній додатковий тиск i-го шару; β – безрозмірний коефіцієнт рівний 0,8.

Осідання земної поверхні при експлуатації рідинних і газоподібних корисних копалин. Нафта, природний газ, міжпластові води знаходяться в шпаруватих гірських породах, які складені окремими зернами мінералів, що дотикаються між собою. Проміжки між зернами (пори) та інші шпарини в породі заповнені водою, нафтою і газом. Такі родовища складаються з одного або декількох пластів, що залягають на значних глибинах. Для викачування води, нафти і газу бурять свердловини. Оскільки ці корисні копалини знаходяться в порах під тиском, вони струменять вверх. В міру того, як вони відбираються, пластовий тиск, природньо, спадає а твердий скелет породи зазнає зростаючої напруги під вагою земної товші, що залягає вище. При цьому він може пружно чи пластично деформуватись, ніби-то зминатись, що часто супроводжується осіданням земної поверхні і деформацією наземних споруд. Такі явища спостерігаються в місцях функціонування крупних водозаборів підземних вод, над родовищами нафти і газу, що активно експлуатуються.

Таким чином, усі інженерно-геологічні процеси як природного, так і природно-техногенного генезису змінюють фізико-механічні властивості гірських порід, що призводить до різкого зниження головного критерію оцінки стійкості території, а саме, несучої здатності приповерхневих зон породних масивів. У свою чергу це призводить до різкого здорожчання різних видів будівництва чи обмеження його можливої реалізації.

У цих умовах основною задачею є прогнозування і моделювання розвитку інженерно-геологічних процесів у природних та

Національний університет
водного господарства
та природокористування
техногенних умовах, а також розробка систем випереджуючих природоохоронних заходів.

Поширення і районування проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів на території України. У попередньому підрозділі було показано, що Україна належить до регіонів із складною структурно-геологічною і сейсмічною обстановкою, що зумовлює широкий розвиток екзогенних інженерно-геологічних процесів: зсувів, карсту, підтоплення, ерозії, абразії та ін., які ускладнюють умови будівництва, а також негативно впливають на безпеку існуючих промислових і житлових об'єктів.

Результати тривалого моніторингу геологічного середовища свідчать про регіональні порушення в системі «вода – породний масив» під впливом гірничих робіт, промислової забудови, меліоративного і гідротехнічного будівництва з накопиченням великих водних мас (в Україні налічується до 24 тис. водосховищ та водойм загальною площею водної поверхні понад 13 тис. км^2).

На 60% території України розвиваються *процеси карстоутворення*, зокрема на 27% проявляється відкритий карст. Найбільш значна ураженість цими процесами спостерігається на території західних (Волинська, Рівненська, Тернопільська), східних (Донецька, Луганська) й південних (Миколаївська, Одеська) областей України.

На 50% освоєних схилових площ розвиваються *зсуви,* що найбільше поширені в Закарпатській, Чернівецькій, Одеській, Дніпропетровській та інших адміністративних областях. На території України зафіксовано близько 23 тис. зсувів, їх кількість у порівнянні з 80-тими роками минулого століття збільшилась майже на 40%, а площа поширення – на 28,8%.

На 70% площі гірських водозборів (Івано-Франківська, Чернівецька області й Республіка Крим), переважно у низькогір'ї, розвинуті *селеві процеси*, ураженість якими становить 3-25%.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Просідання у лесових ґрунтах встановлено на 42% площі їхнього розвитку при загальній площі поширення цих порід на 65% території України (рис.17). Максимальна потужність лесових просідних товщ складає (в м): в Нікополі – 30, Запоріжжі – 20, Дніпропетровську – 15, Кривому Розі – 10. Величини просідань залежать від потужності, складу, стану, структури і властивостей лесових порід, величини навантаження, умов змочування, досягають в районі Середнього Дніпра – 0,5 м, в Кривому Розі – 0,5 м, Нікополі – 1,0-1,5 м, Запоріжжі – 1,5-2,0 м і т.д. На схилах в лесових ґрунтах в умовах водонасичення відбуваються зсуви, проявляється яружна ерозія. Підтоплення лесів в зоні впливу водосховищ активізує динамічні процеси в них. На узбережжях водойм, складених лесами, особливо інтенсивно проявляється *абразія*.

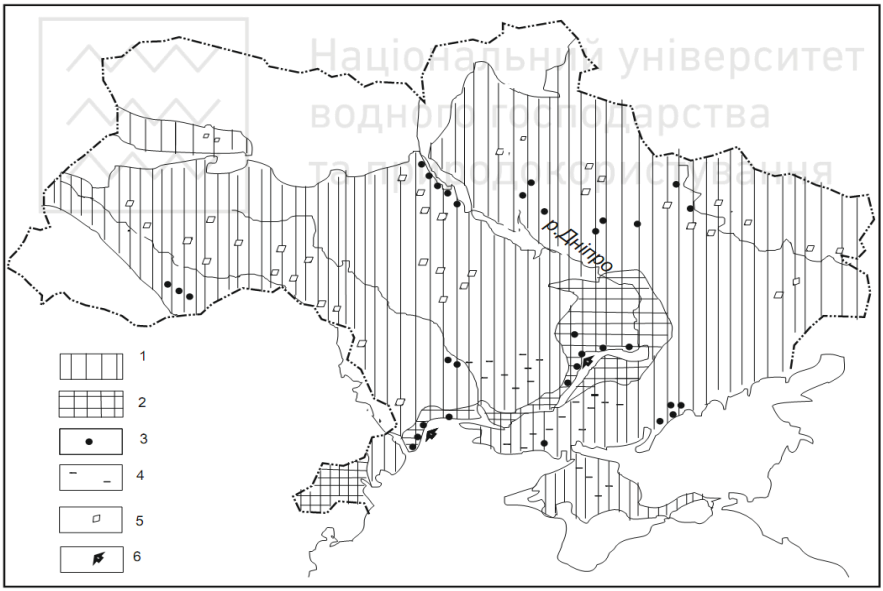

Рис. 17. Поширення просідних лесових ґрунтів та інженерно-геологічних процесів в них на території України (за Демчишиним М.Г. та ін.). 1-2 – просадність: 1- I тип, II тип; 3 – зсуви; 4 – підтоплення; 5 – яружна ерозія; 6 – абразія берегів

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Усе більші території України охоплює *підтоплення*, яке прогресує в промислово-міських агломераціях, де відбувається значна зміна ландшафтів й існують суттєві втрати з водонесучих комунікацій. За останні 10 років кількість підтоплених міст та селищ міського типу збільшилась майже в 2 рази. Найбільш відчутним є процес підтоплення в районах «мокрої консервації» вугільних шахт і південних регіонах України у зв'язку зі зрошенням сільськогосподарських угідь. Внаслідок підтоплення значних територій сейсмостійкість породних масивів помітно зменшилась. Масштабні зрушення покрівлі у підземних виробках спричиняють часті локальні землетруси.

На 18% території України розвинуті процеси підтоплення у зв'язку з багаторічним високим стоянням рівня ґрунтових вод (райони Полісся), 80% площ зрошування (у південних регіонах країни) зазнають процесу підтоплення, а ураженість процесами засолення ґрунтів становить 11-25%.

Найінтенсивніше *перероблення берегів* спостерігається у найбільших в Україні водосховищах Дніпровського каскаду, довжина берегової лінії яких перевищує 3 тис. км.

На Чорноморському та Азовському узбережжі повсюди спостерігається *активізація абразії,* багаторічна швидкість якої досягає 1 м/рік (м. Одеса), що супроводжується втратою земель і значними матеріальними збитками для цих територій, які мають високу екологічну та рекреаційну цінність.

Інтенсивною яружною ерозією вражено 18% території України. *Яроутворенням* в межах України найбільше охоплена територія лісостепової смуги, похилі передгірні рівнини Карпатських і Кримських гір, окремі ділянки степу. Особливо значних масштабів яружна і площинна ерозії досягли у східних (Донецька, Луганська області) і південних (Одеська область) регіонах країни. Саме тут першорядного значення набуває організація системи протиерозійних заходів, яка включає комплекс агротехнічних, лісомеліоративних, гідротехнічних та інших робіт, спрямованих на підвищення стійкості схилу до процесів розмиву та зменшення енергії еродуючого потоку.

У степових областях України велику шкоду хліборобству завдає *вітрова ерозія*, що проявляється у вигляді пилових бур. У цілому по

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Україні спостерігається стійка тенденція переважно техногенної активізації інженерно-геологічних процесів.

Прояви сейсмічної активності зосереджені в основному на південному заході і півдні України (рис. 18). Зокрема в Закарпатті, де неодноразово були землетруси інтенсивністю 6-7 балів (в Україні силу поштовхів і коливань під час землетрусів прийнято вимірювати за 12-бальною шкалою) епіцентри землетрусів знаходилися в районах населених пунктів Сваляви, Довгого, Тересви, Мукачева, Ужгорода. Землетрус, який стався 15 жовтня 1834 р. (до 7 балів), охопив значну територію Закарпаття (приблизно від м. Сваляви до м. Рахова).

Рис. 18. Генеральна картосхема загального сейсмічного районування (ЗСР 2004-А) території України для періоду повторення землетрусів 1 раз в 500 років (за ред. Б.Г. Пустовітенка, В.І. Уломова). Зони інтенсивності землетрусів на середніх грунтах в балах за шкалою MSK-64: 1 – п’ять, 2 – шість, 3 – сім, 4 – вісім

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Потенційно сейсмічно небезпечною територією можна вважати також Буковину, де в 1950-1976 рр. зафіксовано 4 землетруси інтенсивністю 5-6 балів.

У центральній частині західних областей України землетруси інтенсивністю до 6 балів були зафіксовані в м. Кам'янці-Бузькому та м. Заліщики.

Південну частину Тернопільської, Хмельницької, Вінницької та східну частину Одеської областей оконтурюють ізосейсти інтенсивністю до 6 балів. В районі смт. Микулинці Тернопільської області, 3 січня 2002 року відбувся землетрус інтенсивністю 6 балів, але через незначну глибину гіпоцентру вже на відстані 20 км поштовхи не відчувались.

На крайньому півдні Тернопільської, Хмельницької, Вінницької та на заході Одеської областей проходять ізосейсти інтенсивністю 7 балів. Причому такі землетруси тут відбувалися багато разів: 20 жовтня 1802 р., 26 листопада 1829 р.,23 січня 1838 р., 10 листопада 1940 р. Значний землетрус (понад 5 балів) стався 30 і 31 травня 1990 р.

Більшість землетрусів в південно-західній частині України пов'язані з тектонічними рухами в горах Вранча (на межі Південних та Східних Карпат у Румунії), де осередки землетрусів розташовані в консолідованій корі на глибинах до 80 км (корові), а також у верхній мантії на глибинах понад 80-200 км (підкорові). Найбільшу небезпеку становлять такі, що виникають на великих глибинах. Вони спричиняють струси ґрунтів до 8-9 балів в епіцентрі. Глибокофокусність землетрусів зони Вранча обумовлює їх слабке затухання з відстанню. Більша частина України перебуває в 4-6-бальній ділянці впливу цієї зони. Південно-західна частина України, що підпадає під безпосередній вплив зони Вранча, потенційно може бути віднесена до 8-бальної зони.

Для Криму також характерна інтенсивна (до 5-8 балів) сейсмічна активність. Так, катастрофічний Кримський землетрус 1927 року мав інтенсивність 8 балів. Ізосейсти цього землетрусу до 5 балів, сягали крайньої північної частини півострова, а ізосейсти до 7 балів оконтурили більшу частину Кримських гір.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Південно-Азовська сейсмоактивна зона виділена зовсім недавно. У 1987 році було зафіксовано кілька землетрусів інтенсивністю 5-6 балів. Крім того, за палеосейсмотектонічними та археологічними даними тут встановлено сліди давніх землетрусів інтенсивністю до 9 балів з періодичністю близько одного разу на 1000 років.

Осередки Кримських землетрусів, розташовані на акваторії Чорного моря вздовж південного берега Кримського півострова в земній корі на глибинах до 40 км.

Таким чином, велика територія південно-західної і південної частини України належить до сейсмічно небезпечної. Ця обставина повинна постійно враховуватися при обґрунтуванні розміщення нових і реконструкції існуючих споруд.

В Україні створено національну мережу сейсмічних спостережень до складу якої входить 18 сейсмічних та 14 комплексних геофізичних станцій. Найдавнішою є сейсмічна станція "Львів", яку засновано 1899 року. Цифрова сейсмічна станція "Київ" організована 1994 року і входить до складу Глобальної сейсмічної мережі.

Активні сучасні екзогенні геологічні процеси, які зумовлені діяльністю гравітаційних сил, підземних та поверхневих вод значно знижують сейсмічну стійкість, а тому можуть негативно впливати на інженерно-сейсмологічні умови промислово-міських агломерацій та важливих промислових об'єктів, навіть при струсах 4-5 балів (MSK-64).

За останній період кількість об'єктів прояву небезпечних інженерно-геологічних процесів збільшилася у 3-5 разів і становить понад 12 тис. зсувних об'єктів, майже 5 тис. карстових провальних форм, до 1 млн. га підтоплених просадочних лесово-глинистих ґрунтів. Необхідно відмітити техногенну активізацію абразивного руйнування морського узбережжя Республіки Крим, Одеської області, Приазов'я. Найактивніше інженерно-геологічні умови погіршуються у зонах впливу підпору Дніпровських водосховищ (у радіусі 50-100 км), гірничих робіт у Донбасі та Передкарпатті, промислово-міських агломерацій Республіки Крим, Придніпров'я та ін.

Прискорений розвиток зсувів та карсту, зумовлений техногенною активізацією, спостерігається у Карпатському регіоні країни

Національний університет
водного господарства
та природокористування

(Закарпатська, Чернівецька, Львівська, Івано-Франківська області), де їх швидкість перевищує природні показники у 3-10 разів.

У результаті техногенного впливу відбуваються значні зміни у довкіллі окремих регіонів. Чи не найбільші зміни геологічного середовища відбулись внаслідок функціонування вуглевидобувних підприємств у трьох великих вугільних басейнах – Донбасі, Львівсько-Волинському, а також Дніпровському. Головні з них пов'язані з просіданням денної поверхні у середньому на 0,2-1,2 м, а

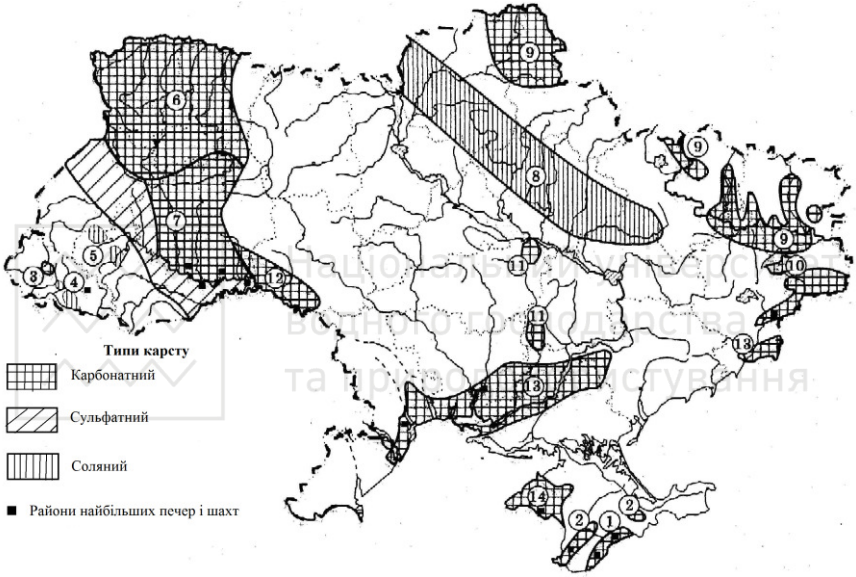

Рис. 19. Районування на території України проявів карсту. Карстові області: 1 – Гірський Крим, 2 – Передгір'я Криму, 3 – Закарпатська, 4 – Карпатська, 5 – Прикарпатська, 6 – Західнополіська, 7 – Полісько-Буковинська, 8 – Придніпровсько-Донецька, 9 – Північно-Східна, 10 – Донбаська, 11 – Криворізько-Кременчуцька, 12 – Східноподільська, 13 – Причорноморсько-Азовська, 14 – Рівнинний Крим

в деяких місцях – до 5,0 м на площі понад 8000 км^2, дренованістю підземних вод під час зниження рівня ґрунтових вод, порушенням стійкості ґрунтового масиву зі збільшенням його тріщинуватості. У районах діяльності вуглевидобувних шахт Донбасу площі осідання земної поверхні над гірничими виробками перевищують 5 тис. км^2.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Районування проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів на прикладі карсту. Районування проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів в межах визначених територій виконується на основі літолого-геологічних, геоморфологічних, гідрогеологічних ознак і форм їхнього прояву. Прикладом може служити районування на території України проявів карсту (рис. 19).

На території України виділяється кілька карстових областей, з яких найбільшими є: Західнополіська, Подільсько-Буковинська, Придніпровсько-Донецька, Карпатська, Наддністрянська, Північно-Східна, Дніпровсько-Донецька, Причорноморська, Кримська, які відрізняються між собою особливостями геологічної будови і динаміки геологічних процесів.

Західнополіська карстова область територіально відповідає поширенню потужної (до 100м) товщі верхньокрейдових відкладів в чохлі Волино-Подільської плити у Північно-Західному регіоні України. Форми Волинського карсту представлені головним чином неглибокими і незначними за розмірами лійками поверхневого вилужування крейдяно-мергельних відкладів та досить крупними улоговинами, зайнятими сучасними озерами (серед них і найбільше озеро України – Світязь, площа якого становить 27,5 км^2, а глибина сягає 58,4 м).

Подільсько-Буковинська карстова область простягається від польського кордону поблизу Львова до державного кордону з Румунією, охоплюючи долини Дністра та його лівих приток. Тут переважають гіпсовий і вапняковий карст, представлений улоговинами та лійками діаметром 200-800 м. Безпосередньо вздовж долини Дністра простягається зона розвитку гіпсоносних товщ міоцену, які немов би обрамляють західний та південний краї вапнякового плато. З цією зоною пов'язані унікальні гіпсові печери Південного Поділля (Кришталева, Озерна, Вертепа, Мокра, Оптимістична та ін.). Печера Оптимістична (довжиною 240,5 км) є другою за протяжністю у світі після печери Мамонтова (довжиною 288 км) у США.

У *Карпатській області* поряд з порівняно незначними площами вапнякового карсту (невеликі каррові поля, підземні лабіринти, понад 80 печер, серед яких Дружба, Чур, Загадка та ін.) поширений і соляний карст. Прикарпатська (Калуш, Стебник) та Закарпатська

Національний університет
водного господарства
та природокористування
(Солотвин, Новоселиця) області соляного карсту представлені як відкритими карстовими формами (соляні піраміди, соляні столи, соляні гриби висотою до 4-6 м, карстові лійки та жолоби), так і численними проваллями та лійками над випрацьованими камерами соляних шахт (глибина до 10-12 м, діаметр до 20-30 м).

До західноукраїнського карстового регіону безпосередньо прилягає *Східноподільська область* вапнякового карсту (Вінницька область), де переважають порівняно м'які форми покритого карсту.

На Лівобережжі карстові форми рельєфу пов'язані з крейдовими відкладами Середньоруської височини (Північно-Східна карстова область) та соляними товщами Дніпровсько-Донецької западини.

Північно-Східна карстова область представлена кількома окремими ділянками, найбільша з яких знаходиться на Сеймо-Деснянському межиріччі. Тут поширені каверни, понори, часом зустрічаються лійки та карстові провалля у крейді (діаметр 5-30 м, глибина до 4-9 м), але переважають відносно м'які форми покритого карсту.

Солянокупольні структури *Дніпровсько-Донецької карстової області* зумовлюють поширення на Лівобережжі відносно слабо виявлених у сучасному рельєфі мульдоподібних знижень, часто заповнених пухкими відкладами кайнозойського віку.

Широко відомий вапняковий карст Донбасу, де поряд з окремими карровими полями (басейн р. Волновахи), поширені досить значні лійки провального, просадкового та поверхневого (вилужування) походження. Окремі карстові лійки при діаметрі 30-40 м сягають глибини 25-30 м. Наявність молодих сучасних лійок свідчить про продовження процесів карстотворення у Донбасі.

Причорноморсько-Азовська карстова область, не дивлячись на поширення карбонатних порід, характеризується не стільки розвитком типового вапнякового карсту, скільки псевдокарстовими формами, зумовленими суфозійно-просадковими явищами (мікрозападини, поди, степові блюдця тощо).

Карстова область Гірського Криму – складається з двох відмінних за характером карстотворення регіонів. Якщо рівнинна підобласть (Тарханкутський півострів) має карстові форми, що майже повністю відповідають описаній вище Причорноморській області, то Яйлинські хребти Кримських гір є чи не єдиною в Україні

Національний університет
водного господарства
та природокористування

областю поширення класичного (середземноморського) карсту. Тут на вапняковій поверхні утворилися найрізноманітніші форми карстового рельєфу – карри, борозни, колодязі, понори, шахти, карстові долини та пілля; нараховуються тисячі карстових лійок. Особливе геоморфологічне значення мають відомі вапнякові печери, загальна кількість яких пе-ревищує 500. Серед них – Червона печера (Кизил-Коба) довжиною понад 12,5 км, Молодіжна (глибина 261 м), Каскадна (глибина 246 м) та ін.

Таким чином, в Україні процеси карстотворення досить поширені. Тут зустрічаються всі основні літологічні типи карсту – карбонатний (на крейді та на вапняках), сульфатний, соляний.

Карстотворення на території України протікає по-різному у різних тектонічних структурах і кліматичних зонах. Більша частина поверхневих форм карстового рельєфу знаходиться в Кримській карстовій області, де закарстовані масиви юрських вапняків виведені висхідними тектонічними рухами на земну поверхню. Дані форми відносяться до непокритого карсту, який має поширення головним чином в умовах середземноморського клімату (сухі субтропіки).

Для інших карстових областей України з помірним кліматом та незначною геодинамічною активністю головною особливістю є покриття карстових порід шаром пухких відкладів з добре розвиненим ґрунтово-рослинним покривом. В зв'язку з цим у помірних широтах переважає покритий карст, тобто підземне розчинення і вилужування порід з утворення печер, а на поверхні утворюються порівняно м'які форми, що виникають внаслідок провалів та просідань пухкого покриву над підземними порожнинами. Промислове і цивільне будівництво в районах з покритим карстом допускається тільки за результатами проведення спеціалізованих інженерно-геологічних вишукувань із застосуванням геофізичних методів досліджень з метою виявлення підземних порожнин.

Питання для контролю знань

1. Що таке геологічне середовище?
2. Як поділяються геологічні процеси за місцем і причинами прояву?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

3. В чому полягає відмінність між геологічними та інженерно-геологічними процесами?
4. Назвіть типи землетрусів і вкажіть на причини їхнього зародження.
5. Як змінюються періоди і частоти сейсмічних коливань в різних гірських породах?
6. Дайте коротку характеристику сейсмічної інтенсивності за шкалою MSK-64.
7. В чому полягають і якими методами досліджуються епейрогенні рухи земної кори?
8. Дайте визначення і зображення основним складчастим структурам.
9. Дайте визначення і зображення основним розривним структурам.
10. Охарактеризуйте основні форми прояву інтрузивного магматизму.
11. Охарактеризуйте основні форми прояву ефузивного магматизму.
12. Назвіть основні типи і чинники метаморфізму.
13. Що таке денудація і акумуляція
14. Які є види вивітрювання гірських порід і в чому вони полягають?
15. В чому полягає геологічна діяльність вітру і які форми еолової акумуляції Вам відомі?
16. В чому полягає геологічна діяльність тимчасових водотоків?
17. Які основні чинники яротворення
18. В чому полягають заходи захисту від яружної ерозії?
19. В чому полягає геологічна діяльність річок і які виділяються стадії розвитку річкових долин ?
20. Назвіть і зобразіть основні елементи річкової долини.
21. Охарактеризуйте геологічні процеси в долинах рівнинних річок.
22. Охарактеризуйте геологічні процеси в зонах впливу водосховищ.
23. В чому полягає геологічна діяльність озер?
24. Охарактеризуйте основні типи боліт і особливості будівництва на заболочених територіях.
25. Чим відрізняються заболочені землі від болота?
26. В чому полягає геологічна діяльність моря?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

27. Як захищають береги від ерозії?.
28. Чим відрізняються між собою алювій, елювій, делювій і пролювій?
29. В чому полягає геологічна діяльність льодовиків?
30. Чим відрізняються між собою морени, ози, ками і зандри?
31. Які головні і причини і умови виникнення суфозії?
32. Що таке кольматація?
33. Охарактеризуйте основні форми прояву карсту.
34. Як виконують оцінку ступеню закарстованості території і придатності її для будівництва?
35. Яки Ви знаєте заходи захисту від карсту?
36. Які головні і причини і умови виникнення пливунів?
37. В чому полягає геологічна діяльність сил гравітації?
38. Назвіть і зобразіть морфологічні елементи зсуву і рельєф зсувного схилу.
39. Охарактеризуйте умови і основні причини виникнення зсувів ?
40. Зобразіть схему зсування схилу і охарактеризуйте способи визначення його стійкості.
41. Які заходи захисту від зсувів Вам відомі?
42. За яких умов виникають обвали, осипи, осуви, опливини?
43. За яких умов виникають снігові лавини і які Вам відомі заходи захисту від них ?
44. За яких умов виникають селі і які Вам відомі заходи захисту від них ?
45. Охарактеризуйте зв'язок між просіданням ґрунтів та осіданням споруд.
46. Чому відбувається осідання земної поверхні при експлуатація рідинних та газоподібних корисних копалин

Тести для контролю знань

Виберіть одну правильну відповідь

1. Як називають метаморфізм гірських порід під впливом тривалих високих тисків?: а) контактовий, б) динамічний, в) регіональний, г) локальний, д) ударний?

Національний університет
водного господарства
та природокористування

2. Як називають метаморфізм гірських порід під впливом високих температур: а) динамічний, б) контактовий, в) регіональний, г) локальний, д) ударний.
3. Землетрус, спричинений переміщенням по розлому у земній корі називається: а) техногенним, б) тектонічним, в) вулканічним, г) літосферним, д) астеносферним.
4. Землетрус спричинений обвалом у шахті називається: а) техногенним, б) тектонічним, в) вулканічним, г) літосферним, д) астеносферним.
5. Яка шкала бальності лежить в основі СніП-11-7-81 «Будівництво в сейсмічних районах»? а) шкала Ріхтера, б) шкала Ф. Мооса, в) шкала Тейссейре-Торнквіста, г) Медведєва-Шпонхойера-Карніка (MSK-64); д) шкала Ф.П. Саваренського.
6. Точка виникнення землетрусу називається: а) епіцентр, б) гіпоцентр, в) сейсмоцентр, г) сейсмофокус, д) гіперцентр.
7. Проекція точки виникнення землетрусу на земну поверхню називається: а) епіцентр, б) гіпоцентр, в) сейсмоцентр, г) сейсмо-фокус, д) гіперцентр.
8. Тріщини в стінах кам'яних будинків з'являються за шкалою MSK-64 при землетрусі силою у скільки балів? а) п'ять, б) шість, в) сім, г) вісім, д) дев'ять.
9. Періодами коливань сейсмічних хвиль 0,05-0,0025 с характеризуються: а) граніти, б) вапняки, в) туфи, г) піски, д) супіски та суглинки.
10. Покрив це форма залягання порід: а) осадових, б) інтрузивних, в) метаморфічних, г) гідротермальних, д) ефузивних.
11. Батоліт це форма залягання порід: а) осадових, б) інтрузивних в) метаморфічних, г) гідротермальних, д) ефузивних.
12. Яку температуру мають лави? а) 80-130°С, б) 800-1300°С, в) 8000-13000°С, г) 400-800°С, д) 1500-1800 °С.
13. Яка тектонічна структура характеризується вигином шарів гірських порід донизу? а) горст б) синкліналь, в) монокліналь, г) скид, д) антикліналь.
14. Будь-яка горизонтальна лінія в площині нахиленого шару гірських порід – це: а) лінія падіння, б) азимут простягання, в) кут падіння, г) лінія простягання, д) азимут падіння шару.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

15. Як називається розривна структура, в якої висяче крило алохтон? а) підкид, б) насув, в) скид, г) горст, д) грабен.
16. Опущений блок порід, обмежений з двох сторін скидами, називається: а) горст, б) грабен, в) скид, г) підкид, д) флексура.
17. Піднятий блок порід, обмежений з двох сторін підкидами, називається: а) горст, б) грабен, в) скид, г) рифт, д) насув.
18. Вивітрювання гірських порід спричинене атмосферними газами називається: а) фізичне, б) хімічне, в) біологічне, г) атмосферне, д) еолове.
19. Процес руйнування гірських порід вітром – це: а) суфозія, б) ерозія, в) карст, г) денудація, д) дефляція.
20. Процес змивання ґрунтів зі схилів – це: а) суфозія, б) ерозія, в) карст, г) денудація, д) абразія.
21. Процес руйнування хвилями морських берегів – це: а) суфозія, б) ерозія, в) карст, г) денудація, д) абразія.
22. Як називаються відклади гальки, гравію та піску в річці? а) елювій, б) делювій, в) алювій, г) пролювій, д) колювій.
23. Як називаються несортовані уламкові відклади тимчасових водних потоків в основі схилу? а) елювій, б) делювій, в) алювій, г) пролювій, д) колювій.
24. Як називаються несортовані промиті уламкові відклади тимчасових водних потоків в гирлі яру? а) елювій, б) делювій, в) алювій, г) пролювій, д) колювій.
25. Як називаються уламкові відклади – продукти кори вивітрювання? а) елювій, б) делювій, в) алювій, г) пролювій, д) колювій.
26. Як називаються великі хвилясті піщані поля, які сформувались на Поліссі перед фронтом льодовика? а) ози, б) ками, в) зандри, г) морени, д) дюни.
27. Як називаються лінійні в плані і симетричні в розрізі піщані пагорби – форми еолової акумуляції? а) ози, б) ками, в) зандри, г) бархани, д) дюни.
28. Як називаються серповидні в плані і симетричні в розрізі піщані пагорби – форми еолової акумуляції? а) ози, б) ками, в) зандри, г) бархани, д) дюни.
29. Сапропелі – це відклади: а) озер, б) річок, в) льодовиків, г) боліт, д) кори вивітрювання.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

30. Елювій – це відклади: а) тимчасових водних потоків, б) річок, в) льодовиків, г) боліт, д) кори вивітрювання.
31. Процес хімічного розчинення гірських порід рухомими підземними водами – це: а) суфозія, б) ерозія, в) денудація, г) абразія, д) карст.
32. Процес механічного зрушення і вимивання часток піску рухомими підземними водами – це: а) суфозія, б) ерозія, в) карст, г) денудація, д) пливуни.
33. Агресивність підземних вод, що спричиняє корозію металевих конструкцій, називається: а) вилуговуюча, б) сульфатна, в) киснева, г) загальнокислотна, д) магнезіальна.
34. Явище рухомості водонасичених пісків, що містять мікроорганізми, називається: а) суфозія, б) ерозія, в) карст, г) денудація, д) пливуни.
35. Зміна стану компонентів геологічного середовища у часі і у просторі під впливом техногенних факторів називається: а) геологічний процес, б) інженерно-геологічний процес, в) зміна інженерно-геологічних умов, г) техногенні впливи, д) техногенез.
36. В якій зоні інтенсивності землетрусів за 12 бальною MSK-64 знаходиться м. Київ? а) 5 балів, б) 6 балів, в) 7 балів, г) 8 балів, д) 9 балів.
37. Землетруси якої сили (за 12 бальною MSK-64) відмічались на широтах Ужгорода-Чернівців? а) 5 балів, б) 6 балів, в) 7 балів, г) 8 балів, д) 9 балів.
38. Землетруси якої сили (за 12 бальною MSK-64) відмічались на широті м. Ялта? а) 5 балів, б) 6 балів, в) 7 балів, г) 8 балів, д) 9 балів.
39. На скількох відсотках території України розвинуті процеси підтоплення? а)10%, б) 18%, в) 24%, г) 30%, д) 40%.
40. На скількох відсотках території України поширені лесові ґрунти? а) 2д%, б) 30%, в) 40%, г) 60%, д) 72%.
41. Скільки відсотків території України уражені процесами карстоутворення? а) д%, б) 10%, в) 20%, г) 40%, д) 60%.
42. Вкажіть регіон, у якому поширені грязьові вулкани: а) Закарпатська западина, б) Донецький басейн, в)

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Причорноморська западина, г) Гірський Крим, д) Індоло-Кубанський прогин.

43. Який регіон характеризується високою солоністю підземних вод? а) Закарпатська западина, б) Донецький басейн, в) Причорноморська западина, г) Гірський Крим, д) Індоло-Кубанський прогин.
44. Який регіон характеризується найбільшою потужністю просадних лесових ґрунтів? а) Український щит, б) Волино-Подільський регіон, в) Причорноморська западина г) Донецький басейн, д) Закарпатська западина.
45. В якій карстовій області знаходиться найдовша в Україні печера? а) Західнополіській, б) Подільсько-Буковинській, в) Придніпровсько-Донецькій, г) Північно-Східній, д) Гірський Крим.
46. В якій карстовій області відома найглибша в Україні печера? а) Західнополіській, б) Подільсько-Буковинській, в) Придніпровсько-Донецькій, г) Північно-Східній, д) Гірський Крим.
47. Вкажіть найдинамічнішу тектонічну структуру: а) западина, б) щит, в) таласократон, г) плита, д) геосинкліналь.
48. Тектонічна структура, в якій на денну поверхню виступають древні (архейські і протерозойські) кристалічні породи**:** а) геосинкліналь, б) таласократон, в) плита, г) западина, д) щит.
49. Яка тектонічна структура має складчастий фундамент і потужний осадовий чохол, що залягає здебільшого горизонтально? а) щит, б) западина, в) плита, г) складчаста система, д) геосинкліналь.

Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рекомендована література

Базова

1. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика : учебн. / В. Д. Ломтадзе. Л. : Недра, 1977. 479 с.
2. ДБН В.1.1-24:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування / керівник розробки – Я. Й. Червінський, співавтор – Г. Г. Стріжельчик. К. : Укрархбудінформ, 2010. 89 с.

Допоміжна

3. Демчишин М. Г. Техногенні впливи на геологічне середовище території України / М. Г. Демчишин. К. : Наукова думка, 2004. 205 с.
4. Демчишин М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины: монограф. / М. Г. Демчишин. К. : Наукова думка, 1992. 256 с.
5. ДБН В.1.1-3-97 Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захисттериторій, будинків і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення.
6. ДБН В.1.1-12:2006 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України.
7. ДБН В.1.1-24:2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основніположення проектування.
8. ДБН В.1.1-25-2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливихексплуатаційних впливів, від пожежі. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення.
9. Методи розрахунку процесу переробки берегів водосховища. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інженерна геодинаміка» для студентів напряму підготовки 6.040103 Геологія / Т.Д. Прокопенко, О.В. Інкін, О.О. Подвігіна. Д.: Національний гірничий університет, 2012. 20 с.