

## ТЕМА 5. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

### 1. Закономірності прогнозування

Для складання прогнозу необхідно знати закономірності, властиві об'єкту прогнозування. Стосовно геоморфологічного прогнозування ці закономірності повністю зумовлені історією тектонічного розвитку території, що визначає геологічну будову, гідрогеологічні умови, рельєфу і, частково, клімат, а отже склад і властивості порід. Певною мірою вони залежать від дії рослинності і живих організмів.

Існують закономірності *детерміновані і статистичні*. Статистичні закономірності враховують дію багатьох випадковостей, виявляючи приховану за ними властивість, які притаманні саме цьому об'єкту, тобто які визначають його суть (відмінність від інших). Детерміновані (тобто, причинно зумовлені) закономірності виражають властивості об'єкта без випадковостей.

В інженерній геології і геоморфології проявляються як детерміновані, так і статистичні закономірності. Так, наприклад, у конкретних фізико-географічних умовах формуються осадові породи певного генезису і складу. У процесі літогенезу ці породи також набувають властиві тільки їм якості, а при метаморфізації переходять у відповідні типи метаморфічних порід, які характеризуються специфічними властивостями.

Однак, якщо взяти окремі зони, ділянки або зразки, то виявиться, що їхній склад і властивості змінюються, хоча й в обмеженому для кожної породи діапазоні значень. Індивідуальні відмінності елементів розглядають як випадкові. Отже, звідси випливає, що для геологічних об'єктів характерне закономірне в цілому, а випадкове у точці.

*Просторові закономірності* виявляються в різних масштабах – від мінералу до планети в цілому. В об'ємі мінералу закономірність виявляється в тому, що при даних умовах певний набір іонів створює структурну решітку саме цього мінералу. Закономірне поєднання мінералів є основою формування породи. Та обставина, що у багатьох випадках породи складаються як з мінералів, так і з уламків інших порід принципово не змінює ситуацію, оскільки будь-який тип відкладів не є набором випадкових компонентів. Прикладами просторових закономірностей може бути закономірний розподіл крупності алювію по вертикалі (у профілі) і горизонталі (від витоків до гирла), морських відкладів тощо.

*Часові закономірності* знаходять своє вираження у тому, що, по перше, усі процеси відбуваються у три етапи – зародження, розвитку і стабілізації і друге – виникненню геоморфологічних процесів сприяють фактори, які закономірно повторюються у часі (сонячна активність, сила гравітації, зміна сезонів року, коливання рівня водою тощо).

## 2. Стадії (етапи) процесу

Як і всі термодинамічні процеси, геоморфологічні (інженерно-геоморфологічні) процеси виникають при зміні хоча б одного параметру стану інженерно-геоморфологічної системи. До цих параметрів процесів належать тиск, об'єм і температура. У випадку зміни одного з них порушується рівновага між вказаною системою і зовнішнім середовищем і це призводить до першого етапу – *зародження процесу* (рис. 1, відрізок OA). У цей період часу рушійні сили процесу  $\sigma_{\text{п}}$ , що генеровані зовнішнім впливом стосовно до інженерно-геоморфологічної системи, ще не в стані подолати зовнішню протидію системи  $\sigma_{\text{с}}$ . У зв'язку з цим видимі прояви процесу можуть не спостерігатися. Стан системи на цьому етапі описується співвідношенням  $\sigma_{\text{п}} < \sigma_{\text{с}}$ ,  $\sigma_{\text{п}}$  наближається до  $\sigma_{\text{с}}$ . У точці A настає рівновага, при якій  $\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{с}}$ .

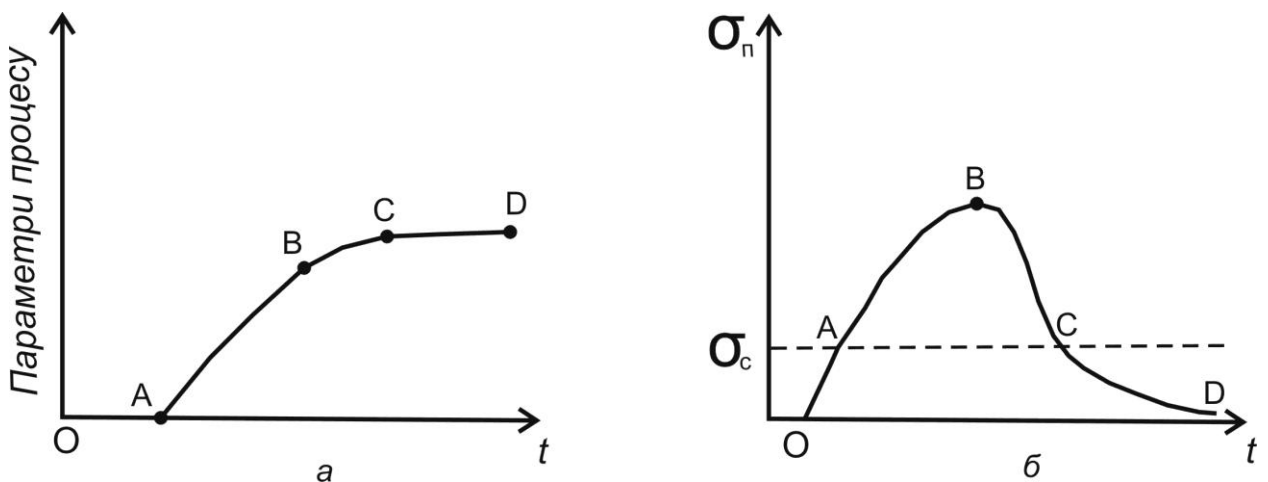


Рис. 1. Зміни параметрів (а) і рушійних сил (б) процесу у часі

На другому етапі *розвитку процесу*, коли вказані сили починають переважати сили внутрішнього опору системи (ділянка AB), відбувається активізація процесу, а  $\sigma_{\text{п}} > \sigma_{\text{с}}$ . Зі зменшенням рушійних сил процесу або пристосуванням системи до змін зовнішніх умов внаслідок роботи зворотних зв'язків процес у своєму розвитку переходить в стадію *затухання* (відрізок BC), для якого характерне  $\sigma_{\text{п}} < \sigma_{\text{с}}$  ( $\sigma_{\text{с}}$  наближається до  $\sigma_{\text{п}}$ ) і потім настає етап *стабілізації* (відрізок CD). Далі може зберігатись стан рівноваги або буде продовжуватись зменшення рушійних сил процесу ( $\sigma_{\text{п}} < \sigma_{\text{с}}$ ) до того часу, поки  $\sigma_{\text{п}}$  не стануть рівними 0 (відрізок CD).

Тривалість кожного з етапів в загальному випадку неоднакова і залежить від характеру та інтенсивності рушійних сил процесу, а також від співвідношення цих сил і силами зовнішнього опору системи.

У ряді випадків нормальний цикл проходження процесу може перериватися. Так, стадія затухання руху зсуву у результаті сейсмічних проявів нерідко може змінюватися етапом зародження нового процесу зміщення зсувного тіла. Застосування закріплювальних заходів, навпаки, сприяє переходу етапу зародження зсуву зразу до його стабілізації.

### **3. Закономірності розподілу властивостей порід**

Формування і розподіл показників складу і властивостей порід зумовлені, в основному, геотектонічним режимом досліджуваної території і чинниками, які ним визначаються. При аналізі чинників треба зазначити дві обставини: 1) усі ці чинники мають спільний вплив на закономірності і їх окремий розгляд пов'язаний лише зі зручністю викладу; 2) ці чинники здійснюють вплив на склад і властивості порід у всі періоди їх існування (утворення, зміна, руйнування) і в різні періоди дія окремих чинників може не співпадати.

#### **3.1. Просторові умови**

***Тектонічні умови.*** Тектонічний режим визначається умовами накопичення матеріалу, з якого утворюється порода, її формуванням і перетворенням. Зміна тектонічного режиму призводить до появи нових генетичних і літологічних типів відкладів.

Різними є породи районів геосинкліналей і платформ. У *геосинклінальних умовах* під час опускання відкладається велика кількість уламкового матеріалу, що призводить до утворення потужних піщано-глинистих товщ. Далі у процесі розвитку геосинкліналі відкладаються карбонатні породи, далі – флішеві. Утворення ефузивних порід активно відбувається в початковий період геосинклінального циклу. Інрузивні породи формуються в усі етапи існування геосинкліналі. Головна магматична діяльність відбувається після завершення основних фаз складчастості.

В *областях платформ*, що межують з геосинкліналями широко представлені глинисті і карбонатні породи (переважно вапняки). На ділянках платформ, де відбуваються активні підняття, широко розповсюджені піщані породи, які деколи містять прошарки глин.

Породам, які формуються в центральних частинах платформ в першій половині геотектонічного етапу, властиві значна однорідність складу і фізико-механічних властивостей. Для порід, які розвинуті на окраїнах платформ і що утворюються у другій половині геотектонічного етапу, характерна суттєва неоднорідність складу і властивостей внаслідок нерівномірного розподілу уламкового матеріалу у товщі.

Суттєвий вплив на склад і властивості порід мають швидкість *неотектонічних рухів* та їх амплітуда. При інтенсивних опусканнях земної кори відбувається швидке накопичення уламкового матеріалу. Залежно від співвідношення швидкості опускання, масштабів розмиву і подальшого накопичення матеріалу породи, сформовані при швидких опусканнях земної поверхні, можуть бути як менш так і більш щільними порівняно з відкладами, утворення яких йшло в умовах повільних опускань. При значній амплітуді підняття руйнуванню підлягають породи різного складу, якщо ж амплітуда невелика, то зруйнований матеріал більш однорідний.

Гранулометричний склад порід залежить від тектонічного режиму району, де відбувається їхнє формування. При невеликій тектонічній активності делювіальні і алювіальні відклади більш тонкозернисті і майже не диференційовані за складом у вертикальному напрямі. У тектонічно

активних районах делювій характеризується більш крупним складом частинок.

**Гідрогеологічні умови.** Вплив гідрогеологічних умов на властивості порід проявляється у переважній більшості випадків в їх погіршенні при водонасиченості або взаємодії з водою.

Залежно від зміни гідрогеологічних умов змінюються властивості порід. Виникнення напорів у пісках, особливо слабо фільтрованих може різко змінити їхні властивості, аж до переходу у рідкий і пливунний стан.

У той же час тонкозернисті піски при дуже невеликій вологості в результаті прояву капілярних властивостей набувають зв'язності. Ця зв'язність, однак, швидко втрачається при збільшенні вмісту вологи. Властивості порід, особливо піщаних, покращуються, якщо підземні та інфільтровані поверхневі води містять цементуючі речовини.

При проникненні води в леси вони втрачають властивості просадочності, але опір зсуву і модуль деформації при цьому зменшуються.

**Геоморфологічні умови.** У гірських, особливо молодих, формуються переважно грубоуламкові неоднорідні за складом породи. Диференціація уламкового матеріалу за складом у межах навіть одного генетичного типу відкладів виражена більш чітко, ніж на рівнинах. Утворенню таких порід сприяють процеси фізичного вивітрювання, які суттєво переважають над хімічним вивітрюванням. Склад часто відзначається доброю промитістю, що забезпечує відносно високі показники міцності і водопроникності.

У рівнинних умовах, де створюються найсприятливіші умови для утворення і зберігання продуктів вивітрювання, широко розповсюджені відклади, властивості яких визначають піщано-глинисті фракції.

Рельєф впливає на склад і властивості порід навіть, якщо розглядати обмежені за площею ділянки. Форми рельєфу в кінцевому результаті відображають фізико-механічні властивості – чим менше розчленований рельєф, тим щільніша і міцніша порода. Міцність порід вища, а деформованість нижча на достатньо крутих, але стійких схилах, ніж на пологих схилах чи вододілах. Крім того, від крутості схилів залежить потужність зони вивітрювання – зі збільшенням крутизни вона зменшується.

Пониження рельєфу, в яких накопичуються, застоюються або повільно перемішуються поверхневі води характеризуються підвищеними значеннями стискуваності і зниженими – опору здвигу. На випуклих схилах породи, як правило, зволожені менше, ніж на увігнутих. На схилах увігнутої форми у плані відбувається концентрація (доцентровий рух) підземних і поверхневих вод і тому тут залягають найменш міцні і найбільш деформовані породи.

Суттєво впливає на розподіл показників властивостей порід у просторі *експозиція схилу*. На схилах південної експозиції випаровується більше вологи, ніж північної. Це відчувається, зокрема, в параметрах міцності порід, що залягають на різноорієнтованих схилах – більшість зсувів відбувається на затемнених схилах (схилах холодних експозицій).

**Кліматичні умови.** Клімат є дуже важливим фактором формування властивостей порід в періоди їх утворення і наступних змін.

Вплив клімату на склад і властивості осадових порід полягає передусім у підготовці вихідного матеріалу. У різних кліматичних зонах по-різному відбувається процес вивітрювання. Хімічному вивітрюванню сприяє теплий і вологий клімат, тому продукти такого вивітрювання широко розповсюджені в субтропіках і тропіках. Однак в тектонічно активних районах сильна денудація може перешкоди розвитку хімічного вивітрювання і тоді буде домінувати фізичне вивітрювання. Хімічне вивітрювання в остаточному результаті перетворює породи на глинистий матеріал, збагачений оксидами заліза і алюмінію ( $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ) і тому досить однорідний за мінеральним складом.

Зі зменшенням кількості атмосферних опадів і зниженням середньорічної температури повітря хімічне вивітрювання замінюється фізичним, практично повністю в посушливих (особливо пустельних) районах. Фізичне вивітрювання призводить до утворення незв'язних порід, як правило, досить неоднорідних за складом і властивостями.

У прильодовикових областях різко зменшується випадання в осад карбонату кальцію, що призводить до зникнення порід вапнякового ряду. У таких кліматичних умовах в озерах утворюються озерно-льодовикові шаруваті глинисті відклади, а на при льодовикових рівнинах – досить однорідні піски, найчастіше, дрібно- і середньозернисті.

В областях, що прилягають до аридних зон, в яких різко знижується залісненість і зменшується густина трав'яного покриву, широко поширені делювіальні процеси, а також формуються леси і лесоподібні породи.

У жаркому і посушливому кліматі відбувається випадіння солей, що в минулі епохи призводило до утворення соленосних товщ, а тепер – до засолення порід. Процеси засолення дуже характерні для пустель, часто бувають у напівпустелях, рідко в степах, і невідомі в лісостепах.

У зоні пустель, де вирішальним чинником утворення порід є вітер, породи складені добре відсортованими тонкими і дрібнозернистими пісками пухкого складу, що зумовлює їх низьку міцність, високу стискуваність і водопроникність.

У морських басейнах карбонат кальцію завдяки високій температурі досягає стадії насичення і перенасичення, створюючи передумови до виникнення карбонатних порід, а місцями і доломітів.

**Рослинність.** Вплив її на властивості порід неоднозначний. З одного боку, наявність суцільного рослинного покриву сприяє рівномірному розподілу вологи в породі, з іншого – перешкоджає випаровуванню і стоку атмосферних опадів, зволожуючи породу.

Тому, вологість однієї і тієї ж породи може бути суттєво різною, якщо рослинний покрив розвинутий нерівномірно. Перерозподілу вологи сприяють і дерева. Описаний у літературі випадок, коли поглинання води деревами, які були посаджені з одного боку будинку, призвело до зменшення вологості породи на 5-8 % і як наслідок до деформацій будинку.

Крім цього корені послаблюють породи, порушуючи їх природний склад, добре розвинута коренева система тополі деколи повністю витісняє породу.

Однак, з іншого боку, корені зміцнюють верхні горизонти, перешкоджаючи розвитку ерозійних і гравітаційних процесів. Коренева система «підтягує» також підземні води до поверхні (наприклад, леси у лісосмугах на півдні Одеської області).

### **3.2. Часові закономірності**

Закономірності, що керують розподілом показників складу і властивостей порід у часі, формуються в процесі утворення та існування цих порід.

Зміна складу і фізико-механічних властивостей в період утворення породи в просторі і часі тісно пов'язані. Так, наприклад, зменшення середнього розміру частинок при переміщенні уламків від витоків річки до її гирла є характерними прикладами прояву як часової, так і просторової закономірностей.

Власне часові закономірності найяскравіше проявляються у період існування породи, коли вони можуть зумовлювати: 1) ущільнення масою перекриваючих порід; 2) розущільнення при знятті маси порід або її частини; 3) вивітрювання; 4) метаморфізм.

Для усіх перерахованих ситуацій існують загальні правила, які можуть бути сформульовані наступним чином: а) чим ближче до джерела дії розміщена порода, тим сильніше відбуваються зміни в породі; б) чим сильніше дія, тим різкіше змінюється порода; в) чим триваліша дія, тим більше змінюється порода; г) чим більша різниця умов, створених дією і тих, що були до цього, тим різкіше змінюється порода; д) зі збільшенням часу дії однорідність породи, спочатку зменшується, а потім починає збільшуватися.

Перераховані правила зумовлені комплексом факторів, які визначають умови виникнення та існування породи, тобто історією тектонічного розвитку, геологічною і гідрогеологічною будовою, рельєфом і кліматичними особливостями території. Від цих умов залежать швидкості накопичення осадів та їхніх наступних змін процесами денудації і вивітрювання, а отже і характер варіації складу і властивостей у часі.

Отже, що і в цих випадках часові і просторові закономірності пов'язані нерозривно, а з практичної точки зору набагато більш важливим є їх просторовий аспект.

## **4. Закономірності розподілу інженерно-геоморфологічних явищ і процесів**

*Інженерно-геоморфологічними процесами* називають (за А. Каганом) деструктивні процеси, що відбуваються в гірських породах внаслідок механічної, фізичної або біологічної дії і здійснюють вплив на інженерну та господарську діяльність людини або викликані нею (господарською діяльністю).

Для виникнення деструктивного процесу у природній ситуації необхідне поєднання певних умов – геологічних, гідрогеологічних, геоморфологічних, кліматичних та інших. Штучний фактор може викликати будь-який процес, навіть тоді, коли в природі немає ніяких передумов для його зародження (наприклад, вибухи у скельних породах можуть сформувати тріщини зі зсуванням по них скельних блоків, осідання земної поверхні внаслідок відкачування підземних вод, гравітаційні процеси на уступах утвореного вапнякового кар'єру тощо). Суттєво, що при цьому інженерно-геоморфологічні процеси розвиваються, зазвичай, швидше, ніж у природних умовах. Процеси підпорядковані просторовим і часовим закономірностям. Просторові закономірності зумовлені тектонічною обстановкою, що існувала та існує в межах даної території. З цієї точки зору деструктивні процеси можуть бути поділені на екзогенні, ендегенні, а також змішаного характеру. Слід зазначити, що виникнення певного процесу зумовлене, як правило, дією сукупністю факторів. Будуть розглянуті лише основні процеси і явища.

#### **4.1. Просторові закономірності. Екзогенні процеси і явища**

***Тектонічні умови.*** Передумови розвитку *схилкових процесів* зумовлені особливостями тектонічного розвитку регіону, а також будовою верхніх горизонтів земної кори. У межах структур, що зазнають підняття, широкий розвиток мають зсуви, обвальні-осипні процеси і селі.

*Зсувні процеси* в областях підняття пов'язані зі збільшенням ухилів рік, що призводить до посилення ерозії і, отже, до збільшення зсувних сил або зменшення втримуючих на схилах внаслідок збільшення крутості, підмиву їхньої подошви тощо.

Неотектонічні рухи впливають на зсувну діяльність внаслідок: 1) погіршення властивостей порід завдяки збільшенню тріщинуватості, що особливо характерно для скельних і напівскельних їх різновидів; 2) зміни напруг у породах; 3) формування сучасного рельєфу. Вони активізують денудаційні процеси і тим самим сприяють утворенню зсувів. При цьому, чим більша амплітуда зміщень, тим активніша зсувна діяльність.

*Обвали* часто приурочені до областей підняття, причому чим інтенсивніше йшло підняття і чим більша була його амплітуда, тим інтенсивніше і частіше виникали обвали.

На платформах підняття призводять до утворення порівняно вузьких і глибоко врізаних долин в корінні відклади. Якщо ці породи скельні або напівскельні, то там відбуваються обвали. Обвали властиві всім гірським областям. Особливо це стосується молодих систем. Різке розчленування рельєфу є важливою умовою утворення обвалів. Обвали часто приурочені до зон тектонічних порушень, особливо до перетину розломів. При цьому чим молодший і крупніший розлом, тим більший об'єм обвалу.

Тріщинуватість у значній мірі зумовлює утворення обвалів внаслідок зменшення міцності порід і далі морозного та інших видів вивітрювання.

*Селі* теж характерні для областей підняття. Їх утворенню сприяють різка контрастність рельєфу і новітні тектонічні рухи, що сформували рельєф гірських областей.

Новітні рухи створюють контрастний рельєф і в ще більшій ступені, ніж давні зумовлюють порушення порід, викликаючи або полегшуючи розвиток процесів, що ведуть до накопичення матеріалу, які входять у склад селів.

Ділянки земної кори, які опускаються, характеризуються найменшим розчленуванням рельєфу і внаслідок цього слабким розвитком схилових процесів.

*Карст.* Вплив геотектонічної обстановки на формування карсту проявляється передусім в умовах осадконагромадження товщ розчинних порід. Карстові процеси активно відбуваються у склепінчастих частинах додатних структур, для яких характерні порівняно невелика потужність пухких відкладів, підвищена тріщинуватість і приуроченість до них області живлення підземних вод. На крилах таких структур, де розчинні породи перекриті четвертинними відкладами значної потужності, розвинуті переважно підземні карстові форми.

Деякі дослідники вказують на те, що карст приурочений до додатних структур певного порядку. Карстові форми трапляються у зонах тектонічних прогинів, де вони виникають у зв'язку з ерозійною діяльністю рік.

Щодо від'ємних структур, то внаслідок великої потужності четвертинних відкладів карст в їх межах розвивається обмежено.

Вплив неотектонічних рухів на процес формування карсту неоднозначний. Висхідні рухи призводять до його зародження або посилення, внаслідок того, що породи можуть бути наближені до денної поверхні, збільшується їх тріщинуватість, виникають нові умови руху підземних вод. При висхідних рухах великої швидкості карст не встигає розвинути. Нисхідні рухи сповільнюють карстоутворення.

Тріщинуватість, як характерний прояв тектонічних процесів, є одним з головних факторів що зумовлюють виникнення і розвиток карсту, при цьому збільшується водопроникність і відповідно швидкість руху підземних вод, сприяє доступу поверхневих вод або глибоких підземних агресивних вод, зокрема термальних. У зв'язку зі зменшенням тріщинуватості з глибиною, в цьому напрямку зменшується закарстованість порід.

*Процеси переробки берегів (процеси абразії)* також часто викликані умовами, сформованими в ході тектогенезу певної ділянки земної кори. По-перше, історія тектонічного розвитку визначає особливості розподілу у просторі порід, що мають різну здатність опору руйнування. По-друге, тектонічні процеси сприяють розвитку ерозійних і гравітаційних процесів, значення яких в процесі переформування берегів є дуже важливим. По-третє, тріщини тектонічного походження (як і інші), різко збільшують розмивність порід.

Л. Б. Розовський вказує, що ділянки підняття, зазвичай, відповідають звуженням долини (у водосховищах), на яких внаслідок малої ширини водойми високі хвилі не утворюються, а отже переважають процеси акумуляції. Ділянки переважання опускань відповідають розширенню долини, на яких формуються високі хвилі, а берегами є уступи



аккумулятивних терас, складені пухкими відкладами. У зв'язку з такими геолого-геоморфологічними умовами розмивання берегів і відкладання наносів переважають темпи опускання. Внаслідок цього швидко утворюються великі мілководдя та інтенсифікуються аккумулятивні процеси.

**Умови залягання** суттєво впливають на характер геоморфологічних процесів.

**Зсуви** виникають лише у тому випадку, якщо у будові схилу є слабкі зони або формуються у результаті дії на нього. Як правило, слабкими зонами є витримані прошарки глинистих порід, нестійкі до суфозії різновиди піщаних відкладів, контакти різних за складом порід, тріщини, що підсікають схил або його частину. Тектонічні тріщини мають важливе значення, оскільки з ними пов'язані найбільші зсуви. Виникнення зсувів спрощується, якщо схил складений шаруватими породами з падінням по схилу або слабкі зони мають такий же напрям. Однак, у таких умовах об'єми зсувів, зазвичай, невеликі.

**Обвали.** У шаруватих скельних і напівскельних породах утворенню обвалів сприяє падіння порід по напрямку схилу і тим більші, чим більший кут падіння. На думку Маслова, найсприятливіші кути падіння від 15 до 35°. Формуванню обвалів сприяють неоднорідність геологічного розрізу, наявність порід, які легко руйнуються різними процесами.

**Селі.** Умови залягання впливають на розвиток денудаційних процесів і вивітрювання, що дають твердий матеріал для селевого потоку. При падінні порід по схилу, потужність вивітрілих порід звичайно менша, ніж при їх зворотньому падінні, але знесення продуктів вивітрювання відбувається інтенсивніше.

Розвиток *карсту* залежить від ступеня фільтраційної однорідності розрізу, збільшення якої сприяє цьому процесу. Якщо розчинні породи розділені водонепроникними шарами, то карстовий процес може й не виникнути. Глинисті прошарки в карстотвірних породах обмежують вертикальну циркуляцію вод. З умовами залягання порід значною мірою пов'язані гідродинамічні типи карсту, виділені Л.Г. Ликовим. Перший тип (придолинний карст) утворюється при горизонтальному або полого нахиленому заляганні порід. Зона інтенсивного картування охоплює схили долин, причому її потужність зменшується в сторону вододілів. Якщо долина закладена впоперек простягання порід, то карст, переважно, розвивається по тріщинах напластування.

Другий тип виникає внаслідок впливу віддалених ерозійних врізів. На платформах цей тип карсту трапляється найчастіше на пологих крилах синклінальних і антиклінальних структур. У гірських областях він приурочений до схилів передових хребтів і передгірських схилів, які складені моноклінально залягаючими породами, які падають в сторону головного вогнища розвантаження підземних вод.

Третій тип зумовлений дренажним впливом зон тектонічних порушень і найбільш типовий для гірських областей. Найчастіше тут спостерігається лінійно витягнуті зони тектонічних порушень, по яких при нисхідному русі

води розвиваються переважно субвертикальні і нахилені форми, а також ділянки перетину лінійних дислокацій, до яких приурочені великі пустоти, зокрема і печери.

Четвертий тип карсту виникає там, де місця розвантаження підземних вод мають природні перешкоди, що створені слабо водопроникними і непроникними породами. У таких випадках утворюються ланцюжки лійок з висхідним рухом витікаючої води з них і формуються джерела типу «воклюз».

*Переробка берегів.* Очевидно, що опірність берегового схилу до дії хвиль знижується при чергуванні стійких та нестійких порід, особливо, якщо нестійкі породи розміщені на рівні хвилеприбою. Важливим є співвідношення падіння пластів і берегового схилу. При нахилі шаруватих скельних і напівскельних порід у напрямку схилу він руйнується за площинами напластування, часто утворюючи крупноуламкові відклади. Якщо ж породи падають в зворотньому напрямку (вглиб схилу), то передусім, руйнуються ослаблені породи зони вивітрювання і процес йде інтенсивніше, ніж у першому випадку.

*Гідрогеологічні умови.* Роль підземних вод в утворенні зсувів полягає у збільшенні тиску на породи, що складають схил та зменшенні міцності цих порід у результаті їхнього зволоження. Крім того гідродинамічний тиск води може призвести до суфозійних і пливунних процесів.

Найчастіше зсуви трапляються там, де при сприятливих геологічній будові, крутості схилів та інших умовах розповсюджені витримані водоносні горизонти. Отже, закономірності розподілу водоносних горизонтів при наявності інших факторів, що сприяють виникненню зсувів, визначають, як наслідок, закономірності просторового розподілу існуючих і потенційних зсувів.

*Обвали.* На формування обвалів дія підземних вод впливає переважно через їх вплив на властивості порід (зменшення міцності, збільшення маси), як чинника, що зумовлює гідродинамічний і гідростатичний тиск, а деколи і як агента вивітрювання.

*Селі.* Значення гідрогеологічних умов у формуванні і просторовому розподілі селів визначається водопроникністю порід, умовами живлення і розвантаження підземних вод і воно є неоднозначним. З одного боку, підземні води в значній мірі зумовлюють розвиток та хід ерозійних і гравітаційних процесів, яка поставляють для матеріал для твердої складової сільових потоків. Крім того, проникнення води в товщу порід сприяє їх руйнуванню. З іншого боку, вода, що попадає в породи, зменшує поверхневий стік, послаблюючи його селетвірну активність. Наприклад, біля підніжжя крутих схилів осипища, які поглинали стік зі схилів і перетворювали їх на селебезпечні.

*Карстові процеси.* Хід тектонічного розвитку певного регіону, області зумовлюють регіональні закономірності циркуляції підземних вод у товщі закарстованих порід. Рух води через породи у багатьох випадках викликаний врізанням долини, що відбувається у більшості випадків в результаті

тектонічних піднять. Просторовий розподіл карстових процесів та інтенсивність розвитку цього процесу зумовлені особливостями дренажу підземних вод.

У річкових долинах в межах берегового схилу карстоутворення відбувається в тому випадку, якщо розчинні породи перекриваються добре водопроникними відкладами. При великому переважанні поверхневого стоку над інфільтрацією карстовий процес не має розвитку, а на крутих схилах зберігаються навіть гіпси. Також треба зазначити збільшення закарстованості порід в межах зони сезонного коливання рівня підземних вод, для якої характерні підвищена тріщинуватість, пов'язана з порушенням порід в результаті їх періодичного змочування і висихання, а також зростання агресивності підземних вод внаслідок надходження вуглекислоти з повітря зони аерації.

На вододільних плато при добрій водопроникності пухких відкладів в зоні аерації переважає вертикальний рух води по тріщинах, що сприяє виробленню порожнин такого ж напрямку. У зоні сезонних коливань рівня підземних вод рух їх змінюється з вертикального на горизонтальний і навпаки. Тому тут розподіл карстових порожнин не має яскраво вираженого орієнтування. У зоні повного водонасичення, де переважає горизонтальний рух підземного потоку, порожнини мають такий же напрям.

У давніх глибоко врізаних долинах з сильно закарстованими схилами в зоні повного водонасичення горизонт підземних вод має максимальні ухили, що робить її зоною найбільшого карстоутворення. Якщо карст не пов'язаний з дренажним впливом водотоку, то розчинення порід відбувається, зазвичай, при дуже невеликих градієнтах підземного потоку. У таких умовах формуються пустоти, швидкість утворення яких, число і розмір залежать від речовинного складу і структурно-текстурних особливостей порід. У таких випадках карстоутворення приурочене до певних горизонтів.

*Переробка берегів.* Вплив гідрогеологічних умов полягає в тому, що у випадку виходу підземних вод на схили або обмілину їх стійкість зменшується, що полегшує переробку берегів. Якщо водоносний горизонт розміщений нижче рівня води у водосховищі, то виникає гідродинамічний тиск, який може деколи призвести до суфозії, пливунів і завжди до зменшення стійкості берегових схилів.

*Геоморфологічні умови. Зсуви.* Основним морфометричним показником є крутість схилів, яка визначає не тільки можливість порушення схилу, але й характер порушення. При куті нахилу понад 35° переважають поверхневі зміщення (зсуви-потоки, опливини), при менших кутах виникають власне зсуви.

Важливим чинником формування зсувів є форма схилу. На схилах випуклої форми зсуви будуть відбуватись інтенсивніше, ніж на увігнутих, хоча їх об'єм в першому випадку, як правило, менше ніж другому.

Ще однією ознакою утворення зсувів є форма схилу у плані. Цьому процесу сприяють увігнуті схили. Причиною є те, що до цих ділянок

напрямлений рух підземних і поверхневих вод, що зволожують породи схилу.

У розподілі зсувів існує гіпсометрична приуроченість. Вони розвиваються переважно у районах низько- і середньогір'я. Це пояснюється такими причинами: 1) характером порід (зменшення скельних і збільшенням пухких відкладів порівняно з високогір'ям); 2) великою кількістю опадів, яка властива цим районам; 3) крутість схилу достатня але не завелика. Помічено, що у гірських країнах вверх по схилу збільшується зсувна діяльність. Така закономірність характерна і для рівнин.

*Обвали.* Для цього процесу особливо важливі геоморфологічні умови, бо ці процеси відбуваються лише на крутих схилах. За даними деяких дослідників рух уламків виникає на схилах крутістю  $30^\circ$  і більше, а при перевищенні  $60^\circ$  уламки рухаються великими стрибками. Обвальні явища часто пов'язані зі схилами, що мають випуклу форму, розчленованими нішами з навісами і напрямом на південь, де активніші процеси фізичного вивітрювання.

*Селі.* Для селевих процесів теж велике значення має крутість схилу, зі зменшенням якої збільшується змив. Крутість також визначає швидкість руху водного потоку і стійкість пухких відкладів. Кут нахилу поверхні схилів багато в чому зумовлює характер переміщення селю. Наприклад, за даними Хоніна, грязьові і грязьокам'яні потоки утворюються при кутах нахилу, що перевищують  $14^\circ$ . При цьому потоки великої щільності виникають при крутості понад  $16^\circ$ .

Однією з характерних закономірностей просторового розподілу селів є їх вертикальна зональність. Зі зниженням висоти збільшується частка легко розмивних порід у геологічному розрізі і, отже, інтенсивність ерозії. На різних гіпсометричних рівнях рельєфу характерні різні типи селів. Для високогір'я властиві нечасті, але потужні, переважно, водокам'яні селі. У середньогір'ї відбуваються, зазвичай, грязьокам'яні і грязьові селі, що вирізняються найбільшою повторюваністю. У низькогір'ї селеві потоки, як правило, грязьові і грязьокам'яні, достатньо часто відбуваються, але, як правило, малопотужні і короткочасні.

*Карст.* При розчленованому рельєфі породи, що карстуються стають доступними поверхневим водам, що пояснює приуроченість інтенсивно закарстованих ділянок до ерозійних понижень, річкових долин, балок, ярів. Багато дослідників відзначають, що на цокольних терасах, де потужність пухких відкладів невелика, ці процеси інтенсифікуються, досягаючи максимального розвитку у підніжжі корінного схилу у смузі тилового шва надзаплавної тераси. Н.І. Соколов також вважає, що при інших рівних умовах під руслами річок і терасами карст розвинутий сильніше, ніж під вододілами. Характерною рисою є збільшення інтенсивності розвитку карстових процесів в напрямку від вододілів до водотоків. У гірських областях спостерігається обернена ситуація: інтенсивне врізання ерозійної мережі призводить до знищення поверхневих карстових форм на дні долини. Сильне розчленування рельєфу зумовлює великі ухили поверхні, що забезпечують швидкий стік

поверхневих вод. Це, значною мірою, перешкоджають їх надходження в товщу порід, які можуть карстуватися.

*Переробка берегів.* На характер та інтенсивність переформування берегів великий вплив має морфологія берегового схилу. Закономірності розподілу ділянок берега з різною крутістю зумовлюють просторові закономірності процесів переробки (берега). Зі збільшенням крутості берегового схилу збільшується об'єм розмиву.

Важливою у процесі переробки берегів є форма берегової лінії у плані. Найбільше інтенсивно розмиваються випуклі ділянки берегів. На увігнутих ділянках, як правило, переважають акумулятивні процеси.

*Кліматичні умови. Зсуви.* Є.П.Ємельянова виділила п'ять кліматичних зон розвитку зсувів: багатолітньої мерзлоти, значної і незначної глибини промерзання, помірного і тропічного клімату. Визначені періоди року, коли коефіцієнт запасу стійкості має найбільше і найменше значення. У зоні багатолітньої мерзлоти переважають поверхневі зміщення, у всіх решта кліматичних зонах трапляються зсуви майже всіх типів.

Інтенсивніший розвиток зсувів спостерігається у більш вологому кліматі з більшою кількістю атмосферних опадів. Як відзначає В. Ломтадзе, для розвитку зсувних процесів найсприятливішими є райони, яким властиві затяжні дрібні дощі, які сприяють насиченню вологою порід на схилах. При сильних дощах, як правило, більша частина води стікає зі схилів. Найінтенсивніше зсувна діяльність проявляється у періоди випадання максимальної кількості опадів, що до того ж призводить до підйому рівня підземних вод.

Від кліматичної зональності залежить швидкість і характер вивітрювання порід, гідрогеологічні фактори, що зумовлюють зародження і перебіг зсувного процесу, а також закономірна приуроченість зсувних явищ до схилів певної експозиції.

У всіх кліматичних зонах, виключаючи область розвитку багаторічно мерзлих ґрунтів, схили південної експозиції є стійкішими від північних. Це пояснюють меншою інсоляцією і тому більшою вологістю, також повільне танення снігу з більшими його запасами на цих схилах забезпечує насичення їх вологою і третє: при достатньо високій середньорічній температурі ці схили покриті більш густою рослинністю, що ускладнює поверхневий стік атмосферних опадів.

*Обвали* значною мірою зумовлені процесами фізичного вивітрювання. Вони найчастіше відбуваються в районах з різкими добовими коливаннями температур повітря, сильними дощами і вітрами, найчастіше на схилах південної експозиції. Закономірність обвальних явищ залежить від вертикальної зональності рельєфу. Для високогірних областей, що належать до гляціальних кліматичних зон, обвали не характерні. Вони найчастіше трапляються у перигляціальній області високогір'я і у середньогір'ї. У низькогір'ї обвали менш типові і зустрічаються, як правило, на крутих схилах водотоків.

*Селі.* На розподіл селів у просторі має вплив також кліматична зональність. Це проявляється у різниці кількості та інтенсивності випадання атмосферних опадів та характеру вивітрювання. Вважають, що найсприятливіші умови створюються у гірських системах субаридного і аридного клімату. На схилах південної експозиції сельова ерозія відбувається активніше, тому ймовірність формування селів на цих схилах є більшою.

*Карст* у своєму розвитку також підпорядкований просторовим закономірностям, що зумовлені кліматичною зональністю. Ці закономірності визначаються кількістю, тривалістю випадання та інтенсивністю атмосферних опадів, швидкістю танення льоду і снігу, хімічним складом і температурою поверхневих і підземних вод.

Найінтенсивніше карст розвивається у вологій тропічній зоні, найменше – у пустельній. Проміжне становище (за ступенем зменшення інтенсивності) займають середземноморська, помірного клімату, тундри і тайги, полярна зони. При цьому, темп розвитку карсту у тропічному кліматі приблизно у 72 рази вищий, ніж у пустельному, у 6 разів – ніж у середземноморському, у 8 – ніж у тундро-тайговій і полярній зонах. Вказана закономірність пов'язана, перш за все, з неоднаковою кількістю опадів, що випадають в різних кліматичних зонах. Певну роль відіграє і температура води.

Для процесів карстоутворення характерна не тільки широтна, але й вертикальна зональність. Високогірні райони не сприяють розвитку карсту: великі ухили, відсутність ґрунтового-рослинного покриву, низькі температури, що сповільнюють хімічне розчинення порід, сніговий покрив, що виконує захисну функцію.

Максимального значення карстова денудація досягає у верхній частині гірсько-лісової зони, де випадає найбільша кількість опадів і велике значення мають талі води, а ґрунти і рослинність збагачують природні води агресивними компонентами.

Певну роль у просторовому розміщенні карстових явищ відіграє експозиція схилу. На схилах південної експозиції (на відміну від північної) активніше відбувається фізичне вивітрювання. Зважаючи на це умови проникнення поверхневих вод у розчинні породи (при інших рівних умовах) сприятливіше на схилах, обернених до півдня.

*Переробка берегів* також має зональний характер. Географічна зональність проявляється у різниці кліматичних умов (тривалість без льодового періоду, кількість атмосферних опадів, температура повітря, тривалість вітрів і сніготанення), у характері ґрунтового і рослинного пориву, руйнуванні берегів льодом. Зональність виражена також у зміні порід, особливо четвертинних, в напрямі зі півночі на південь (у північних районах слабкорозмивні льодовикові і воднольодовикові відклади, у південних – леси і лесоподібні породи).

Просторові закономірності переформування берегів залежать від їхньої експозиції. На схилах південної експозиції відбувається активне танення снігу і внаслідок цього берегові схили руйнуються (опливини, осипи,

обвалювання). Зруйнований матеріал накопичується біля берега і легко руйнується під час сильних хвиль.

**Ендогенні процеси.** Найважливішими у практичному розумінні і найнебезпечнішими є землетруси. Сейсмічні явища, що проявляються у струсах і розривах земної кори, викликані процесами, які відбуваються в надрах, на земній поверхні і над її поверхнею.

Екзогенні процеси і явища цілком визначаються геологічними, гідрогеологічними, геоморфологічними і кліматичними умовами, а ендогенні процеси повністю або частково формують їх. Разом з тим сейсмічність має вираження у цих умовах, а ступінь прояву багато в чому залежить від них.

**Тектонічні умови.** Загальновізнано, що підвищена сейсмічна активність властива рухливим зонам Землі, особливо там, де з'єднуються геологічні структури, що характеризуються різною геологічною будовою, складом, історією розвитку і неоднаковими за знаком і значеннями сучасними рухами. Зони найбільшого розповсюдження землетрусів є межі літосферних плит. Вогнища менш значних землетрусів приурочені до зчленування платформ і геосинкліналей або на місці молодих складчастих зон. Землетруси також приурочені до ділянок, де межують структури більш високого порядку – антеклізи і синеклізи, серединні масиви, міжгірські і крайові прогини. Також землетруси пов'язані з окремими розломами, крупними складками і групами порівняно невеликих складок.

**Умови залягання** впливають на прояви сейсмічності неоднозначно і неоднаково відображаються на бальності території. Згідно з даними Медведєва шаруваті товщі у багатьох випадках не відрізняються за бальністю від однорідних розрізів. Очевидно, що такі ситуації можливі, якщо значення сейсмічної шорсткості шаруватої і однорідної товщі близькі.

При потужності пухких відкладів до 10 м, що перекривають скельні породи, інтенсивність прояву землетрусів вища, ніж при більших потужностях нескельних утворень, щонайменше на один бал, а у западинах, заповнених пухкими відкладами потужністю до 500 м – на 1-2 бали менше. Це пов'язано зі зниженням енергії коливань у порівняно пластичних породах.

**Гідрогеологічні умови** відображаються на сейсмічності в тому випадку, якщо на досліджуваній території є обводнені породи, так як обводнення призводить до погіршення їх властивостей і, отже, підвищенню чутливості до сейсмічних коливань. Однак, при глибині залягання рівня підземних вод 10 м і більше, що перевищує висоту капілярного підняття у більшості порід, підвищення бальності практично не відчувається.

**Склад і властивості порід.** За дослідженнями різних за складом і властивостями порід, що бальність знижується у ряді: глини – піски – крупноуламкові відклади – напівскельні породи – скельні породи. Сейсмічній нестійкості порід сприяють дефекти будови – тріщинуватість, слабкі зони, макропористість та інше. Тому несприятливими є ділянки розвитку деструктивних процесів (зсуви, обвали, карст тощо), зони складчастості, особливо дез'юнктивного характеру, а також контакти, головним чином круто нахилених порід.

**Геоморфологічні умови.** Розчленований рельєф є непрямую ознакою порушення порід і сприяє виникненню і розвитку геоморфологічних процесів. Тому в умовах такого рельєфу полегшуються прояви сейсмічності і ділянки розвитку крутих схилів, випуклої форми, розчленованих нішами найнебезпечніші при землетрусах.

**Кліматичні умови.** Кліматична зональність прямо не пов'язана із сейсмічністю і відображається через зміну властивостей порід, а також розповсюдження інженерно-геоморфологічних процесів у різних кліматичних зонах. Однак більшість землетрусів відбувається в областях з порівняно високими середньорічними температурами повітря.

#### **4.2. Часові закономірності. Екзогенні процеси.**

Відомі дві групи часових закономірностей, які зумовлені: 1) ритмічністю природних явищ і 2) стадійністю розвитку процесів.

Вперше *ритмічність природних процесів* була встановлена Е. Брікнером у 1890 р. стосовно до змін клімату. Потім вона підтвердилась і з'явилися докази існування ритмів різної тривалості, що притаманні різним природним процесам. Механізм таких ритмів ще недостатньо вивчений, існування деяких з них є проблематичним але у більшості випадків реальність їх не викликає сумнівів. До таких ритмів належить 40700-річний ритм, який впливає на геологічну історію плейстоцену (Максимов). Цей ритм впливає на зміни температурних умов і зволоженості, виражається у динаміці зледеніння і сейсмічності, лесоутворенні тощо. Механізм ритму, ймовірно, пов'язаний з періодичністю нахилу екліптики, встановленої М. Міланковичем у 1939 р.

Одним з головних багатовікових ритмів тривалістю 1850 років є ритм, що вивчався А. В. Шнітніковим, який розділив період часу з кінця льодовикового періоду на 5 ритмів. Їх існування зумовлене дією припливно-утворюючих сил на земну оболонку. Кожний ритм складається з трансгресивної фази, що характеризується підвищеною вологістю континентів і регресивною фазою, на протязі якої зволоженість континентів спадає, хоча спостерігаються локальні підвищення зволоженості.

Серед високочастотних ритмів добре відомий т.зв. віковий ритм у 80-90 років, який виявився, зокрема, у коливаннях рівня Каспійського моря, коливаннях температури повітря у північній півкулі, витрат р. Волги. Слід також назвати 11-річний ритм, встановлений шляхом аналізу сонячної активності. З ним пов'язано багато природних явищ: від коливань геомагнітного індекса до змін інтенсивності росту дерев.

**Зсуви.** Є. П. Ємельянова одна з перших звернула увагу на періодичність зсувної діяльності і виділила добові, місячні, річні і різні за тривалістю багаторічні цикли. Нею висунуто припущення про зв'язок посилення зсувних процесів з 11-річними періодами сонячної активності, засноване на тому, що в періоди зростання числа сонячних плям збільшується кількість атмосферних опадів. Її дослідження проведені у різних регіонах колишнього СРСР, зокрема і в Україні. Аналіз цих даних



дозволив зробити висновок про найбільшу активність зсувних явищ в першій чверті 11-річного циклу.

Закономірності розподілу зсувних зміщень на протязі року залежать від чинників, що визначають стійкість схилів на певній території. Якщо поява зсувів пов'язана з ерозією або абразією, то найбільше їхнє число відповідає часу, коли відбувається паводки і шторми. Інтенсифікація зміщень залежить від різних причин: паводки на річках, збільшення абразії під час штормів і збільшення кількості опадів, розтаненням сезонномерзлого шару. Критичні значення інтенсивності опадів, при яких відбуваються зсуви залежать від геолого-геоморфологічних умов певного району, але їхнє значення в конкретній природній обстановці можуть бути ознакою, що дають змогу прогнозувати зсуви.

Багато дослідників вважають, що інтенсифікація зсувних явищ посилюється, якщо дощовому періоду передуює посушливий, бо різка зміна зовнішніх умов завжди активізує процес. Деколи утворення зсувів відбувається з певним відставанням від початку дощів або сніготанення.

У розвитку кожного процесу виділяють три основні етапи. Стосовно до зсувів існує значна кількість видів цього процесу. Найбільш загальною є схема Ф. П. Саваренського, який розрізняв стадії підготовки зсуву, зсувного зміщення і наступного існування схилу і зсувних мас. Аналогічна схема є і у В.Д. Ломтадзе. Однак, в етап підготовки зсуву ним включені мікрозміщення і пластичні деформації, які можуть призвести до утворення валів, тріщин і до розкриття їх.

Є. П. Ємельянова для різних типів зсувів виділяє різну кількість стадій. За її схемою на етапі зародження зсувного процесу рушійні сили процесу діють в напрямі зменшення міцності порід в слабкій зоні або формують її, приводячи до зниження коефіцієнта запасу стійкості ( $K_{\text{зап}}$ ) до 1. На цьому етапі відбувається процеси, які ведуть до кількісних змін у породах схилу. Перехід кількості в якість, що виражається у прояві сповзання, свідчить про настання другого етапу розвитку процесу зсування, який, характеризується одноразовим значним зміщенням зсуву (а), багатократно повторюваними зміщеннями (б), після яких рух зсуву продовжуються (в) (рис. 2). Деколи багаторазові повторювані зміщення змінюються одноразовим значним зміщенням (г). При будь-якому з цих варіантів на цьому етапі середня швидкість переміщення зсувних мас спочатку зростає від нуля до деякого максимального значення (стадія прогресивного розвитку), а потім падає до 0 (стадія регресивного розвитку).

Другий етап завершується, коли коефіцієнт запасу стійкості стає рівним 1 і не знижується далі, хоча можуть бути локальні зміщення. Отже, з настанням цього етапу стійкість схилу цілком відновлюється остаточно і в подальшому, збільшуючись чи зменшуючись, але завжди є такою, що  $K_{\text{зап}} \geq 1$ . Кожний етап має різну тривалість і може неодноразово змінювати один одного залежно від умов перебігу процесу.

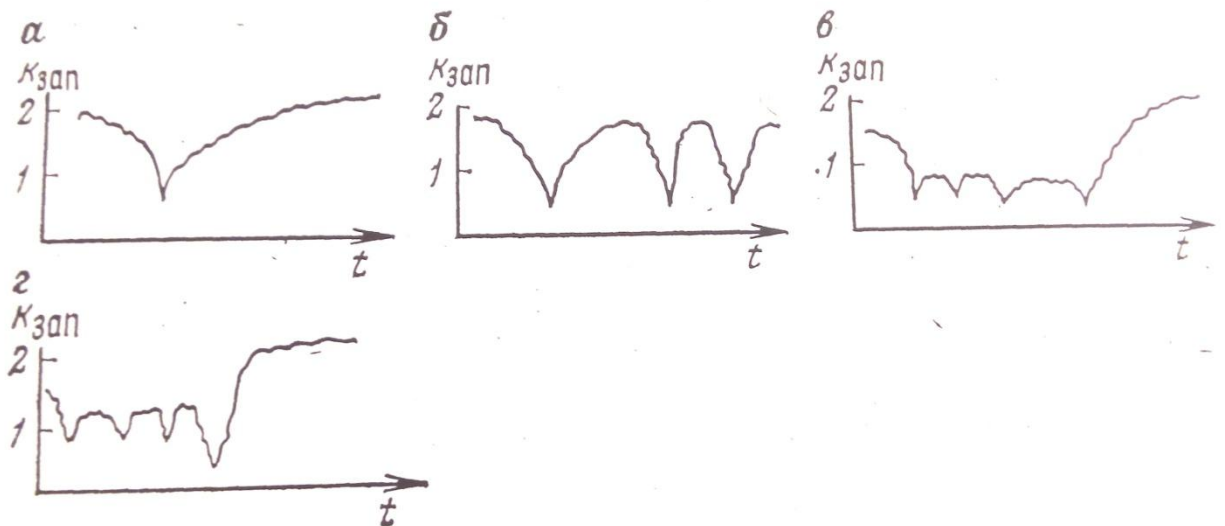


Рис. 2. Динаміка розвитку зсувного процесу (за Є.П. Ємельяновою)  
 а – одноразове значне зміщення; б – багаторазово повторювані зміщення;  
 в – одноразове значне зміщення, після якого продовжується рух;  
 г – багаторазово повторювані зміщення, що змінюються одноразовим значним зміщенням

**Обвали.** Вважають, що активізація обвалів пов'язана з випаданням сильних дощів, то можна припустити, що підвищення загальної зволоженості дає змогу встановлювати часові закономірності розвитку обвальних явищ у певному регіоні, області, районі. Зародження процесу відбувається, коли зовнішня дія починає послаблювати породи на схилі. З моменту відокремлення уламка від схилу і до його падіння процес знаходиться на стадії прогресивного розвитку, далі йде стадія регресивного розвитку («стрибки» уламків по поверхні і основі схилу) і етап стабілізації, коли рух повністю завершується.

**Селі.** Розподіл селів у часі зумовлений, головним чином, закономірностями, пов'язаними з циклічністю природних процесів. Цикли визначаються на основі порівняння чисел Вольфа (характеризує сонячну активність), сонячної радіації, середньорічної кількості опадів та їх добових максимумів. Цикли бувають 6-, 11-, 22-річні.

Часовий розподіл селів залежить також від складу порід і фізико-географічних умов, в яких знаходиться басейн. Частота селів збільшується в районах з переважаючим розвитком легко вивітрюваних та нестійких порід і зменшується там, де породи стійкі до денудації і ерозії.

Якщо розглянути річний розподіл, то можна зауважити, що більшість селів відбувається у літній період. Це пояснюється тим, що основна маса опадів випадає при проходженні літніх циклонів, хоча для кожного регіону існує своя крива розподілу. Тому у ряді випадків селі приурочені до значних за тривалістю проміжків часу і крива повторюваності їх не має чітко визначеного максимуму. Деколи бувають ще весняні максимуми (квітень, травень).

Щодо добового розподілу, то багато дослідників відзначають, що у більшості гірських районів зливи випадають найчастіше у вечірні і перші години (у горах Азербайджану і Середньої Азії – 65-80%). Це зумовлено особливостями гірсько-долинної циркуляції повітряних мас, що викликані сильним нагріванням повітря над рівнинними ділянками передгір'їв вдень, що призводить до інтенсивного розвитку висхідних потоків і утворення під кінець дня хмар і у внаслідок зниження температури у нічний час – до випадання зливових опадів. Якщо нагріваються вологі повітряні маси, які прийшли з сусідніх районів, то інтенсивність злив суттєво зростає. Селі, викликані таненням льодовиків і сніжників, відбуваються, зазвичай, вдень.

Етапу зародження сельового процесу відповідає момент часу, коли коефіцієнт запасу стійкості потенційного сельового масиву при взаємодії з водним потоком стає рівним 1 і далі зменшується. Такий стан може наступити, якщо, наприклад, вологість глинистої породи перевищить межу текучості, вологість незв'язної породи буде більшою за повну вологоємність тощо. Стадія прогресивного розвитку продовжується аж до досягнення сельовим потоком максимальної швидкості, а потім змінюється стадією регресивного розвитку, яка завершується відкладанням твердої складової селю, тобто стабілізацією процесу. Залежно від метеоумов обидві стадії можуть неодноразово змінювати одна одну навіть за час проходження одного потоку.

**Карстові процеси.** Перебіг карстових процесів підпорядкований закону циклічності, що визначає розподіл різних екзогенних процесів у часі. При вивченні В. Н. Дублянським та В. В. Ілюхіним карстових порожнин у гірському Криму встановлено, що на кривій розподілу нівально-коразійних порожнин за глибиною виділяють максимуми, зв'язок яких з піками зледеніння оцінюється коефіцієнтом кореляції  $0,98 \pm 0,01$ . Аналіз відкладів карбонату кальцію у печерах також виявляє макроритми, які кратні проявам ритмічності сонячної активності.

Існують певні закономірності в характері розвитку процесів карстоутворення на протязі року. Зазвичай, такі процеси найактивніше відбуваються і супроводжуються провалами в періоди найбільш інтенсивного випадання опадів і танення снігу, тобто навесні, на початку літа і восени. У районах з недостатнім зволоженням максимум інтенсивності розчинення повинен припадати на весну, коли випаровування невелике.

Виникнення карстового процесу співпадає з початком розчинення породи. Воно може бути наслідком надходження в породу агресивних вод або створення умов для руху підземних вод, що здатні вилуговувати. Етап розвитку процесу продовжується аж до припинення розчинення порід і охоплює проміжок часу, тривалість якого залежить від потужності і речовинного складу породи, режиму фільтрації і складу агресивних компонентів у воді.

Завершення процесу карстоутворення співпадає з закінченням вилуговування порід, що виникає внаслідок: 1) вичерпування розчинного матеріалу; 2) зменшення його розчинності; 3) зміни гідродинамічних умов

руху підземних вод або 4) зміни хімічного складу підземних вод. Найчастіше трапляються другий і третій випадки, рідше перший, ще рідше четвертий, який, як правило, пов'язаний зі штучним впливом. Зниження розчинності відбувається, наприклад, якщо вихідна (первинна) порода містила глинисті прошарки або нерозчинні компоненти в достатньо великій кількості. При вилуговуванні, крім того, може зменшуватись і водопроникність. Закінчення розчинення порід не обов'язково означає закінчення процесу розвитку карстових порожнин. Залежно від дії інших деструктивних процесів може відбуватись виведення таких порожнин на поверхню, утворення провалу тощо. Тому для карстових порожнин можуть бути визначені етапи їх розвитку.

Стосовно до провалів Г.А.Максимович виділяє підготовчу глибинну стадію, що характеризується розширенням тріщин і яка закінчується при появі ознак наближення утворення провалу на поверхні. Друга, початкова стадія характеризується плавною просадкою над місцем майбутнього провалу, що супроводжується тріщинами на поверхні. Потім настає катастрофічна стадія власне утворення провалу, яка триває від декількох годин до декількох днів. У завершальну післяпровальну стадію обвалювання стінок закінчується.

Виходячи зі стадійності розвитку будь-якого процесу, моментом виникнення процесу формування провалу слід вважати початок розчинення породи. З різних причин розчинення може і не призвести до утворення в породі порожнини. У повному циклі від початку розчинення породи йде етап розвитку, коли утворюється порожнина, покрівля якої завалюється (прогресивна стадія розвитку), потім стінки провалу виположуються, згладжуються, лійка заноситься пухким матеріалом, заростає і зливається з поверхнею оточуючої території (регресивна стадія розвитку). Етап стабілізації настає, коли рушійні сили процесів, пов'язаних з розвитком провалу на обох стадіях, повністю вичерпується.

**Переформування берегів.** Одним з головних факторів, що визначає переформування берегів водосховищ є їх рівневий режим. А звідси, рівень води у водосховищі залежить від кількості атмосферних опадів. Відомо, що загальна зволоженість пов'язана з циклами сонячної активності. Отже, часові закономірності переробки берегів перебувають у певному зв'язку з періодичністю, характерною для сонячної активності.

Найбільші розмиви берегів припадають на роки з високими рівнями води або на роки з високими значеннями хвильової енергії, або на роки з поєднанням першого і другого. Ці ж чинники визначають характер інтенсивності переробки берегів у річному періоді. Взимку встановлюється найнижче положення горизонту води, а водосховище у помірному і холодному кліматі покриваються льодом. Тому береги практично не руйнуються. Зазвичай, найбільші розмиви відбуваються навесні і восени, коли посилюються хвилі. При цьому, максимальна переробка припадає на осінній період з довгими і часто повторюваними штормами. Навесні до

звільнення водойми від криги відбувається нехвильове руйнування берегових схилів, на яке припадає до 40% від загального об'єму руйнувань.

Часові закономірності, що визначають перебіг процесу переформування, залежать від складу порід, що творять берег. У перші роки після заповнення водосховища (як правило до 1-2 років) абразії зазнають береги, складені легко розмивними відкладами – пісками, лесами, лесоподібними породами, супісками, нестійкими суглинками і глинами.

Переформування закінчується швидше на низьких берегах, порівняно з високими, бо обриси низьких є ближчими до профілю динамічної рівноваги, ніж високі. Швидкість процесу переробки берегів залежить від форми берегової лінії – випуклі розмиваються швидше.

Найінтенсивніше процес переробки йде при різкій зміні зовнішніх умов, що відбувається в результаті наповнення водосховища і наступних підйомів рівня водосховища. Тому, головні зміни у розвитку берегів водосховища відбуваються в перші роки експлуатації водойми, а потім починають затухати внаслідок появи або (і) росту ширини прибережних обмілин.

Стадія зародження переформування берегів починається з моменту зіткнення порід, що складають берег з водою чаші водосховища. При цьому, зважаючи на відмінність існуючого рельєфу берега від профілю динамічної рівноваги і найменшими втратами хвильової енергії внаслідок відсутності прибережної обмілини, переформування відбувається найбільш інтенсивно. Процес переробки мілких берегів порівняно з глибокими відбувається менш активно, бо хвилі на підході до берегового уступу втрачають частину енергії.

Перший етап наступної стадії – прогресивного розвитку – співпадає з часом переважання абразійних процесів, що змінюється акумулятивними процесами на стадії регресивного розвитку. Останні дві стадії по-різному відбуваються на різних типах водосховищ (гірські, долинні тощо) і берегів (зсувні, обвальні та ін.) з різним складом відкладів. Затухання процесу переформування відповідає встановленню динамічної рівноваги схилу.

**Ендогенні процеси.** Згідно з існуючими уявленнями, землетруси виникають у результаті накопичення в земних надрах енергії і наступної швидкої розрядки. Досягнення значень енергії, при яких настає руйнування порід, відбувається за проміжок часу, що залежить від їх властивостей. Імпульсивний характер сейсмічного режиму визначає існування активних і пасивних періодів, що змінюють один одного.

Треба мати на увазі, що середня тривалість сейсмічних циклів дає лише досить приблизну уяву про проміжки між землетрусами. Так, наприклад, землетруси біля о. Хоккайдо з магнітудою понад 8 відбувались через 58 років, а біля о. Хонсю – лише через 22 місяці.

Деякі дослідники, зокрема, А.Д. Ситинський, вважають, що виникнення землетрусів пов'язане зі змінами сонячної активності. Він говорить про те, що посилення сонячної активності призводить до розігріву і збільшення щільності верхніх шарів атмосфери і отже, до перерозподілу повітряних мас по усій земній кулі. Внаслідок таких порушень

переміщується центр тяжіння системи Земля– атмосфера і, отже порушується рівновага фігури Землі. При цьому виникає велика енергія ( $10^{21}$  Дж) – це більше, ніж енергія сильних землетрусів ( $10^{17}$ – $10^{18}$  Дж).

Тому Ситинський робить висновок, що атмосферні збурення є однією з причин найсильніших землетрусів. Він також вважає, що існує зв'язок загальної сейсмічності Землі з 11-річним сонячним циклом і те, що землетруси, в середньому, відбуваються на другу-третю добу після проходження груп сонячних плям через центральний сонячний меридіан.

Більш розповсюджена думка про вплив на землетруси місячних припливів. Вважають, що у тих випадках, коли процеси підготовки землетрусів наближаються до завершення, прояву глибинних сил сприяють місячні припливи, що створюють додаткові напруження в земній корі, мінімальні – у повний і новий місяць, мінімальні – при перебуванні Місяця в першій і останній чвертях своєї фази. Припливоутворюючі сили залежать не тільки від фаз Місяця, але й від його розміщення на орбіті (найбільші значення – в перигеї, найменші – в апогеї).

За даними, які отримані в різних регіонах (Карпати, Кавказ, Алтай, Саяни, Казахстан, Середня Азія, Камчатка, центральна Італія) можна зробити висновок, що 80% землетрусів припадає на відрізок часу, віддалений від нового або повного місяця не далі, ніж на 6 днів. Для землетрусів з інтенсивністю не менше 7 балів також проявляється закономірність, хоча й не така чітка – у 5-денний інтервал вкладається від 40 до 60% усіх землетрусів.

Для з'ясування ролі сонячної активності періоди, що відповідають 11-річним циклам, ділили, за пропозицією Шеко, на 4 частини, дві з яких (перша і друга) належали до гілок росту, а дві інші (третья і четверта) – до гілок спаду. Більшість землетрусів припадає на інтервали, що відповідають гілкам спаду, що підтверджує гіпотезу Ситинського.

Розподіл землетрусів з інтенсивністю не менше 7 балів за порами року вказує на більш-менш рівномірний розподіл, хоча з п'яти описаних у книзі А. Кагана регіонів, у чотирьох – максимум припадає на весну. М. Шимсконі за даними 15 тис. землетрусів встановив збільшення сейсмічної активності вночі.

## ТЕМА 6. МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

**Характеристика методів інженерно-геоморфологічного прогнозування.** Вперше питання про методи інженерно-геоморфологічного (інженерно-геологічного) прогнозування було поставлено Є.П. Ємельяною у 1959 р. стосовно зсувних процесів. Потім вона запропонувала виділяти дві групи методів прогнозу зсувних зміщень, одне з яких заснована на детермінованих моделях, друга – на стохастичних (тобто, випадкових, ймовірнісних). У першу групу увійшли розрахункові методи, фізичне моделювання, методи аналогій і метод розрахунку факторів процесів. До другої групи належать методи, засновані на: 1) уявленні про періодичність (або ритмічність) зсувних зміщень у часі; 2) випадковості виникнення зсувів у часі, що зводяться до побудови кривих розподілу; 3) залежності показників зсувного процесу від різних факторів.

Переважно, всі методи базуються на висновку за аналогією. Визначаючи, наприклад, геологічну будову в певних точках інформацію переносять на весь комплекс порід (інтерполують дані). При встановленні можливості виникнення певного процесу базуються на аналогії між ознаками, що спостерігаються і тими, що відзначали у давніх і сучасних процесів.

Висновок про інженерно-геоморфологічні умови, зазвичай, містить оцінку ступеня сприятливості території і рекомендації з проведення заходів, що спрямовані на їх покращення. Такі висновки засновані на результатах досліджень поведінки окремих елементів інженерно-геоморфологічної ситуації, які виконують за аналогією.

Результати будь-якого розрахунку можуть вважатись достовірними, якщо розрахункова схема відображає всі суттєві риси інженерно-геоморфологічної ситуації.

При складанні інженерно-геоморфологічних прогнозів, як правило, застосовують методи, що базуються на геологічних і пов'язаних з ними ознаках, причому ці ознаки використовують як в якісній, так і кількісній формах. Застосовують моделювання і методи, що базуються на розрахунках, а також, хоча й значно меншою мірою, на експертних оцінках.

Отже, слід виділити 6 основних груп методів для цілей інженерно-геоморфологічного прогнозування, які базуються на: 1) геологічних і зумовлених або пов'язаних з ними ознаках (геологічна аналогія); 2) ймовірнісно-статистичних ознаках (ймовірнісна аналогія); 3) фізичному моделюванні (модельна аналогія); 4) натурному моделюванні (натурна аналогія); 5) розрахунках (розрахункова аналогія); 6) експертних оцінках (експертна аналогія).

**Геологічна аналогія.** До основних критеріїв, що використовують у методі геологічних аналогій належать: а) історія геологічного розвитку регіону, району, ділянки, майданчика тощо, а також породи, які вивчають; б)

геологічна будова, що включає умови залягання окремих горизонтів, їхнє положення у розрізі, потужність, переривчастість тощо; в) склад, структурно-текстурні особливості, фізико-механічні і водні властивості; г) положення рівнів підземних вод; д) ознаки, що значною мірою залежать від геологічної будови, наприклад, характер рельєфу, розчленування, крутість, форма схилів, рослинність тощо.

**Ймовірнісна аналогія.** Подібність між об'єктами встановлюється на основі ймовірнісних критеріїв. Наприклад, виходячи з аналогії у ймовірнісному сенсі деякі значення показника визнають належними до однієї вибірки або описують однаковим законом розподілу, або дві вибірки вважають статистично нерозрізненими.

Застосування методу ймовірнісних аналогій можливо, якщо експериментальний матеріал отриманий в однорідних умовах. Основними критеріями ймовірнісної аналогії є статистичні параметри.

**Метод модельних аналогій** передбачає вивчення поведінки об'єкта в польових і лабораторних умовах. У першому випадку експерименти виконують на дослідних ділянках великих розмірів, що охоплюють, наприклад, частину схилу, основу споруди тощо або на обмежених за площею і об'ємом елементах дослідного масиву.

У лабораторних умовах експерименти проводять на моделях, що складаються з породи, яка творить об'єкт прогнозу і моделях з неоднаковою стосовно оригіналу субстратною основою.

Лабораторне моделювання найчастіше виконують з метою дослідження аналізу і властивостей порід. Для тієї ж мети проводять польові дослідні роботи. Цей метод вимагає для застосування подібності фізико-механічних властивостей порід і реакції на зовнішню дію об'єкта і моделі. Крім того виникає проблема масштабного ефекту, який полягає в тому, що зі зміною розміру сфери впливу зовнішньої дії змінюється реакція інженерно-геоморфологічної системи на неї (зовнішню дію) і відповідно на параметри системи.

**Натурна аналогія.** За розробленою теорією геологічної подібності Розовського, два об'єкти вважають подібними у випадку співпадіння критеріїв подібності. Значення показників для розрахунку критеріїв подібності при неоднорідній геологічній будові будуть залежати від факторів, що визначають перебіг певного процесу. Наприклад, у випадку схилів і відкосів можливість їх деформації залежить від слабкого прошарку або зони. Критерії подібності стосовно такого прошарку (зони) можна обчислювати за середніми значеннями показників. Для основ споруд роль слабких прошарків, що залягають у верхній і нижній частинах активної зони, зовсім не однакова. Для врахування положення зон з різними властивостями, беручи до уваги зменшення впливу шарів на роботу споруди з глибиною, при розрахунку критеріїв подібності пропонують брати значення показників, що обчислюють за формулою:



$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\alpha_i} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i},$$

де  $A_i$  – середнє значення показника у шарі потужністю  $h_i$ ;  $\alpha_i$  – коефіцієнт зміни тиску з глибиною;  $n$  – кількість шарів в основі споруди.

**Розрахункові методи.** Вони можуть бути успішно застосовані, якщо виконують наступні умови: 1) принципи розрахунку відповідають механізму процесу, для оцінки якого виконують обчислення; 2) існує аналогія між прийнятою розрахунковою схемою інженерно-геоморфологічної системи і самою системою; 3) параметри системи що використовують у розрахунку, отримані в тих же умовах, в яких працює система.

Третя умова означає, що досліди повинні моделювати роботу породи в основі споруди, а параметр системи підрахований, виходячи з результатів експериментів згідно з певною теоретичною схемою, може бути використаний при розрахунку споруди, схилу тощо, тільки при за тією ж схемою.

**Експертні оцінки.** Базуються на досвіді, ерудиції і, певною мірою, на інтуїції експерта. Висловлюючи свою думку експерт здійснює аналогію об'єкта прогнозування з тими об'єктами, які зустрічались в його практиці або в літературі.

Методи експертних аналогій, як правило, використовують при відсутності достатньої інформації про об'єкт прогнозу, що часто характерно для умов вирішення інженерно-геоморфологічних завдань.

Серед методів експертних оцінок Г. М. Добров виділяє два види: індивідуальні і колективні. В інженерно-геологічній практиці застосовують перший вид. Серед колективних видів важливе місце належить методу «Дельфі». Суть цього методу полягає у наступному. Після опитування експертів відбувається статистична обробка відповідей, з результатами якої знайомляться всі опитані. Експерти, точка зору яких не співпадає з думкою більшості, повинні обґрунтувати свою позицію. У разі недостатньої аргументації позиції такі результати не враховуються. Після того, як отримані достатньо узгоджені і підтверджені усіма учасниками відповіді, виконують кінцевий обробіток матеріалів анкетування, що дає змогу скласти прогноз.

В. М. Глушков розробив метод програмного прогнозування, який призначений для оцінки ймовірності початку подій та оцінки ймовірного часу його початку. У цьому методі експерт повинен встановити умови, при яких може відбутись оцінювана подія. Потім оцінюють всю умовну ймовірність цієї події при виконанні вказаної умови і найбільш ймовірний час початку прогнозованої події. Як і в попередньому методі, анкетування відбувається в декілька турів.