

5.3.7. Землетруси

Щорічно на земній кулі реєструється понад 100 000 землетрусів. Більшість з них практично не відчуваються людиною, але серед такої великої кількості є і такі, які супроводжуються значними руйнуваннями та людськими жертвами. Враховуючи збитки, які приносять землетруси і їх руйнівну дію, сьогодні витрачаються великі кошти на прогнозування сейсмічних поштовхів, виділення сейсмонебезпечних районів і вивчення природи та характеру землетрусів загалом.

Будь-який землетрус – це тектонічні деформації земної кори або мантії, які відбуваються внаслідок того, що напруга, яка накопичилася в надрах Землі, в певний момент перевищила міцність гірських порід у певному місці. Розрядка цієї напруги і породжує сейсмічні коливання у вигляді хвиль, які досягнувши земної поверхні, спричиняють руйнування. Першопричиною, яка викликає розрядку напруги, можуть бути, незначні на перший погляд явища, що відбуваються на земній поверхні. Наприклад, наповнення водосховища, швидка зміна атмосферного тиску, океанські припливи, тощо. Найпоширенішими є землетруси спричинені тектонічними, вулканічними або денудаційними процесами.

Вулканічні землетруси виникають у результаті глибинних вибухів газів, які виділяються з магми, гідравлічних ударів магми при переміщенні її по каналах складної форми і, безпосередньо, при виверженні вулканів.

Денудаційні, або обвальні землетруси характеризуються меншим поширенням у порівнянні з вулканічними. Вони спричиняються обвалами значних мас гірських порід, провалами підземних порожнин, гігантськими осувами.

Тектонічні землетруси є найпоширенішими і характеризуються найбільшою силою. Вони складають біля 95% всіх землетрусів, які відбуваються на земній поверхні. Згідно з сучасними уявленнями тектонічні землетруси пов'язані з миттєвим розвантаженням накопичених протягом тривалого часу

в надрах Землі механічних напруг, які виникають при взаємному переміщенні окремих блоків літосфери. Оскільки такі розвантаження проявляються при формуванні розломів і “миттєвому” переміщенні по них окремих блоків земної кори або мантії, тектонічні землетруси, фактично, є особливим видом сучасних дислокаційних рухів.

Центр виникнення землетрусу називається його **фокусом** або **гіпоцентром** (рис. 5.102). Розрахунки параметрів гіпоцентру реальних землетрусів показують, що в першому наближенні осередок землетрусу являє собою сферу, радіус якої може вимірюватися десятками кілометрів. Таким чином, гіпоцентр це не точка, а деякий об'єм значного розміру.

Проекція гіпоцентру на поверхню Землі називається **епіцентром** землетрусу, а точка найбільшого віддалення від осередку – **антиепіцентром**. Максимальної руйнівної сили землетрус досягає в епіцентрі, а в міру віддалення від останнього, його сила поступово зменшується. При цьому слід пам'ятати, що часто карти розташування епіцентрів відображають не зовсім правильну картину зв'язку землетрусів з поверхневою геологічною структурою. Особливо це спостерігається у випадку нахилених розривів з гіпоцентром на значній глибині. Ця особливість підкреслюється для дотримання обережності при інтерпретації землетрусів з врахуванням геологічної будови регіонів.

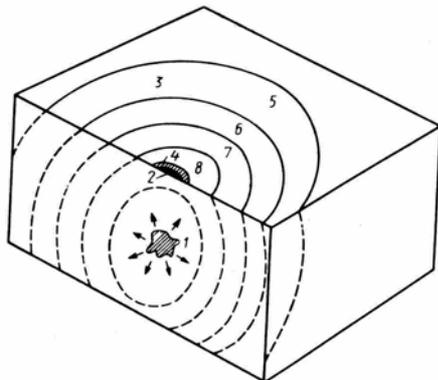


Рис. 5.102. Осередок і ізосейсти землетрусу.

1 – осередок (гіпоцентр); 2 – епіцентр; 3 – ізосейсти; 4 – плестосейстова область; 5, 6, 7, 8 – зони

Характер сили землетрусів на картах відображають за допомогою ліній, які з'єднують точки (пункти на місцевості) однакової інтенсивності сили землетрусу. Такі лінії називаються **ізосейстами**. Ізосейста з максимальним значенням сили землетрусу на

поверхні землі оконтурює певну ділянку останньої, яка називається *плейстосейстовою областю* і є, в своєму роді, проекцією осередку землетрусу на денну поверхню. Відповідно, інтенсивність землетрусу зменшується в сторони від плейстосейстової області, проте, це зменшення залежить від багатьох факторів, серед яких провідне місце належить формі та глибині осередку, геологічній структурі, складу та ступеню метаморфізму гірських порід, рівню залягання ґрунтових вод тощо.

У зв'язку з цим ізосейсти на поверхні мають самі різноманітні обриси, а не утворюють правильних кіл.

Для характеристики землетрусів користуються відомостями про їх силу, енергію та магнітуду.

Під *силою* або *інтенсивністю* землетрусу розуміється зовнішній ефект, тобто його проявлення на земній поверхні. Силу землетрусу вимірюють величиною прискорення руху частин земної поверхні під дією поштовху останнього. Для її визначення існують розроблені різними сейсмологами "шкали інтенсивності землетрусів", в основі яких лежать результати безпосередніх спостережень, спричинених землетрусами руйнувань. Найчастіше в країнах СНГ та в Україні застосовують 12-бальну шкалу визначення сили землетрусу, характеристика якої наведена в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Характеристика наслідків землетрусів за 12-бальною шкалою

Інтенсивність в балах	Загальна характеристика	Зовнішній ефект
1	Непомітні	Коливання ґрунту реєструються приладами
2	Дуже слабкі	Відчувається в поодиноких випадках людьми, які перебувають у спокійному стані
3	Слабкі	Коливання відчуваються небагатьма людьми
4	Помірні	Відчувається багатьма людьми. Можливе тремтіння вікон та дверей
5	Досить сильні	Гойдання предметів, що висять, скрип підлоги, деренчання посуду, осипання побілки

Інтенсивність в балах	Загальна характеристика	Зовнішній ефект
6	Сильні	Незначні пошкодження деяких будівель; тонкі тріщини в штукатурці, тріщини в печах
7	Дуже сильні	Значні пошкодження деяких будівель; тріщини в штукатурці та відпадання окремих шматків, тонкі тріщини в стінах, пошкодження димарів. Виникають тріщини у сирому ґрунті
8	Руйнівні	Руйнування будівель: великі тріщини в стінах, обвалення карнизів, димарів. Осуви ґрунту та тріщини шириною до декількох сантиметрів на схилах гір
9	Спустошливі	Обвалення деяких будівель, стін, покрівлі. В ґрунтах утворюються тріщини шириною 10 см та більше. Обвали, зсуви та осипи в горах
10	Нищівні	Обвалення багатьох будинків та інші серйозні пошкодження. Тріщини в ґрунтах та гірських породах до 1м шириною, обвали, осуви. Внаслідок перекриття осувами та обвалами рік утворюються озера
11	Катастрофічні	Численні тріщини на поверхні Землі з вертикальним переміщенням окремих блоків, великі обвали в горах. Повне руйнування будівель
12	Сильні катастрофічні	Великі зміни в рельєфі. Численні тріщини, вертикальні та горизонтальні переміщення блоків гірських порід. Великі обвали та осуви. Змінюються русла рік, утворюються водоспади та озера, повне руйнування всіх будинків та споруд

Ступінь руйнувань під час землетрусу на поверхні Землі залежить від глибини його осередку (чим більше глибина, тим менші коливання земної поверхні) та сили поштовху в ньому, а площа дії землетрусу прямопропорційно залежить, як від глибини осередку, так і від сили поштовху. Коливання ґрунту в епіцентрі поширюються здебільшого у вертикальному напрямку, але в міру віддалення від епіцентру їх горизонтальна компонента зростає. Такі коливання називаються **сейсмічними хвилями**. Серед них виділяють поздовжні, поперечні та поверхневі. **Поздовжні** хвилі поширюються вздовж напрямку коливань сейсмічного променя і виражаються в перемінному стискуванні та розтягуванні середовища. **Поперечні** хвилі – це синусоїдальні коливання, які виникають перпендикулярно до напрямку поширення хвиль. **Поверхневі** хвилі – це результат перетворення

основних хвиль біля земної поверхні на поперечні до неї синусоїдальні коливання, які поширюються вздовж цієї поверхні.

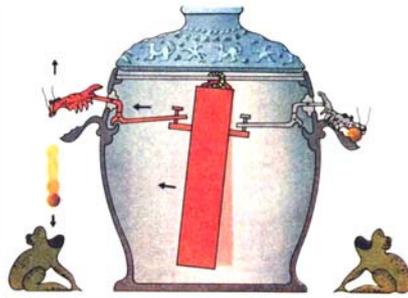


Рис. 5.102. Сейсмокоп Чжан Хена.

Для реєстрації землетрусів використовують прилади, які називаються **сейсмографами**. Перший сейсмокоп (так називалися перші прилади для фіксування землетрусів) сконструйований китайським вченим Чжан Хеном у 132 році нашої

ери. Це була китайська ваза з чотирма головами драконів орієнтованими відповідно до сторін світу (рис. 5.103). У пащах драконів знаходилась металеві кульки, з'єднані з вертикальним маятником. При поштовхах одна з кульок падала в рот жабки, яка стояла навпроти голови дракона. Таким чином визначали напрямок підземного поштовху. Сучасні сейсмографи являють собою складні електронні прилади, а запис сейсмічних коливань здійснюється на магнітній стрічці – **сейсмограмі**. При землетрусах першими досягають станції, обладнаної сейсмографами (сейсмостанції), поздовжні хвилі (**P**), тому що вони поширюються з найбільшою швидкістю. Пізніше на магнітних стрічках сеймограм фіксуються більш різкі зубці (рис. 5.104) поперечних хвиль (**S**), а згодом ще різкіші – поверхневих хвиль (**L**). Інтервал між часом поперечних та поздовжніх хвиль прямопропорційно залежить від відстані до осередку та епіцентру землетрусу.

Результати визначення глибини осередків свідчить, що 80% землетрусів виникає в корі на глибині 8-10 км, а 20% – характеризуються ще глибшим зародженням.

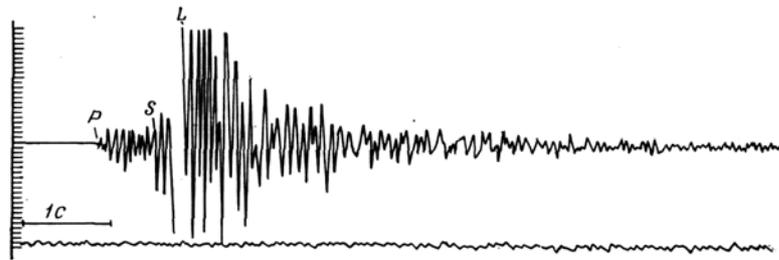


Рис. 5.104. Сейсмограми землетрусу.
P – поздовжні хвилі; S – поперечні хвилі; L – поверхневі хвилі.

За глибиною закладення землетруси діляться на **неглибокі**, або **мілкофокусні**, глибина осередків яких менше 60 км, **проміжні** – від 60 до 150 км та **глибокофокусні** – більше 150 км. Максимальна глибина осередків складає 620-720 км, тобто близька до межі верхньої та нижньої мантії.

Як зазначалося вище землетруси характеризуються також певною енергією. **Енергія** землетрусів – це величина потенційної енергії, яка звільнюється у вигляді кінетичної після розвантаження напруги в осередку і, досягнувши поверхні Землі, спричиняє її коливання. Енергія землетрусів обчислюється в Джоулях. У випадку великих землетрусів кількість звільненої енергії досягає 10^{15} – 10^{18} , а згідно з деякими джерелами, і 10^{25} Джоулів (Дж). Відносна кількість енергії, яка виділяється в осередках землетрусів, оцінюється за шкалою магнітуд.

Магнітуда – це безрозмірна величина, яка являє собою логарифм відношення максимального зміщення часточок породи (в мікронах) при конкретному землетрусі до деякого еталонного дуже незначного зміщення породи. Ця величина була запропонована в 1935р. американським геофізиком Ч.Ріхтером. Розроблена ним шкала магнітуд широко застосовується в сейсмології і охоплює діапазон від 0 до 8,8 при самих сильних катастрофічних землетрусах. На практиці магнітуда визначається за максимальною амплітудою коливань, записаних на сейсмограмі, знятої на відстані 100 км від епіцентру. Найсильніші землетруси характеризуються магнітудою від 6 до 8,8. Магнітуда

6 відповідає 6-9 балам, 7 – (8-10) балам, 8 – (10-12) балам 12-ти бальної шкали. Очевидним є те, що оцінка сили землетрусів по магнітуді за шкалою Ріхтера є більш об'єктивною, в порівнянні з бальною сейсмічною шкалою, тому що ступінь руйнування будівель, як основний критерій цієї шкали, залежить не лише від кількості вивільненої енергії, але й від цілої низки інших факторів, таких як глибина залягання осередку землетрусу, стійкість гірських порід, їх водонасиченість, інженерних характеристик будівель.

Механізм виникнення землетрусу дуже складний і трактується неоднозначно. Існує декілька моделей осередку землетрусів. М.В.Щебалінін запропонована модель, згідно з якою провідна роль належить різного роду ускладненням морфології зміщувача головного сейсмогенного розриву в земній корі, що спричиняє утворення сейсмічних хвиль. За цією моделлю, вздовж площини основного розриву мають місце “гладкі” ділянки та ділянки з “зачіпками”, які заважають зміщенню. Зривання “зачіпки” відбувається раптово, а так як це процес не відворотний, саме він і призводить до виникнення короткоперіодичних сильних коливань. Враховуючи, що молоді сейсмогенні розломи супроводжуються великою кількістю “зачіпок”, вони являють собою значну сейсмічну небезпеку в порівнянні з розломами, в яких “зачіпи” зрізані і переважають “гладкі” поверхні.

Інша модель джерела землетрусу була розроблена В.І.М'ячкінін та іншими сейсмологами (рис. 5.105) і суть її зводиться до того, що зростання напруги призводить одночасно до збільшення кількості та розмірів тріщин у певному об'ємі гірської породи. Згодом інтервали між тріщинами скорочуються, а їх число лавиноподібно збільшується. Поле напруги в області осередку набуває неоднорідності, зростає кількість деформацій, а процес утворення тріщин концентрується у відносно вузькій зоні, де вони об'єднуються в один головний розрив, по якому і відбувається розвантаження накопиченої напруги, тобто виникають сейсмічні коливання та відбувається землетрус. Весь цей процес “підготовки” до заключної стадії злиття тріщин може

тривати тисячі років, а перед землетрусом він різко прискорюється.

Протягом багатьох років вивчення землетрусів було встановлено, що на материках вони приурочені, здебільшого, до зон новітнього гороутворення (рис. 5.106).

Основними сейсмічними поясами є Тихоокеанський та Альпійсько-Гімалайський. Перший облямовує Тихий океан, з виступами на схід в районі Карибського моря та Антильської дуги, а також на півдні, в районі моря Скотта та Південно-Сандвічевої дуги.

Альпійсько-Гімалайський пояс тягнеться від західного

Середземномор'я до

Східної Азії, де зливається з Тихоокеанським. Саме в межах цих поясів відбувалися всі руйнівні землетруси, основна частина з яких пов'язана з напругами стиснення, а інша – з рухами по зсувах.

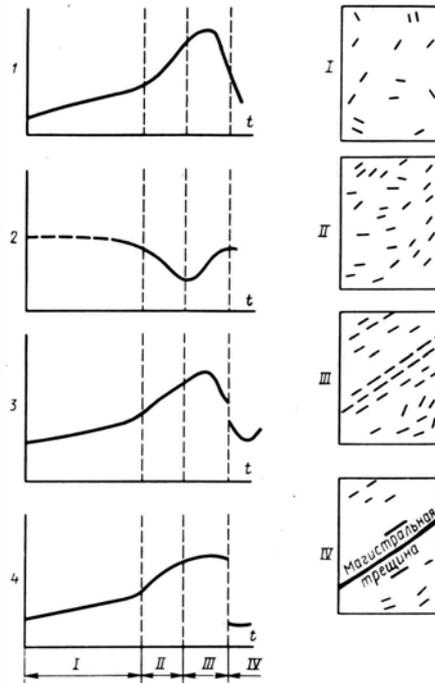


Рис. 5.105. Зміна фізичних параметрів згідно з моделлю лавинно-несійкого тріщиноутворення (за В.І. М'ячкіним)

I – IV стадії розвитку руйнування; 1 – деформація; 2 – швидкість сейсмічних хвиль; 3 – середнє значення загальної площі поверхні тріщин; 4 – пористість.

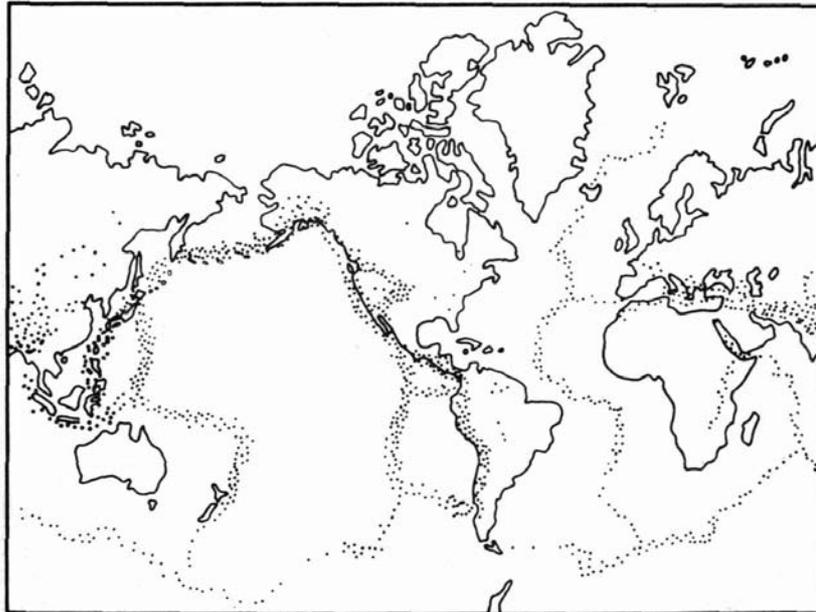


Рис. 5.106. Схема поширення епіцентрів сучасних землетрусів на Земній кулі.

У Тихоокеанському поясі найактивнішими в сейсмічному відношенні є зони надглибоких розломів, які починаються від осей глибоководних жолобів периферії океану і нахилені в сторону острівних дуг на заході, та у бік Центральної і Південної Америки на сході. Ці розломи добре простежуються по приурочених до них осередках землетрусів. Вони характеризуються нахилом $15-45^\circ$ у верхній частині зони, до глибини приблизно 100 км, і більш крутим падінням (60° і більше) в нижній. Залежно від кута нахилу розломів, а також, враховуючи характер явищ, які супроводжують сейсмофокальні зони, тобто зони концентрації осередків землетрусів, японський геофізик С.Уеда виділив два сновних типи розломів: Маріанський і Чилійський. Перший характеризується крутим падінням та розвитком проміжних і глибокофокусних

землетрусів, а другий – пологим падінням розломів та практично відсутніми глибокофокусними землетрусами.

Окрім периферії Тихого океану надглибокі сейсмофокальні зони добре проявлені також у Індійському океані. Така зона облямовує Малайський архіпелаг, виходячи на поверхню дна в Зондському жолобі. Глибина її залягання перевищує 600 км. Розташовані в Атлантичному океані Антільська та Південно-Сандвічева зони, що вже зазначалось вище, розглядаються як виступи Тихоокеанського поясу.

В Афро-Євразійському поясі переважають дрібнофокусні землетруси, а глибокофокусні практично відсутні. Землетруси з осередками проміжної глибини мають місце в районі Калабрії (південна частина Апеннінського півострова) та на острові Крит. Тут сейсмофокальні зони приурочені до вигнутих на південь острівних дуг, у тилевій частині яких спостерігаються інтенсивні прояви вулканізму. Східніше сейсмофокальні зони простежуються вздовж північного, Макранського, узбережжя Аравійського моря, хребта Західний Гіндукуш та Гімалаїв. Ці зони характеризуються нахилом на північ, в той час як на Памірі має місце сейсмофокальна зона зворотного, південного падіння.

Незначні за простяганням глибинні зони подібного типу встановлені в районі Гібралтарської дуги, в Тірренському морі, в районі Вранча на крутому згині Карпат у Румунії, в південній частині Кавказу, а також південніше Кримського півострова.

Окрім охарактеризованих двох основних сейсмічних поясів планети, розташованих по периферії континентів, в океанах виділяються значні за простяганням сейсмогенні пояси, приурочені до осевих зон серединно-океанічних хребтів. Землетруси тут відбуваються дуже часто, але вони характеризуються слабою інтенсивністю, і їх осередки знаходяться на глибині не більше 10 км. За механізмом виникнення це здебільшого сейсми розтягування, але по окремих трансформних розломах, які з'єднують рифтові зони, відбуваються також і зсувні зміщення.

З напругами розтягування пов'язана також сейсмічність континентальних рифтових систем, таких, наприклад, як

Байкальська, Східно-Африканська, Північно-Американська, Східно-Китайська та інші.

Певна кількість землетрусів відбувається і поза головним поясом сейсмічності, зокрема в межах пасивних окраїн континентів вздовж поперечних і поздовжніх розломів.

Немає сумніву в тому, що землетруси відбувалися протягом усієї історії формування нашої планети. Вони закарбувалися у вигляді численних розривів, тріщин, які розсікають різноманітні елементи рельєфу – долини рік, яри, вододіли, тощо. Однією з ознак древніх землетрусів є пороги, які виникають поперек потоків на піднятих крилах розривів. Характерні також обвали, осуви та провали. Всі ці порушення в рельєфі, спричинені землетрусами, називаються *сейсмодислокаціями*, особливо чітко вони встановлюються при дешифруванні космо- та аерофотознімків. Вивчення таких палеосейсмодислокацій має також практичне значення, і, насамперед, для встановлення ступеня сейсмічної небезпеки в тому або іншому регіоні та можливе їх проявлення.

Особливим різновидом землетрусів є підводні землетруси, або як їх ще називають – *моретруси*. Вони виникають під морським та океанічним дном, а на поверхні проявляються у вигляді велетенських хвиль, які називаються *цунамі*. Такі хвилі виникають при швидкому опусканні дна, спричиненому зміщенням блоків. При цьому в епіцентрі моретрясіння виникає хвиля, спрямована догори, яка і призводить до підняття рівня води (рис. 5.107). На поверхні акваторії така хвиля перетворюється на хвилю цунамі, яка концентрично поширюється від епіцентру з швидкістю до 800 км/год.

В океані висота хвиль цунамі не перевищує 2 м,

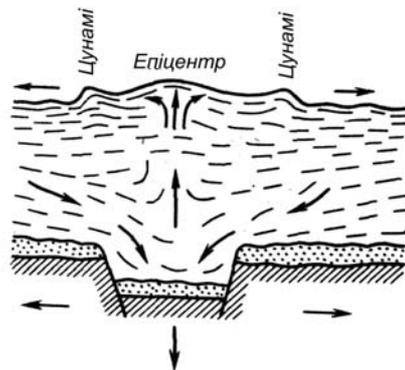


Рис. 5.107. Схема виникнення цунамі.

що при значній довжині хвилі (100-300 км) робить її практично непомітною. Проте на мілководді, при наближенні до берега, хвиля пригальмовується, виростає до висоти 30-40 м, набуває різко асиметричної форми та обрушується на берег. При цьому руйнівна сила хвилі пропорційна її швидкості.

Однією з найважливіших задач при вивченні землетрусів є сейсмічне районування територій та прогнозування самого явища. Саме від правильного вирішення цієї задачі залежать величина капіталовкладення в сейсмостійке будівництво. Ілюстрацією до цього може бути той факт, що підвищення на один бал можливої сейсмічної небезпеки веде до збільшення витрат на будівництво всіх об'єктів на декілька порядків.

Сейсмічне районування територій – це дуже трудомістка та відповідальна робота, яка базується на аналізі численних факторів, таких як: зв'язок землетрусів з глибинною будовою земної кори, геофізичними полями, тектонічними явищами, геоморфологічними та геологічними особливостями району, типами гірських порід, їх складом та фізико-механічними параметрами, розривними порушеннями, тріщинуватістю та багатьма іншими параметрами, включаючи властивості ґрунтів, рівень підземних вод, палеосейсмодислокації, тощо. Результати таких аналізів повинні дати відповідь на одне питання – якої сили землетрус можна очікувати в конкретному місці.

Аналіз сейсмологічних і геологічних матеріалів дозволяє фахівцям будувати карти сейсмологічного районування, на яких відповідними позначками показуються території з можливим проявленням землетрусів певної сили. Такі карти діляться на дрібно-, крупномасштабні та детальні. До дрібномасштабних відносяться карти масштабів 1:5000000, 1:2500000, на яких відображається загальне сейсмічне районування континентів, або їх частин. З метою достовірнішого прогнозування, для проведення масштабних будівельних робіт укладаються крупномасштабні карти від 1:1000000 до 1:200000, а при проведенні планування забудови міст на інших населених пунктів використовують карти детального сейсмічного районування масштабу 1:25000 і більшого.

Залежно від бальності можливих землетрусів фахівцями розроблені спеціальні норми, додержання яких є обов'язковим при плануванні та проектуванні будь-яких споруд. До таких норм належать: обмеженість поверхів будинків, посилення фундаментів, обладнання споруд антисейсміними поясами, неприпустимість спорудження додаткових нависаючих деталей, полегшені покрівлі, широке використання залізобетону, тощо. Слід також зазначити, що в сейсмічно небезпечних районах допускається лише обмежена проходка підземних гірничих виробок з обов'язковим закріпленням стінок і покрівлі, незалежно від міцності порід, а відкриті гірничі виробки (кар'єри) рекомендується проектувати з пологими бортами і незначної глибини. Досвід показує, що об'єкти побудовані з дотриманням цих норм, при землетрусах або залишаються цілими, або отримують незначні пошкодження.

Разом з тим, не дивлячись на всі міри застороги, актуальною завжди залишається задача прогнозування, передбачення часу землетрусу. Її вирішення можливе лише шляхом аналізу різних провісників землетрусів. Сейсмологічним провісником зародження землетрусів, насамперед, є збільшення кількості слабких коливань земної кори, які можна трактувати як **форшоки** (англ. "фор" – перед і "шок" – удар, поштовх) великого землетрусу. Реєстрація таких форшоків дає можливість попередити населення і запобігти значним людським жертвам.

Іншим сейсмологічним провісником є зміна швидкості поздовжніх хвиль. Згідно з даними І.Л.Нерсесова, вона перед землетрусом знижується на 10%, а напередодні самого явища знову підвищується до нормального стану.

До третьої групи провісників відносяться такі геофізичні ознаки як зменшення електричного опору порід, коливання модуля магнітного поля та різноманітні електромагнітні явища в атмосфері.

Четверта група провісників може бути виділена як гідрогеологічно-гідрохімічна. До неї зокрема відносяться: зміни рівня ґрунтових вод у свердловинах і колодязях (спочатку рівень понижується, а згодом різко підвищується); зміни температури

води, значне підвищення у воді вмісту радону, вуглекислого газу, парів ртуті.

До провісників землетрусів можна віднести також аномальну поведінку тварин напередодні явища. Проте для успішного прогнозування землетрусу не слід покладатися на одну яку-небудь групу провісників, а необхідно аналізувати їх у комплексі з залученням побічних ознак.

Останнім часом з'явився новий генетичний вид землетрусів – землетруси, спричинені інженерною діяльністю людини, або так звані *техногенні* землетруси. Вперше такий землетрус силою у 7 балів був зафіксований вченими в 1975 р. в Каліфорнії, де на сім років раніше була споруджена гребля висотою 235 м та виникло водосховище. Тобто, в даному випадку локальне накопичення великої маси води на поверхні Землі спричинило зміни в надрах. Проте, водосховища не єдині джерела спровокованих землетрусів. Певну “провокуючу” дію на сейсмічність надр може спричинити також розробка нафтових та газових родовищ. Механізм спровокованих землетрусів ще остаточно не з'ясований. Вважають, що вони є наслідком збільшення водонасиченості надр, а це призводить до послаблення зв'язків між частками гірських порід і тим самим знижує їх здатність опиратися крихкому руйнуванню при сейсмічних поштовхах. Такий механізм розглядається як один з перспективних методів послаблення наслідків землетрусів за допомогою зняття напруги дрібними сейсмічними поштовхами, подаючи воду в спеціально пробурені свердловини.

Запитання для самоконтролю

1. *Що собою являють землетруси ?*
2. *Що таке осередок землетрусу ?*
3. *Розкрийте генетичну класифікацію землетрусів.*
4. *Охарактеризуйте можливі механізми виникнення землетрусів.*
5. *Як вимірюється сила землетрусів ?*
6. *Охарактеризуйте 12-ти бальну шкалу землетрусів.*
7. *Де і в яких структурах на земній кулі зараз відбуваються землетруси ?*
8. *Що таке цунамі і як вони виникають.*

9. За якими ознаками можна прогнозувати виникнення землетрусів?

10. Що таке сейсмічне районування території і з якою метою воно проводиться?