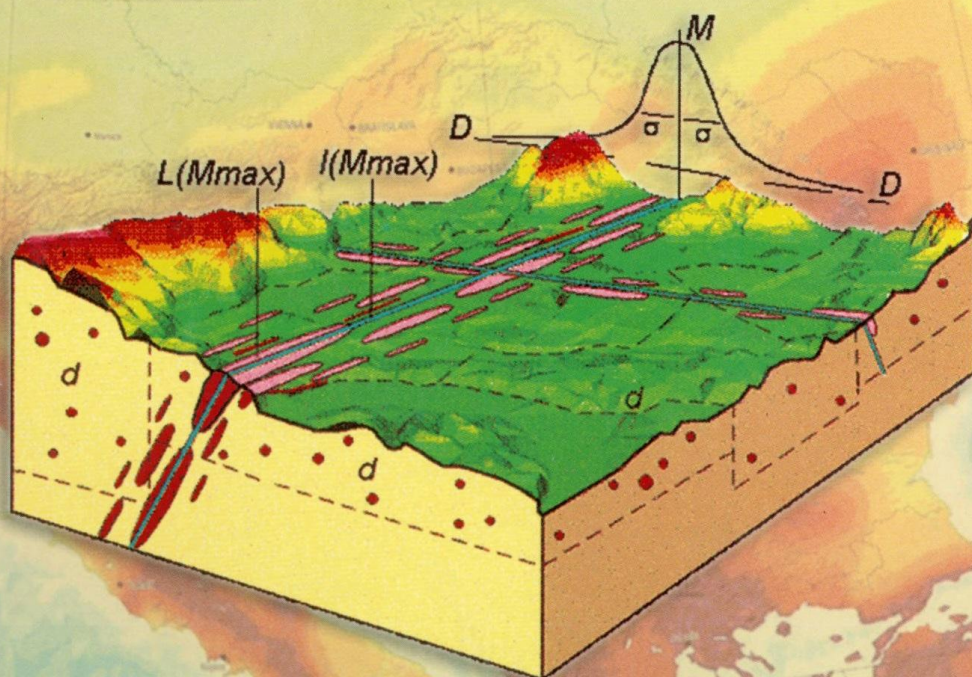


С.А. ВИЖВА, О.Б. ВИННИЧЕНКО, О.В. КЕНДЗЕРА

ВПЛИВ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

**С. А. ВИЖВА
О. Б. ВИННИЧЕНКО
О. В. КЕНДЗЕРА**

**ВПЛИВ ПРИРОДНИХ
І ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ
НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ
ОБ'ЄКТИ**

Монографія

УДК 550.3
ББК 26.2
В42

Рецензенти:

д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАН України М. А. Якимчук
д-р геол.-мінерал. наук, старш. наук. співроб. О. А. Трипільський
д-р техн. наук, проф. В. А. Заславський

*Затверджено Вченою радою
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
5 березня 2007 року*

Вишва, С. А.

В42 Вплив природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти : монографія / С.А. Вишва, О.Б. Винниченко, О.В. Кендзера; наук. ред. С.А. Вишва – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. – 239 с.

ISBN 978-966-439-033-7

Розглядаються причини виникнення та прояви природних і природно-техногенних катастроф; організація та результати сейсмічного моніторингу території України в цілому та районів розташування потенційно небезпечних промислових об'єктів зокрема; сейсмічність і сейсмічна небезпека території України та наводяться модельні приклади практичного використання методики аналізування сейсмічного ризику для вибору майданчиків розміщення АЕС. Аналізуються дискусійні геофізичні аспекти Чорнобильської катастрофи. Наводяться методологічні засади геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів і зниження рівня ризику від загрозливих природних явищ.

Для студентів та аспірантів геологічних спеціальностей університетів.

**УДК 550.3
ББК 26.2**

ISBN 978-966-439-033-7

© Вишва С. А., Винниченко О. Б., Кендзера О. В., 2008
© Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ВПЦ "Київський університет", 2008

ВСТУП

Актуальність. Наприкінці ХХ – на початку ХХІ ст. спостерігається зростання кількості природних і природно-техногенних катастроф та обсягів спричинених ними загальнолюдських і матеріальних збитків. В основі природних катастроф лежать закономірні геологічні та геофізичні процеси, що відбуваються в оболонках Землі (атмосфері, гідросфері, земній корі, мантії та ядрі), на які впливають космічні фактори і техногенна діяльність. Останні чинники можуть самі спричинити або прискорювати чи підсилювати природні катастрофічні явища. Загальноновизнаних методів оцінювання потенційної небезпеки виникнення природних катастроф сьогодні не існує. Більш ніж 50-річна (а про землетруси – більше ніж 100-річна) історія дослідження небезпечних природних і техногенно-природних геологічних процесів не принесла відчутних успіхів щодо їхнього прогнозування та попередження. Разом із тим, незважаючи на прорахунки та відсутність значних результатів, проблема моніторингу небезпечних процесів з метою запобігання їхніх негативних наслідків є одним з найактуальніших завдань сьогодення. Для успішного розв'язання цієї проблеми потрібно шукати дієві методологічні підходи, що базуються на сучасних теоретичних уявленнях.

Особливо актуальним для України є контролювання територій розташування об'єктів підвищеного екологічного ризику.

При організації моніторингу геологічного середовища, як показав досвід останніх років, найінформативнішими є геофізичні методи дослідження, зокрема сейсмічні.

Класична теорія та методологія комплексної інтерпретації геофізичної інформації не забезпечують необхідної ефективності дослідження геодинаміки природних і природно-техногенних процесів. Це пояснюється насамперед тим, що в основу класичної наукової парадигми геофізики покладено структурно-геологічний принцип, згідно з яким геологічне середовище апроксимується абстрактними збурювальними аномальними тілами, а локальні зміни фізичних властивостей замінюються середніми статистичними значеннями параметрів у статичному варіанті.

Пропонується новий методологічний підхід до визначення поняття геологічного середовища як носія не лише матеріальної речовини (мінеральної, гірськопородною тощо), але й носія геодинамічних і геофі-

зичних процесів. Природним атрибутом такого середовища є динамічний напружено-деформований та термопружний стан, а ієрархізована супідрядність його структурних елементів забезпечує можливість самоорганізації, енерго- та масообміну і сприяє ефективному розсіюванню енергії, що до нього надходить.

Основна мета геофізичного моніторингу – діагностика геодинамічного стану геологічного середовища та прогнозування геологічних і геофізичних процесів на різних структурних рівнях макроскопічних досліджень з урахуванням напруженого стану, температурного та флюїдного геодинамічного режиму.

Разом із тим геофізичний моніторинг є частиною загальної системи моніторингу довкілля і має розглядатися в комплексі з іншими методами.

Мета роботи. Метою роботи є наукове обґрунтування, розроблення та реалізація комплексного підходу до аналізу та оцінювання природних ризиків територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів України (на прикладі сейсмічного ризику для АЕС) для забезпечення довгострокових термінів функціонування діючих і вибору місць розміщення нових майданчиків.

На території України деякі потенційно небезпечні об'єкти, що є в експлуатації, були запроектовані без детального врахування відповідних геолого-геофізичних характеристик територій їхнього розміщення. За даними Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) подібну ситуацію спостерігають також на певних енергетичних об'єктах країн Східної Європи. Визнаючи неминучість існування потенційно небезпечних об'єктів, актуальною для мінімізації впливу можливих землетрусів є розробка методики аналізування та оцінювання ризиків природних катастроф, зокрема сейсмічного ризику.

Сейсмічний ризик. Перші роботи, присвячені проблемі сейсмічного ризику, з'явилися в 70-х рр. ХХ ст., їхніми авторами були Р. Уїтмен і С. Корнелл. Важливі результати були представлені Г. Коффом у 1990–1996 рр. і А. Рагозіним у 1993–1994 рр. Значний внесок у теорію та практику оцінювання сейсмічного ризику зроблено дослідженням В.Г. Алказа (для Республіки Молдова). Для територій розміщення атомних електростанцій (АЕС) України аналіз та визначення рівнів сейсмічного ризику не проводилися. Результати щодо визначення сейсмічної небезпеки як складової частини сейсмічного ризику територій розміщення АЕС України, належать О.М. Харитонову, Б.Г. Пустовітенко, О.В. Кендзері, В.Д. Омельченку, О.М. Сафронову та ін.

Проблеми безпеки, аналізування та зниження ризику охоплюють усі види техногенної діяльності та катастрофічні природні явища, серед яких одним із найнебезпечніших є землетруси.

Забезпечення сталого розвитку України неможливе без дослідження безпеки територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів, аналізування можливих джерел ризику, шляхів і наслідків розвитку ризикових явищ. У зв'язку з цим у даній роботі наводиться методика аналізування та оцінювання сейсмічного ризику територій для розміщення майданчиків потенційно небезпечних об'єктів.

Сейсмічна небезпека

Західні, південно-західні та південні області України розташовані на окраїні потужного Середземноморсько-Альпійсько-Трансазійського сейсмогенного поясу планети. На території України є райони де згідно із сучасними уявленнями можуть відбуватися землетруси з інтенсивністю вищою, ніж була зазначена чинною до 2006 р. нормативною картою загального сейсмічного районування (ЗСР) СР-78. До них віднесено частину території Криму, Передкарпаття, Закарпаття, Чернівецької, Одеської, Вінницької, Кіровоградської, Тернопільської, Хмельницької областей та північної частини Львівської області.

Знання параметрів сейсмічної небезпеки потрібно для ефективної організації сейсмічного захисту державними органами, суб'єктами господарювання, власниками будинків і споруд.

Комплект нових карт ЗСР території України, що в загальних рисах описує сейсмічну небезпеку території країни, увійшов складовою частиною до Державних будівельних норм ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України". Комплект включає три карти "А", "В" і "С", на яких показано зони прогнозованої інтенсивності (бальності) максимальних сейсмічних струшувань, яка з імовірністю відповідно 90, 95 і 99 % не буде перевищена за найближчі 50 років. Карти вказують на рівень сейсмічної небезпеки в балах шкали MSK-64. Вони призначені для довгострокового соціально-економічного планування, раціонального землекористування, прийняття адміністративних і технічних рішень щодо забезпечення стабільної експлуатації існуючих споруд і розміщення нових.

Сейсмічна небезпека є об'єктивною характеристикою ділянки території, що описує рівень загрози виникнення на ній сильних землетрусів. Сейсмічна небезпека залежить від природних умов ділянки: відстані до вогнищевих зон, параметрів максимальних землетрусів, здатних реалізуватися в цих зонах, їхньої повторюваності в часі, місцевих ґрунтових умов, рельєфу, наявності розломних тектонічних структур, спектрального складу коливань тощо.

З огляду на суттєву неоднозначність співвідношення "бал – прискорення" найнадійніше сейсмічну небезпеку конкретних ділянок території задають за допомогою розрахункових акселерограм, що являють собою прогнозні моделі поведінки в часі повного вектора при-

скорень у коливаннях ґрунту цих ділянок під час максимальних імовірних землетрусів.

Унаслідок природних постійних змін геодинамічної ситуації, що призводить до відповідних змін напружено-деформованого стану геологічного середовища в основі споруд, а також завдяки одержанню нових геолого-геофізичних даних і методик визначення рівня сейсмічної небезпеки постає необхідність регулярно поновлювати карти ЗСР території країни.

Роботи зі створення карт ЗСР передбачають проведення сейсмічних спостережень з уточнення місцевої сейсмічності, польових макросейсмічних досліджень, вивчення параметрів сейсмічного режиму і сейсмічної небезпеки, виділення та ідентифікацію сейсмоактивних структур, визначення параметрів їхнього сейсмічного режиму, а в підсумку – розрахунок створюваного ними сейсмічного ефекту на земній поверхні.

Дослідження для мети ЗСР передбачають також вивчення геологічної будови верхніх шарів земної кори, глибинної структури літосфери, сучасної геодинаміки, регіональної сейсмотектоніки та інженерно-геологічних умов у різних регіонах країни.

Аналіз світового досвіду розв'язання проблеми сейсмічного захисту показує, що в різних країнах державні органи по-різному залучаються до його організації. Навіть у деяких країнах з високим рівнем сейсмічної небезпеки (Туреччина, Пакистан, Мексика та ін.) державні органи делегують вирішення питань сейсмічного захисту місцевим органам, інвесторам і власникам споруд. У той же час, досвід таких катастрофічних землетрусів як: 26.12.04 поблизу Північної Суматри ($M_w = 9,0$) та 08.10.05 на кордоні між Пакистаном та Індією ($M_w = 7,8$) показав, що надія на розуміння проблеми сейсмічного захисту та відповідальне ставлення до неї з боку інвесторів і власників будинків і споруд на практиці не справджується. У разі виникнення сильних землетрусів традиційна економія на сейсмічному захисті призводить до значних людських жертв і матеріальних втрат, компенсувати які доводиться державі, тобто усім платникам податків, замість того, щоб інвестори та власники споруд завчасно вкладали незрівнянно менші кошти в сейсмостійке проектування нових і підвищення сейсмостійкості існуючих об'єктів.

Захист від землетрусів (сейсмічний захист) являє собою вид діяльності, скерований на зменшення ризиків, пов'язаних із землетрусами (сейсмічних ризиків). Він включає комплекс правових, соціальних, економічних, освітніх, організаційних, наукових, інженерно-технічних, інших спеціальних заходів, які необхідно втілити в життя для

зниження потенційних людських, матеріальних та інших втрат при прогнозованих сильних землетрусах.

Імовірність і величина збитку від руйнування (повного або часткового) конкретного об'єкта, втрати його експлуатаційних властивостей або порушення діяльності в разі максимальних прогнозованих сейсмічних впливів іменують сейсмічним ризиком об'єкта.

Сейсмічний ризик залежить від рівня сейсмічної небезпеки майданчика розміщення об'єкта та його сейсмічної вразливості.

Сейсмічна вразливість характеризує здатність об'єкта протистояти сейсмічним впливам різної величини. Методика визначення вразливості задається Державними будівельними нормами "Будівництво в сейсмічних районах". Оцінка вразливості будівель і споруд являє собою прогнозування їхньої поведінки в разі максимального землетрусу, що може відбутися на території розміщення за час існування.

Будівельні ділянки в Україні характеризуються розмаїтістю ґрунтових, геологічних, гідрогеологічних і кліматичних умов.

У Криму, Прикарпатті, Донбасі, Одеській, Хмельницькій і Дніпропетровській областях зафіксовано понад 130 тис. зсувів, що охоплюють площу близько 5 тис. км². Від зсувних процесів потерпає до 60 % морського узбережжя.

Понад 60 % території України охоплюють процеси карстоутворення, у тому числі на 27 % проявляється відкритий карст (АР Крим, Вінницька, Волинська, Донецька, Луганська, Львівська, Миколаївська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька області). Ділянки відкритого карсту особливо великі у Волинській (594 км²), Рівненській (214 км²), Хмельницькій обл. (4 тис. 235 км²).

Природні умови будівництва в багатьох областях ускладнюються катастрофічними затопленнями, що охоплюють 8,3 тис. км² (1,3 %). До них відносять водопропускні споруди річок Дніпро, Дністер, Південний Буг, Північний Донець, до зони впливу яких потрапляють 636 населених пунктів і 470 промислових об'єктів.

Досвід країн і територій, де протягом останніх десятиріч відбувалися землетруси, свідчить, що несприятливі інженерно-геологічні процеси: підтоплення, зсуви, карстоутворення, розрідження ґрунту посилюють негативні наслідки землетрусів. Руйнування будівель і споруд може відбутися не лише від сейсмічних поштовхів інтенсивністю 7–9 балів, але й від менш значних землетрусів, з інтенсивністю 5–6 балів.

Уточнення рівня сейсмічної бальності територій населених пунктів і окремих будівельних ділянок з урахуванням локальних ґрунтових умов та інших чинників, здатних підсилити сейсмічні впливи, здійснюється шляхом проведення комплексу робіт із сейсмічного мікрорайонування.

Існуючі у світі сучасні ефективні концепції сейсмічного захисту включають: оцінювання сейсмічної небезпеки і ризику; зниження вразливості населених районів шляхом підвищення сейсмостійкості будівель і споруд існуючої забудови; розроблення і впровадження в дію норм сейсмостійкого будівництва, адекватного сейсмічній небезпеці; контроль за сейсмостійким будівництвом і за правильною експлуатацією будівель і споруд; підвищення обізнаності населення шляхом освіти і навчання; раннє сповіщення про факт виникнення сильного землетрусу і швидке реагування на нього; допомогу, відновлення і реабілітацію потерпілого населення і районів; страхування від наслідків землетрусів.

Відповідно до сформульованої таким чином концепції сейсмічного захисту, роботу з підготовки споруд, об'єктів і територій до майбутніх землетрусів мають здійснювати за власні кошти їхні власники і органи місцевого самоврядування. Держава, представлена центральними органами влади, має забезпечити достовірну та уніфіковану інформацію про кількісні параметри сейсмічної небезпеки у формі карт загального сейсмічного районування (ЗСР) території країни і бази цифрових записів коливань ґрунту, що спостерігають під час місцевих і віддалених землетрусів у різних її регіонах, а також сформулювати законодавство, яке б стимулювало впровадження (власниками і розпорядниками об'єктів) інженерних заходів з пониження рівня сейсмічного ризику.

Сейсмостійкість споруди забезпечується вибором сприятливого у сейсмічному відношенні будівельного майданчика, розробкою раціональної конструкції споруди та застосуванням спеціальних проектних заходів, що підвищують міцність і монолітність несучих конструкцій, створюють можливість розвитку в конструктивних елементах і вузлах пластичних деформацій. Суттєве значення для підвищення сейсмостійкості споруд має висока якість будівельних матеріалів і робіт.

При будівництві важливих і нетипових (експериментальних) багатопверхових споруд результати вивчення сейсмічної ситуації і розрахункових сейсмічних впливів, що проводять у передпроектний період, мають доповнюватися постійним контролем сейсмостійкості споруди в процесі експлуатації і супроводжуватися контролем стабільності сейсмічної ситуації на будівельному майданчику. Метою цих досліджень є одержання об'єктивних даних, необхідних для впевненості в надійності споруди, а також для оперативного розроблення інженерно-технічних заходів щодо зміцнення ослаблених конструкцій (у разі потреби). Важливою метою післяпроектних спостережень є також одержання об'єктивних даних для уточнення вимог майбутніх редакцій Державних будівельних норм і створення нових методик

сейсмостійкого проектування важливих споруд, що мають постійно вдосконалюватися з урахуванням нових сейсмологічних знань, будівельних технологій та матеріалів.

Одним із завдань, що вирішувалися в даній роботі, є розроблення методики дослідження сейсмічного ризику на основі існуючих підходів до визначення параметрів сейсмічної небезпеки з урахуванням вразливості територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів на прикладі АЕС України.

На платформній частині території України розташовані і перебувають в експлуатації потенційно небезпечні об'єкти, під час проектування яких не проводили необхідного, з погляду сучасних уявлень, урахування геолого-геофізичних особливостей територій їхнього розміщення, оскільки на час спорудження ці території вважали асейсмічними. За останні десятиріччя на давніх платформах планети було зареєстровано сотні потужних сейсмічних подій. Частина землетрусів проявилася і на західній частині Східно-Європейської платформи, що спростовує твердження про її асейсмічність і викликає необхідність вивчення потенційної сейсмічної небезпеки її території. З огляду на це не викликає сумніву актуальність пропонованих авторами методик аналізування та оцінювання сейсмічного ризику територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів.

На основі аналізу існуючих підходів до визначення оцінки сейсмічної небезпеки територій, дослідження моделей сейсмічного ризику потенційно небезпечних територій та об'єктів авторами монографії розроблено оригінальну методику аналізування та оцінювання сейсмічного ризику. Основою методики є використання ризик-аналізу та ймовірнісного аналізу різноманітних складових безпеки і контролю за станом літотехнічної системи техногенно- і екологічно-небезпечних об'єктів.

Методика аналізування сейсмічного ризику

На прикладі АЕС проведено аналіз вимог і рекомендацій щодо визначення сейсмічної небезпеки територій їхнього розміщення щодо нових даних про сеймотектонічну активність платформ і уточнення даних сейсмічного районування (зміна величини очікуваної бальності є суттєвим критерієм при визначенні сейсмічного ризику). Оскільки значна частина території України може бути охоплена безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій, під час вибору території для розміщення майданчиків АЕС рекомендовано враховувати додатковий показник – рівень сейсмічного ризику. З огляду на це в монографії обґрунтовано необхідність розширення обсягів режимних спостережень за сейсмічними подіями і пов'язаними з ними явищами. Отримані на станціях сейсмічних мереж експериментальні дані бу-

дуть використовувати для розроблення заходів щодо забезпечення сейсмостійкого проектування потенційно небезпечних об'єктів, у тому числі АЕС і сховищ радіоактивних відходів, на території України.

Зв'язки з науковими напрямами. Монографію підготовлено в межах фундаментальних і прикладних держбюджетних науково-дослідних тем Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, що належать до пріоритетних напрямів фундаментальних і прикладних наукових досліджень. У роботі використано дані геолого-геофізичних і сейсмологічних досліджень Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, Київського інституту інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект" і Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України, розробки кафедри геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Автори виносять подяку інженерам 1 категорії НДЧ геологічного факультету Л.П. Андрієвській за допомогу в підготовці тексту до друку та О.В. Заславській за допомогу в підготовці ілюстративного матеріалу.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЕС	Атомні електростанції
АЗ	Автоматичний захист
АТС	Автоматична телефонна станція
ВВЗ	Виникнення вогнища землетрусу
ВВП	Внутрішній валовий продукт
ГЕОН	Центр регіональних геофізичних і геоекологічних досліджень ім. В. В. Фединського
ГЕС	Гідроелектростанції
ГУГК при Раді Міністрів СРСР	Головне управління геодезії і картографії
ГЦСК НКА України	Головний центр спеціального контролю Національного космічного агентства України
ДГС	Державна геологічна служба
ДП КПВД "Енергопроект"	Державне підприємство Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект"
ДСР	Детальне сейсмічне районування
ЗСР	Загальне сейсмічне районування
ІГФ НАНУ	Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
ЛТС	Літотехнічна система
МАГАТЕ	Міжнародне агентство з атомної енергії
МРЗ	Максимальний розрахунковий землетрус

НДІ	Науково-дослідний інститут
НДЧ	Науково-дослідна частина
ПЗ	Проектний землетрус
ПУАЕС	Південно-Українська АЕС
РАЕС	Рівненська АЕС
РГВ	Рівень ґрунтових вод
СЄП	Східно-Європейська платформа
СМР	Сейсмічне мікрорайонування
СР	Сейсмічне районування
ХАЕС	Хмельницька АЕС
ЧАЕС	Чорнобильська АЕС
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory
MSK-64	Сейсмічна шкала Medvedev-Sponheuer-Karnik

РОЗДІЛ 1

ГЕОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК СКЛАДОВА ЗАГАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Сьогодні дослідженням і спостереженням за станом довкілля в Україні приділяють значну увагу. Починаючи з перших років незалежності, прийнято близько 50 нормативних актів (законів, міжнародних угод, постанов Кабінету Міністрів, наказів міністерств та комітетів), що певною мірою мають відношення до розв'язання цієї проблеми. За [175] державна система моніторингу довкілля – це система спостережень, збирання, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробка науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Основною метою і завданням системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля;
- аналізування екологічного стану довкілля та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;
- інформаційне обслуговування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення екологічною інформацією населення країни і міжнародних організацій.

В основу організації моніторингу окремими міністерствами та відомствами покладено контроль за станом атмосфери; поверхневих, підземних та морських вод; ґрунтів; ландшафтів; наземних, водних і морських екосистем; звалищ промислових і побутових відходів; стічних вод міської каналізаційної мережі та очисних споруд; підтоплення міст і селищ міського типу; джерел викидів і скидів забруднювальних речовин; об'єктів поховання радіоактивних відходів; фізичних чинників (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація тощо); радіаційного стану; ендогенних та екзогенних процесів; геофізичних полів (фонові та аномальні значення); стихійних і небезпечних природних явищ; рослинного покриву земель; зелених насаджень у містах

і селища міського типу; зрошуваних і осушених земель; берегових ліній річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд; сільськогосподарських рослин і продуктів із них; сільськогосподарських тварин і продуктів із них; лісової рослинності; мисливської фауни.

Суб'єкти системи моніторингу забезпечують удосконалення підпорядкованих їм мереж спостережень за станом довкілля, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів і систем контролю, створення банків даних для їхнього багатоцільового колективного використання за допомогою єдиної комп'ютерної мережі, що забезпечує автономне і спільне функціонування складових цієї системи та взаємозв'язок з іншими інформаційними системами, які діють в Україні і за кордоном.

Крім цього, підприємства, установи та організації незалежно від їхнього підпорядкування і форм власності, діяльність яких призводить чи може призвести до погіршення стану довкілля, зобов'язані здійснювати екологічний контроль за виробничими процесами та станом промислових зон, збирати, зберігати та безоплатно надавати дані і/або узагальнену інформацію для її комплексної обробки.

Попередження про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ, визначення оцінки їхнього розвитку і можливих наслідків покладається на:

➤ Гідрометком – метеорологічні, гідрологічні та геліогеофізичні явища на суші й на морі;

➤ Державну геологічну службу (ДГС) – екзогенні та ендегенні геологічні процеси.

Потрібно відмітити, що контроль за рівнями фізичних чинників покладено на Міністерство охорони здоров'я, а за геофізичними полями – на ДГС.

Щодо розвитку державної політики з приводу організації моніторингу довкілля прийнято:

➤ Положення про моніторинг земель [173];
➤ Порядок здійснення державного моніторингу вод [189];
➤ Порядок організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря [190];

➤ Система радіаційного моніторингу та раннього оповіщення ГАММА [188].

Крім цього, ратифіковано міждержавні угоди та рішення стосовно організації екологічного та сейсмологічного моніторингу на території держав – учасниць СНД [204, 220].

Особливу увагу необхідно приділити приєднанню України до Монреальського протоколу (охорона озонового шару та припинення викидів озоноруйнівних речовин) і Міжнародної конвенції ООН

з глобальної зміни клімату (обмеження викидів в атмосферу парникових газів) [148].

Цими документами визначають основні напрями контролю за станом окремих об'єктів довкілля, ступенем їхнього забруднення, кількість і види забруднювальних речовин, величина викидів або скидів яких підлягає контролю.

Незважаючи на значне коло суб'єктів державної системи моніторингу та покладену загальну координацію на Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, нині немає ефективного інформаційно-аналітичного центру зі збирання, систематизації, обробки інформації про стан довкілля, а тим більше – прогнозу та попередження небезпечних процесів і явищ, визначення оцінки їхнього загального впливу на стан територій та регіонів. З аналізу національних звітів про стан навколишнього природного середовища можна зрозуміти, що основні висновки зроблено на основі механічних порівнянь даних за декілька останніх років без комплексної оцінки їх і без спроб не тільки управляти подальшим екологічним станом довкілля, а й без розробки хоча б якихось надійних сценаріїв розвитку ситуації.

Сьогодні систему моніторингу умовно можна поділити на декілька практично незалежних частин:

1. Контроль за станом довкілля за такими напрямками:

- атмосферне повітря;
- водні ресурси;
- земельні ресурси;
- надра;
- відходи;
- військові об'єкти;
- екологічний контроль вантажів і транспортних засобів у пунктах пропуску через державний кордон України;

2. Радіаційний моніторинг:

- об'єктів атомної енергетики;
- джерел іонізуючого випромінювання в народному господарстві;
- поводження з радіоактивними відходами;
- стану уранодобувної та переробної промисловості;
- радіоактивного забруднення атмосферного повітря, води, ґрунтів, зони відчуження Чорнобильської АЕС та інших зон радіоактивного забруднення.

3. Сейсмічний моніторинг:

- загальне сейсмічне районування (ЗСР) території України з метою визначення базової сейсмічної бальності;
- локальний сейсмічний моніторинг потенційно небезпечних об'єктів;

➤ сейсмічне мікрорайонування (СМР) для вирішення завдань будівництва;

➤ визначення місця, інтенсивності джерел землетрусів і вибухів з підвищеним тротиловим еквівалентом.

Окремо, відповідно до міжнародних конвенцій, ратифікованих Україною, проводять:

4. *Моніторинг озонowego шару.*

5. *Моніторинг кількості викидів і видів парникових газів.*

Це далеко не повний перелік. Наприклад, практично незалежним від усіх інших напрямів є сейсмічний моніторинг, історія якого на території України вже налічує понад 100 років [46, 74, 89, 174, 191].

На всіх цих напрямках важко переоцінити роль геофізичних методів, що широко застосовують як інструмент дослідження у дистанційних методах зондування Землі й космічного простору, дослідженнях складу, фізичних характеристик атмосфери, водних ресурсів, ґрунтів, надр, напружено-деформованого стану гірських масивів, їхньої геологічної та тектонічної будови, у лабораторних методах визначення елементного складу будь-яких сполук і матеріалів. Особливо слід звернути увагу на бурхливий розвиток в останні роки методів математичного моделювання ефективних геофізичних параметрів, що дає змогу віднайти найбільш чутливі параметри для контролю за станом геологічного середовища [186–187].

Відмічено, що тепер найактуальнішими є прогнозування та відвернення загроз [184]:

➤ стихійних явищ, особливо космічного та ендегенного походження (землетруси, астероїдна безпека, сонячна активність, інверсії земного магнітного поля, вулканізм, тайфуни, цунамі тощо) [46, 89, 150, 179, 226];

➤ небезпечних геологічних процесів екзогенного походження (зсуви, ерозія, абразія, карсти, суфозія, провали, просідання, підтоплення тощо). Цим процесам можна запобігти за певної організації контролю за їхнім розвитком;

➤ техногенних катастроф (аварії на підприємствах атомної енергетики, хімічних, нафтопереробних підприємствах, трубопроводах, транспорті, інших об'єктів промисловості), що необхідно і можна прогнозувати і запобігати, якщо створити надійні системи моніторингу і засоби захисту населення;

➤ техногенно підсилених явищ (парниковий ефект, порушення озонowego шару, зміна теплового і сольового складу підземних і поверхневих вод тощо). Попередження цих загроз можливе в більшості випадків лише на міжнародному рівні із залученням фахівців і зусиль усього світового співтовариства.

1.1. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ГЕОФІЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Небезпечні геологічні процеси, у першу чергу, прийнято розглядати через призму можливого негативного впливу на діяльність і життя людей і як причину природних катастроф.

Природні катастрофи – це явища, що загрожують життю людей і довкіллю, безпечній експлуатації інженерних споруд. Вони виникають унаслідок порушення стійкості природного середовища. В основі природних катастроф лежать закономірні геологічні та геофізичні процеси, у ході яких час від часу за суттєвого впливу випадкових чинників виникають флуктуації, тобто відхилення від середнього (фонового) стану середовища. Ці відхилення є першими необхідними, але недостатніми умовами виникнення природної катастрофи. Природна катастрофа – це результат екстремальної геолого-геофізичної ситуації, за якої внаслідок несприятливих природних і техногенних умов виникають загрозові чинники. Як правило, такими загрозовими чинниками є швидкий рух частинок і переміщення структурних елементів геологічного середовища, повітря, води тощо. На перебіг локальних і регіональних природних процесів впливають глобальні геодинамічні чинники та події, що відбуваються в оболонках Землі (земній корі, мантії та ядрі); космічні чинники і техногенна діяльність [184]. Вони можуть або самі спричиняти, або прискорювати природні катастрофічні явища. Важливою особливістю природних процесів є їхній циклічний незворотний характер [11, 179, 184].

Для боротьби з негативними наслідками катастроф використовують два шляхи: передбачення і запобігання. Кожний з них має свої позитивні й негативні аспекти. На жаль, сьогодні загальновизнаних методів оцінки потенційної небезпеки не існує.

Основна причина – відсутність фундаментальної теорії еволюції Землі, не зовсім достовірні знання про структуру, речовинний склад і напружений стан геологічного середовища. Крім того, невідомі основні чинники та закономірності, що під час нормального перебігу процесів несподівано спричиняють стрибкоподібні зміни стану речовини або швидкості природних процесів. Надзвичайна складність проблеми зумовлена тим, що для її розв'язання потрібно враховувати широкий спектр природних і техногенних чинників на різних структурних рівнях дослідження: локальному, регіональному і глобальному.

Досвід дослідження небезпечних природних процесів показує, що стихійні явища теоретично можна прогнозувати, але практично їм не можна запобігти. Небезпечні геологічні процеси екзогенного походження (зсуви, ерозія, абразія тощо) і техногенні катастрофи можна прогнозувати і запобігати їм, якщо створити надійні системи моніторингу і засоби захисту. Проте досвіду комплексного дослідження взаємодії природних і техногенних процесів, ураховуючи глобальну, регіональну та локальну складові, в Україні сьогодні практично немає.

Більшість наявних систем геофізичного моніторингу (найбільш розвинутими з них є системи сейсмічного моніторингу) орієнтовані на спостереження за окремими параметрами середовища та інформування зацікавлених структур про їхні зміни; рідше реалізують прогноз і роблять спробу розробити сценарії розвитку ситуації залежно від прийнятих управлінських рішень [17, 250, 255].

Ураховуючи комплексний характер впливів і взаємний зв'язок параметрів, контроль за якими покладено на різні організації та відомства, можливим варіантом розв'язання цієї проблеми є створення національних центрів інформації. Такі центри функціонують у провідних країнах. В Україні на базі Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут" розпочалося створення Українського відділення "Світового центру даних" на правах аналогічного філіалу російського центру. Але, без залучення провідних фахівців з різних організацій, він буде функціонувати лише на рівні механічного збирання різнопланових даних.

1.1.1. Сейсмічний моніторинг

Сейсмічний моніторинг є складовою частиною геофізичного моніторингу, що забезпечує контроль характеристик сейсмічних коливань від різноманітних джерел природного і техногенного походження. Він дозволяє оцінити їхній вплив на конструкції й споруди об'єктів. Сучасну організацію сейсмічного моніторингу в Україні та в деяких розвинутих країнах наведено в роботах [45, 89].

Ураховуючи значний вплив землетрусів на розвиток сучасної цивілізації, величезні розміри збитків, яких кожного року зазнають різні країни від їхньої руйнівної дії, сейсмічний моніторинг історично виділяють окремо. Перша сейсмічна станція на території України була організована в 1899 р. Сейсмологічною комісією Австро-Угорської Академії наук у м. Львові на базі Астрономо-метеорологічної обсерваторії

Львівської політехніки. На даний час основу сейсмологічної служби України становить мережа сейсмічних і геофізичних станцій Національної академії наук України.

Аналізуючи значний період часу, протягом якого на держаному рівні займаються сейсмічним моніторингом, можна назвати його найбільш розвинутим теоретично, методологічно та апаратурно. Напрацьовано великий обсяг статистичних матеріалів щодо кількості, інтенсивності, місць проявів сейсмічних подій і робляться спроби встановлення їхнього зв'язку з іншими геофізичними параметрами [122, 211]. Найбільш розвинуто сейсмічні спостереження в Карпатському та Кримському регіонах України [34, 195]. Значний внесок у розвиток методологічної, методичної та апаратурної бази сейсмічних спостережень на території України зробили В.А. Дядюра [67–70], О.В. Кендзера [76, 89, 92–93], Г.І. Кузьменко [109–112], В.Е. Кульчицький [114–115], Б.Г. Пустовітенко [195], О.А. Харитонов та ін. Є вдалі приклади застосування сейсмічних спостережень для моніторингу геодинамічного стану і прогнозу небезпеки землетрусів, зокрема розроблені ГЕОНОм [99, 222]. В Україні протягом останніх років окремими вченими і організаціями розробляються моделі активного і пасивного сейсмічного моніторингу [53, 136–137].

Незважаючи на певні досягнення, землетруси є природним стихійним лихом, що не піддається прогнозуванню. Хоча майбутні землетруси є неминучими, але катастрофічні втрати, що виникають у результаті цього, можуть бути суттєво зменшені. Це можливо завдяки проведенню відповідних заходів щодо реагування та інформування про виникнення надзвичайних ситуацій. Проведення ефективних дій з послаблення катастрофічних впливів землетрусів містить у собі довгострокові та комплексні процедури [260, 316].

Сейсмічний моніторинг є необхідним для попередження сейсмічної небезпеки, її оцінювання і дослідження.

Інформація стосовно ймовірного рівня і характеру струсу ґрунту, що може очікуватися в будь-якій частині території в результаті можливого землетрусу, цілком залежить від даних сейсмічного моніторингу. Ця інформація, у свою чергу, є базисною для розробки рекомендацій з проектування і будівництва в сейсмонебезпечних районах (зонах можливих землетрусів), а також рекомендацій щодо експлуатації комплексу потенційно небезпечних об'єктів, що формувалися десятиліттями.

Реєстрація сильних ґрунтових переміщень у геологічних структурах і на поверхні землі як безпосередньо близько від джерел землетрусу, так і з віддаленням від них, є важливою для розробки критеріїв без-

пеки, ефективного проектування і функціонування усіх типів об'єктів, включаючи будинки і споруди, мости, автостради, аеропорти, комунікації, дамби, нафто- і газопроводи та інші важливі споруди.

Урахування інформації щодо можливих інтенсивностей сейсмічних подій, постійний моніторинг та уточнення рівнів сейсмічного ризику дозволяє забезпечити сейсмічну безпеку об'єктів.

1.1.2. Застосування геофізичних методів для контролю за геологічним середовищем на території розташування небезпечних промислових об'єктів

Поряд із сейсмічними методами дослідження одними з найбільш інформативних є електромагнітні методи. Їх широко застосовують для контролю за екзогенними процесами і вирішення завдань гідрогеології та інженерної геології [18, 113, 170, 249].

Окремо необхідно виділити проведення моніторингового та режимного геофізичного вивчення територій розташування промислових майданчиків АЕС України. Такі дослідження проводять на промислових майданчиках Рівненської, Хмельницької, Запорізької та Південно-Української АЕС [39, 92, 125, 168]. Визначають властивості ґрунтів, активність розломів і тектонічних порушень. Більшість досліджень носять спостережний характер, практично відсутні роботи, що ставлять за мету прогнозування та управління ситуацією.

Останнім часом активно розвивається напрям контролю за середовищем, пов'язаний зі сховищами радіоактивних (РАВ) і високотоксичних відходів [10, 19, 72, 77, 87–88, 102, 118–119, 239]. Геофізичні методи тут застосовують на всіх стадіях – від вибору пунктів розміщення до контролю за станом сховищ після їхньої консервації [44]. Беручи до уваги величезні запаси радіоактивних і високотоксичних відходів, що накопичилися на території України, дана проблема потребує нагального розв'язання уже найближчим часом.

Для України актуальним питанням є контроль за змінами довкілля навколо великих гідротехнічних споруд. Цій проблемі присвячено низку досліджень як у нас у країні, так і за кордоном [30, 93, 126].

Традиційним є використання геофізичного дослідження для контролю за екологічним станом середовища під час розробки рудних родовищ корисних копалин [35], у роботі підприємств нафтогазового комплексу та нафтогазотранспортної системи [159, 198], у попередженні розвитку негативних інженерно-геологічних процесів [124, 140, 146, 198], в еколого-геологічному картуванні [235, 237].

1.1.3. Методологічні і теоретичні підходи до геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища

За останні роки якісно змінилися підходи до застосування геофізичних методів для оцінювання різних природних і техногенних процесів, вивчення екологічного стану територій. Уведені поняття *екологічної геофізики, екогеофізичних аномалій, екогеофізичних полів* [22].

Сьогодні рівень теоретичного й апаратурно-методичного забезпечення інтерпретаційної бази геофізичних спостережень, що застосовується для моніторингу геологічного середовища, є недостатнім. Це, у першу чергу, пояснюється тим, що для завдань моніторингу застосовуються без особливої адаптації технології геофізичних досліджень, розроблені для пошуків родовищ корисних копалин. Очевидні та обмежені можливості наукової парадигми сучасної геофізики. Вона ґрунтується на структурно-геологічному принципі, згідно з яким розподіл фізичних властивостей геологічного середовища контролюється його статичною структурою і речовинним складом. Суть її у загальному вигляді сформульована В.М. Страховим [226]: формалізація + системний підхід + критерії оптимальності + автоматизація. Оцінка продуктивності її достатньо неоднозначна навіть при вирішенні типових задач розвідувальної геофізики. Теорія та методи інтерпретації геофізичної інформації нині переживають період "панування ранньої комп'ютерної епохи", для якого характерним є "зрощування" методів комп'ютерної обробки та геологічної інтерпретації, поява комп'ютерних систем інтерпретації, що претендують на побудову змістовних моделей геологічного середовища. Згідно з новою науковою парадигмою геофізики, запропонованою в роботі [183] і розвинутою в [36], фундаментальними властивостями геологічного середовища є його дискретність (блочність, ділімість), наявність макро- і мікротріщин, розломів та ієрархізована субпідрядність структурних рівнів. Воно являє собою трифазну речовину (тверду, рідинну та газоподібну) і постійно перебуває під дією напружень і температур. Основним інструментом теоретичного та експериментального дослідження геологічного середовища є нелінійна динамічна модель багатокомпонентного стохастичного середовища.

Поняття геологічного середовища, введене в роботах Г.Т. Продайводи, С.А. Вишви і прийняте в цій роботі, у методологічному відношенні принципово відрізняється від класичного загальноприйнятого фізичного визначення матеріального середовища [180]. Його розглядають як

сукупність матеріальної речовини (мінеральної, гірськопородної, геоформаційної тощо), а також геодинамічних процесів і геофізичних полів (внутрішніх і зовнішніх). Природним атрибутом такого середовища є динамічний напружено-деформований та термопружний стан. Ієрархізована супідрядність структурних елементів забезпечує можливість саморегулювання процесів енерго- та масообміну в геологічному середовищі. Процес формування ієрархізованих структур сприяє ефективному розсіюванню енергії, що постійно надходить.

Небезпечні природні процеси в такому середовищі виникають унаслідок динамічної взаємодії ієрархізованих структурних неоднорідностей різного масштабу. Вони контролюються певними механізмами: ростом і виникненням мікро- та макротріщин, зміною об'єму пустотного простору, фільтрацією флюїдів і газів, механізмами деформації й градієнтами температур. Разом ці механізми перетворюють геологічне середовище на динамічну нелінійну геосистему, де неминуче мають відбуватися процеси самоорганізації й дисипації енергії. Такі відкриті динамічні нелінійні геосистеми є термодинамічно нерівноважними системами, що здатні накопичувати і трансформувати енергію. Процеси, що відбуваються у геологічному середовищі, мають багаторівневий, циклічний незворотний характер і широкий релаксаційний спектр процесів з різними часовими змінами. Причому "фонові" динамічні зміни раптово супроводжуються нестійкістю і швидкоплинними стрибкоподібними змінами параметрів. Контролювати поведінку такої геосистеми за допомогою класичної структурно-геологічної моделі і традиційних технологій польових геофізичних спостережень практично неможливо. Про це свідчить і багаторічний досвід геофізичного дослідження природних катастроф на основі емпіричного узагальнення і ретроспективного аналізу та аналогій в межах лінійних моделей.

Основною перешкодою до забезпечення ефективного прогнозування є нестационарність багатьох нелінійних процесів і недостатній рівень знань причинно-наслідкових залежностей [195].

Можна навести один з відомих прикладів пошуків провісників землетрусів [11]. Протягом багатьох років більшість дослідників вважали, що надійним провісником землетрусів є так звані "бухтоподібні" зміни сейсмічних параметрів на часових графіках. Але детальні дослідження показали, що в багатьох випадках землетруси і "бухти" не пов'язані один з одним. Виявилося, що "бухтоподібні" зміни частіше є не провісниками землетрусів, а фрагментами фону, зумовленого конструктивною суперпозицією часових варіацій різної періодичності.

Природні процеси відбуваються під дією великої кількості чинників. Виділити регулярну і флуктуаційну складові процесу та закономірності їхніх часових змін дуже важко. Формально інтенсивність природного процесу можна подати у вигляді деякої функції $A(t)$, що є суперпозицією трьох складових:

$$A(t) = A_p(t) + A_n(t) + A_b(t), \quad (1.1)$$

де $A_p(t)$ – регулярна складова; $A_n(t)$ – повільні зміни; $A_b(t)$ – короткоперіодичні варіації.

Щоб виділити у поведінці складного природного процесу $A(t)$ регулярну складову, потрібно перейти від координат " $A(t) - t$ " до " $A(t)/dA - dt$ ", тобто від координат "інтенсивність – час" до координат "інтенсивність – швидкість зміни інтенсивності процесу". Очевидно, точка в такому просторі визначає стан природного процесу в конкретний проміжок часу і швидкість зміни цього стану. Послідовність точок або траєкторія саме і визначає зміну інтенсивності природного процесу протягом проміжку часу. Таким чином, необхідно перейти до фазового простору. Шляхом підбору фазовий простір можна описати математично, а потім здійснити обернене перетворення і знайти регулярну складову природного процесу. Статистична значимість прогнозу визначається флуктуаційною складовою та швидкістю зміни інтенсивності процесу, а також можливістю розпізнавання точок біфуркації траєкторій, тобто точок зміни ходу процесу. Цей приклад свідчить про очевидну потребу зміни методологічного підходу до геофізичного дослідження реальних природних процесів.

Авторами підтримується нова наукова парадигма геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів, згідно з якою геологічне середовище розглядають як відкриту динамічну нелінійну самоорганізовану геосистему, що постійно обмінюється із середовищем, що оточує її, енергією і речовиною. Така дисипативна геосистема ніколи не досягає рівноважного стану, а лише наближається до деякого стаціонарного стану [179–180, 183–184]. Геологічне середовище з позицій системного підходу розглядають як ієрархізовану геосистему різних структурних рівнів.

Математичне моделювання геофізичних процесів у геосистемах різних структурних рівнів з урахуванням напруженого стану і температури здійснюють у межах різномодульної багатокомпонентної нелінійної моделі із застосуванням математичного апарату механіки стохастичного середовища [186, 240]. Основна мета геофізичного моніторингу – діагностика стану геологічного середовища активними ме-

тодами геофізичної томографії, що аналогічні методам медичної та технічної томографії. Для практичної реалізації запропонованого підходу необхідно створити мережу активного геофізичного моніторингу (наземних, підземних сейсмічних і електромагнітних станцій, дистанційних космічних геофізичних станцій), яка б забезпечила синхронні чотиримірні геофізичні спостереження за станом природного середовища як на його поверхні, так і у внутрішніх точках на різних глибинах і в космічному просторі.

Використання вібраторів [2] як джерел пружних коливань має незаперечні переваги, оскільки лише вони здатні забезпечити практично ідеальну повторюваність дії, що необхідно для моніторингу напружено-деформованого стану і стійкості літосферних блоків. Системи спостережень забезпечують просторово-часовий контроль за змінами швидкостей хвиль, їхньої поляризації та затухання. Це дозволяє знайти чисельний розв'язок задачі чотиримірної сейсмічної томографії. Образно кажучи, йдеться про створення "сейсмічного" фільму про зміни стану земних надр.

1.1.4. Комплексна інтерпретація даних геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів

Комплексна інтерпретація даних активного геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів є однією із ключових проблем сучасної геофізики [2, 177]. Її розв'язок у межах існуючих інтерпретаційних геофізичних технологій, орієнтованих на стійкий зв'язок обчислювальних змістовних геофізичних задач [227–230], зіштовхується з непереборними труднощами, оскільки стійкий чисельний розв'язок лінійної оберненої геофізичної задачі ще не означає доказу адекватності отриманого результату реальному гетерогенному геологічному середовищу та його геодинамічному стану.

У даному підрозділі розглядається новий методологічний і теоретичний підхід до розв'язання цієї актуальної проблеми, розроблений у роботах Г.Т. Продайводи, С.А. Вижви, Б.П. Маслова. Він базується на розробці нелінійної багатокомпонентної моделі геологічного середовища, поняттях ефективних фізичних властивостей середовища і геофізичних томографічних функціоналів [185]. Поняття *томографічного функціоналу* вперше введено в роботах [207; 238].

1.1.4.1. Класичний підхід до визначення параметрів геологічного середовища геофізичними методами

Традиційний підхід до проблеми комплексної інтерпретації, викладений в роботах [54–55, 83, 105, 166, 225], базують на розв'язку прямих і обернених геофізичних задач у межах прийнятої моделі середовища і поля, а також на кореляційних взаємозв'язках між фізичними параметрами середовища і полями. На підставі цього вводять поняття комплексних моделей поля, розуміючи під цим систему припущень про залежності між фізичними властивостями, що обумовлюють фізичні поля, і геометричними параметрами середовища.

У задачах комплексної інтерпретації геофізичних полів $\Psi_1(\vec{x}), \Psi_2(\vec{x}), \dots, \Psi_N(\vec{x})$, обумовлених розподілом фізичних параметрів $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$, виділяють три типи комплексних моделей [54]:

1) модель типу S припускає існування залежності між величинами $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$ або геометричними параметрами $x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2)$, $x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2), \dots, x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2)$. Для цієї моделі не накладаються умови часткового або повного збігу областей $V_\phi, V_\phi, \dots, V_\phi$, що зайняті джерелами полів;

2) модель типу U припускає повний збіг фізичних параметрів вихідних моделей $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$ і областей $x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2)$, $x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2), \dots, x'_3 = h_\phi(x'_1, x'_2)$, а чисельні значення фізичних параметрів $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$ для них пов'язані функціонально або тісними статистичними залежностями $\Phi_1 = \phi(\Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_N)$;

3) модель типу M припускає наявність пов'язаних і незалежних параметрів моделей $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$.

Детальна типізація комплексних моделей нагтовхується на недостатню вивченість зв'язків між фізичними параметрами моделей $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$ для конкретних фізико-геологічних умов літосфери. Чисельний розв'язок задачі комплексної інтерпретації здійснюють методом підбору або методом сейсмогравітаційного моделювання [105]. У межах єдиної комплексної U -моделі, навіть у випадку збігу параметрів моделей $\Phi_1(\vec{x}), \Phi_2(\vec{x}), \dots, \Phi_N(\vec{x})$, методом підбору важко досягти введення нев'язок $\varepsilon_\psi, \varepsilon_\psi, \dots, \varepsilon_\psi$ між вимірюваними й обчисленими полями $\Psi_1(\vec{x}), \Psi_2(\vec{x}), \dots, \Psi_N(\vec{x})$. Потрібно також перебороти й труднощі, обумовлені багатокритеріальністю задачі, тобто необхідно знайти такі парамет-

ри моделей $\Phi_1(\bar{x}), \Phi_2(\bar{x}), \dots, \Phi_N(\bar{x})$, що мінімізують N функціоналів. Слід багатокритеріальну задачу звести до однокритеріальної [54] і мінімізацію здійснювати в межах лінійної згортки N функціоналів

$$\sum_{i=1}^N \theta_i \left\| \Psi_i^e(\bar{x}) - \Psi_i^r \left[\bar{x}, (\Phi_{ij}(\bar{x}')), h_\Phi(x'_1, x'_2) \right] \right\| = \min, \quad (1.2)$$

де θ_i – ваговий коефіцієнт, що характеризує внесок окремих фізичних полів.

1.1.4.2. Геофізична томографія

Розвиток методів геофізичної томографії забезпечує розв'язок задачі відновлення локальних фізичних властивостей досліджуваного середовища за зашумленими значеннями кінцевого набору томографічних функціоналів (у загальному випадку нелінійних) від полів параметрів середовища [207, 238, 317].

У томографічних інтерпретаційних задачах дистанційного геофізичного зондування головним є визначення спряженого простору лінійних функціоналів, що дозволяє дати прозору фізичну інтерпретацію структури функціоналів, які діють на тензорні поля невідомих геофізичних параметрів геологічного середовища, та забезпечує надійну фізичну інтерпретацію результатів дослідження.

На першому етапі розв'язку томографічної задачі дистанційного геофізичного зондування будують модель зв'язку між даними геофізичних спостережень і невідомими тензорними полями фізичних властивостей геологічного середовища. Шукані фізичні властивості середовища є елементами $(\Phi(\bar{x}))$ функціональних просторів (Φ) : $\Phi(\bar{x}) \in \Phi$.

Простір вимірів – це простір функціоналів (h_n) над полями зондувальних сигналів $\Phi \in G$, а математична модель вимірювань

$$U_n : V_n = H_n(\Phi) \langle h_n | \Phi \rangle, \quad (1.3)$$

де $h_n = \vec{h}(\bar{x}^{(h)}, t)$ – векторна функція, що визначається локалізацією

реєструвального приладу $(\bar{x}^{(h)})$, часовою залежністю апаратурної функції приладу і вектором просторової орієнтації приймача; $\langle \cdot | \cdot \rangle$ – символ скалярного добутку, що відповідає скалярному добутку векторів та інтегруванню за просторово-часовим інтервалом; $n = 1 \div N$ – кількість числових відліків приймальної системи; $(h_n) \in G^*$; V_n – об'єм середовища, в якому визначено потенціал U_n .

Геофізичний томографічний експеримент визначається відображенням функціональних просторів вимірювань: $\Phi(R^3) \rightarrow R^N$. Зареєстровані геофізичні дані, що містять похибки вимірів і завади, є функціоналами шуканих полів фізичних властивостей середовища:

$$U_n = P_n(\Phi) + \varepsilon_n, \quad (1.4)$$

де ε_N – шуми (завади та похибки вимірювань).

Процес розповсюдження геофізичного сигналу описує лінійний оператор L_ϕ :

$$L_\phi \bar{\phi} = \bar{S}, \quad (1.5)$$

де $\bar{\phi}$ – поле зондувального сигналу; \bar{S} – поле джерела;

$$L_\phi : L_\phi(\alpha\phi + \beta\psi) = \alpha L_\phi\phi + \beta L_\phi\psi. \quad (1.6)$$

Тут оператор L_ϕ визначає властивості середовища Φ . Отже, з математичної точки зору проблема інтерпретації даних геофізичного томографічного моніторингу зводиться до відновлення оператора L_ϕ за виміряними даними. Щоб отримати розв'язок, потрібно побудувати функцію $P_n \in \Phi^*$, спираючись на зв'язок $H_n(\phi(\Phi)) = P_n(\Phi)$ і закон розповсюдження (1.5).

Якщо в збурювальному операторі δL_ϕ виділити монотонну функцію $v(\delta\Phi)$, то інтегральне ядро функціонала відносно $v(\delta\Phi)$ називають томографічним функціоналом [238]:

$$P_n^v = \left\langle \bar{\phi}_{out} \left| S^v \right| \bar{\phi}_{in} \right\rangle_{T, \Omega}, \quad (1.7)$$

де $\bar{\phi}_{in} = \bar{\phi}$ – падаюче поле у відомому базовому середовищі;

$\Phi_0 : \bar{\phi}_0 : L_0 \bar{\phi}_0 = \bar{S}$, $L_0^* \bar{\phi}_{out} = \bar{h}_n$ – обернене поле, що "згенеровано" прий-

мачем; $S^v = \frac{\delta L_\phi}{\delta v}$ – оператор взаємодії полів ϕ_{in} і ϕ_{out} .

Томографічний функціонал визначає вплив усіх елементів геологічного простору на n -й відлік зареєстрованих геофізичних даних.

Слід звернути увагу на той факт, що в традиційній променевій томографії [178] томографічний функціонал є сингулярним і локалізується уздовж променю, що з'єднує джерело і приймач. У дифракційній томографії, навіть за умови застосування променевого підходу до описання полів ϕ_{in} і ϕ_{out} , кожний елемент об'єму геологічного середовища пов'язаний двома променевими траєкторіями: від приймача і від джерела. Методи обчислювальної томографії базують на методах

розв'язків задач інтегральної геометрії, коли дані (проекції) подають інтегралами від параметричних функцій на об'єктах меншої розмірності (промені, двомірні поверхні). У дифракційній томографії носії томографічного функціоналу належать простору R^3 .

Інформаційну ємність геофізичної томографії визначають перекриттям носіїв томографічних функціоналів. Іншими словами, інформація про один і той самий елемент об'єму міститься у всій послідовності вимірів. Виміри пов'язані як зі змінами локалізації групи джерел, так і з локалізацією орієнтацій приймачів і відліків динамічних полів.

Як показано в роботі [238], носій томографічного функціоналу в однорідному базовому середовищі локалізується в параболічному шарі, коли падаюче поле є плоскою хвилею, і в еліптичному шарі, коли падаюче поле є сферичною хвилею (за умови точкового приймача).

Таким чином, геофізичні томографічні функціонали, що мають зміст функцій впливу різних просторових областей геологічного середовища на геофізичне поле, яке реєструють (за обраної системи спостережень), дозволяє оцінити, якою мірою за заданої системи спостережень поле, що реєструють, пов'язане з варіаціями локальних тензорних полів, які описують фізичні властивості геологічного середовища.

1.1.4.3. Ефективні фізичні властивості геологічного середовища

Введено поняття *геологічного середовища*, що розглянуто в роботах [177–178, 183]. В основі нового підходу до теорії комплексної інтерпретації геофізичних полів лежить локалізована багатокомпонентна тріщинувата модель гетерогенного геологічного середовища [183, 185]. Вона являє собою мінеральний скелет, складений із зерен різноманітних мінералів. Цей скелет прорізаний порами і тріщинами (сухими або флюїдонасиченими) і перебуває в напруженому стані в умовах високих температур.

Жодних обмежень на джерела геофізичних аномалій і геометричні параметри геологічного середовища не накладається, а також не має потреби в апріорній інформації про кореляційні зв'язки між фізичними властивостями.

Під час дослідження реальне гетерогенне геологічне середовище за допомогою апроксимації по сітці можна розбити на апроксимуючі комірки – тіла простої геометричної форми, розмір яких визначають масштабом дослідження і роздільною здатністю геофізичних технологій, що використовують.

Ефективні фізичні властивості апроксимуючої комірки визначаються мінералогічним складом, структурою мінерального скелета (формою

і орієнтацією мінеральних зерен) і тріщинно-порового простору (сухого або флюїдонасиченого), напруженим станом і температурою. Числові розрахунки лінійних і нелінійних ефективних фізичних властивостей комплексної моделі здійснюють сучасними методами механіки стохастичних середовищ з урахуванням реальної структури геологічного середовища [128, 181–182].

Беручи до уваги, що макроскопічний об'єм апроксимуючої комірки значно більший за розміри її структурних елементів, задача визначення ефективних фізичних властивостей у лінійному наближенні зводиться до встановлення залежностей:

$$\varepsilon(\bar{x}) = A(\bar{x})\langle\varepsilon\rangle; E(\bar{x}) = B(\bar{x})\langle E\rangle; H(\bar{x}) = F(\bar{x})\langle H\rangle, \quad (1.8)$$

де $\varepsilon(\bar{x})$ – мікродеформації у структурних елементах апроксимуючої комірки; $E(\bar{x})$ – мікронапруженість електричного поля у структурних елементах апроксимуючої комірки; $H(\bar{x})$ – мікронапруженість магнітного поля у структурних елементах апроксимуючої комірки; $\langle\varepsilon\rangle$, $\langle E\rangle$, $\langle H\rangle$ – макродеформації, мікронапруженість електричного і магнітного полів; $A(\bar{x})$, $B(\bar{x})$, $F(\bar{x})$ – невідомі тензорні інтегральні оператори типу згортки, ядром яких є похідні тензорних функції Гріна, що визначаються структурою і взаємодією між структурними елементами апроксимуючої комірки.

Вважають, що в будь-якій точці апроксимуючої комірки справедливі лінійні співвідношення:

$$\sigma(\bar{x}) = C(\bar{x})\varepsilon(\bar{x}), D(\bar{x}) = \mu(\bar{x})E(\bar{x}), B(\bar{x}) = \gamma(\bar{x})H(\bar{x}), \quad (1.9)$$

де $\sigma(\bar{x})$, $\varepsilon(\bar{x})$ – мікронапруження і мікродеформації; $D(\bar{x})$, $E(\bar{x})$ – мікроіндукція і мікронапруженість електричного поля; $B(\bar{x})$, $H(\bar{x})$ – мікроіндукція і мікронапруженість магнітного поля; $C(\bar{x})$ – тензор модулів пружності; $\mu(\bar{x})$ – тензор діелектричних постійних; $\gamma(\bar{x})$ – тензор магнітних постійних.

Підстановка (1.8) у (1.9) і здійснення операції усереднення за макрооб'ємом приводить до співвідношень:

$$\langle\sigma\rangle = \langle C(\bar{x})A(\bar{x})\rangle\langle\varepsilon\rangle, \langle D\rangle = \langle\mu(\bar{x})B(\bar{x})\rangle\langle E\rangle, \langle B\rangle = \langle\gamma(\bar{x})F(\bar{x})\rangle\langle H\rangle, \quad (1.10)$$

з яких знаходимо тензори ефективних фізичних властивостей:

$$C^* = \langle C(\bar{x})A(\bar{x})\rangle, \mu^* = \langle\mu(\bar{x})B(\bar{x})\rangle, \gamma^* = \langle\gamma(\bar{x})F(\bar{x})\rangle, \quad (1.11)$$

де C^* – тензор ефективних пружних постійних; μ^* – тензор ефективних діелектричних постійних; γ^* – тензор ефективних магнітних постійних.

Для розв'язку задачі визначення ефективних фізичних властивостей апроксимуючої комірки геологічного середовища можна використовувати метод моментних функцій і розрахункову схему Морі-Танака [128].

Оцінку значень мікронапружень $\langle \sigma_{ij}^i \rangle$, за яких відбувається руйнування макроскопічного об'єму геологічного середовища, і мікродеформації $\langle \varepsilon_{ij}^i \rangle$ в її структурних елементах, можна отримати зі співвідношень [153]:

$$\langle \sigma_{ij}^{(i)} \rangle = C_{ijmn}^{(i)} \langle \varepsilon_{mn}^{(i)} \rangle - \beta_{ij}^{(i)} \theta,$$

$$\langle \varepsilon_{ij}^{(i)} \rangle = \frac{1}{c^{(i)}} \left(C_{ijmn}^{(i)} - C_{ijmn}^{(m)} \right)^{-1} \left[\left(C_{mnpq}^* - C_{mnpq}^{(m)} \right) \langle \varepsilon_{pq} \rangle - \left(\beta_{mn}^* - \langle \beta_{mn} \rangle \right) \theta \right], \quad (1.12)$$

де $\langle \sigma_{ij}^{(i)} \rangle$, $\langle \varepsilon_{ij}^{(i)} \rangle$, $\langle C_{ijmn}^{(i)} \rangle$ – відповідно тензори середніх напруг і деформацій, пружних постійних i -ї компоненти геологічного середовища; $c^{(i)}$ – об'ємна концентрація i -ї компоненти геологічного середовища; β_{mn}^* – ефективний тензор термопружних напруг; θ – різниця температур.

Задачу комплексної інтерпретації даних активного геофізичного моніторингу в ізотропному наближенні зводять до розв'язку задачі нелінійної однокритеріальної багатопараметричної оптимізації лінійної згортки функціоналів:

$$\theta_1 \left\| \psi_1^{(e)}(\bar{x}) - \psi_1^{(r)}[\bar{x}, c^i, \lambda^i, \mu^i, \rho^i, \xi^i, P, T] \right\| + \theta_2 \left\| \psi_2^{(e)}(\bar{x}) - \psi_2^{(r)}[\bar{x}, c^i, \rho^i, \xi^i, P, T] \right\| + \theta_3 \left\| \psi_3^{(e)}(\bar{x}) - \psi_3^{(r)}[\bar{x}, c^i, \gamma^i, \xi^i, P, T] \right\| = \min, \quad (1.13)$$

де $\psi_1^{(e)}$, $\psi_2^{(e)}$, $\psi_3^{(e)}$ – спостережені значення сейсмічного, гравітаційного і магнітного полів; $\psi_1^{(r)}$, $\psi_2^{(r)}$, $\psi_3^{(r)}$ – обчислені на r -му крокові ітерації значення сейсмічного, гравітаційного і магнітного полів; $c^i(\bar{x})$, $\lambda^i(\bar{x})$, $\mu^i(\bar{x})$, $\gamma^i(\bar{x})$, $\rho^i(\bar{x})$, $\xi^i(\bar{x})$ – об'ємна концентрація пустот, пружні параметри Ламе, магнітна проникність, густина i -го мінералу і густина тріщин скелета середовища в апроксимуючій елементарній комірці; P, T – тиск і температура.

Значення локальних фізичних властивостей в апроксимуючій комірці геологічного середовища визначають методами геофізичної томографії.

1.2. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННО-ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

В останні роки вчені розвинутих країн світу приділяють велику увагу вивченню небезпечних природних і техногенно-природних процесів, що призводять до загальнолюдських та економічних втрат.

Наприкінці ХХ – на початку ХХІ ст. у світі спостерігають зростання глобальних природно-техногенних катастроф та обсягів спричинених ними матеріальних збитків. Сьогодні ставиться питання про визначення переліку найбільш небезпечних природних і техногенно-природних процесів, розроблення методики їхнього дослідження, прогнозування та сценаріїв розвитку ситуації.

Аналіз стану техногенної та природної безпеки за даними The Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) і робіт [15, 17, 22, 36, 40, 122, 138, 157–159, 224] показує, що, починаючи з 1965 р., кількість природних катастроф, які призвели до загибелі більше 100 осіб і/або економічних збитків, що перевищують 1 % внутрішнього валового продукту (ВВП) країни, де відбулася катастрофа, зросла більш ніж у 4 рази (рис. 1.1).

Щорічні прирости кількості осіб, загиблих і постраждалих у природних катастрофах, відповідно становлять у середньому 4,3 % і 8,6 % (рис. 1.2), а приріст економічних втрат – 10,4 % за рік (рис. 1.3). При цьому 88 % усіх людських втрат припадає на країни з низьким рівнем розвитку. Економічні втрати у відсотковому відношенні від ВВП для цих країн також найвищі, хоч в абсолютному відношенні збитки індустріально-розвинутих країн більші. Уже нині деякі з розвинутих країн змушені витрачати на боротьбу з небезпечними природними та техногенно-природними процесами від 5 до 8 % свого бюджету (напр., Японія).

Якщо ця тенденція буде продовжуватися, то збитки від катастроф стримуватимуть економічне зростання людства вже в першій половині ХХІ ст. Збільшення кількості відчутних для людства природних і техногенних катастроф пов'язано як з низкою глобальних процесів, що в основному мають циклічний характер, так і з окремими екстремальними подіями, що загалом зводяться до підвищення інтенсифікації взаємодії людини з природою і часто неадекватної реакції природи на дії людини.

Основні причини збільшення кількості небезпечних природних і техногенно-природних процесів для України пов'язані не тільки з їхньою активізацією, викликаною господарською діяльністю в окремих регіонах, але й з помилками стратегічного характеру, зокрема в практично повному зупиненні бюджетного фінансування робіт, пов'язаних з вивченням і попередженням різного виду небезпечних процесів та їхніх негативних наслідків на рівні створення дійових систем інженерного захисту.

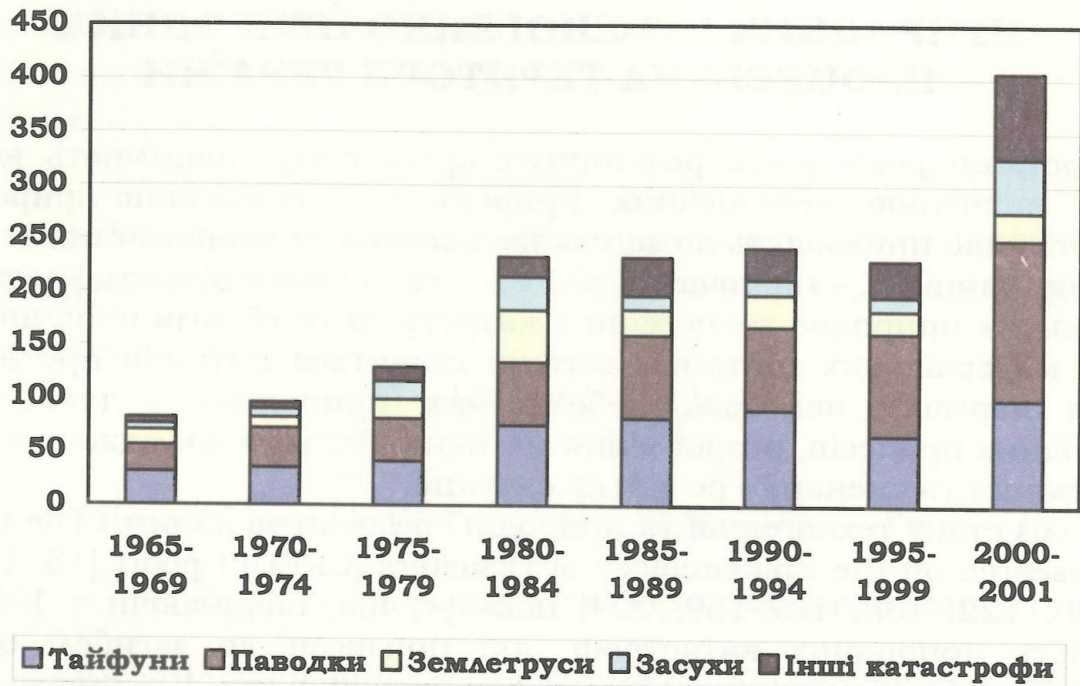


Рис. 1.1. Зростання кількості великих природних катастроф у світі в 1965–1999 рр (середнє значення за п'ять років), [157–159]

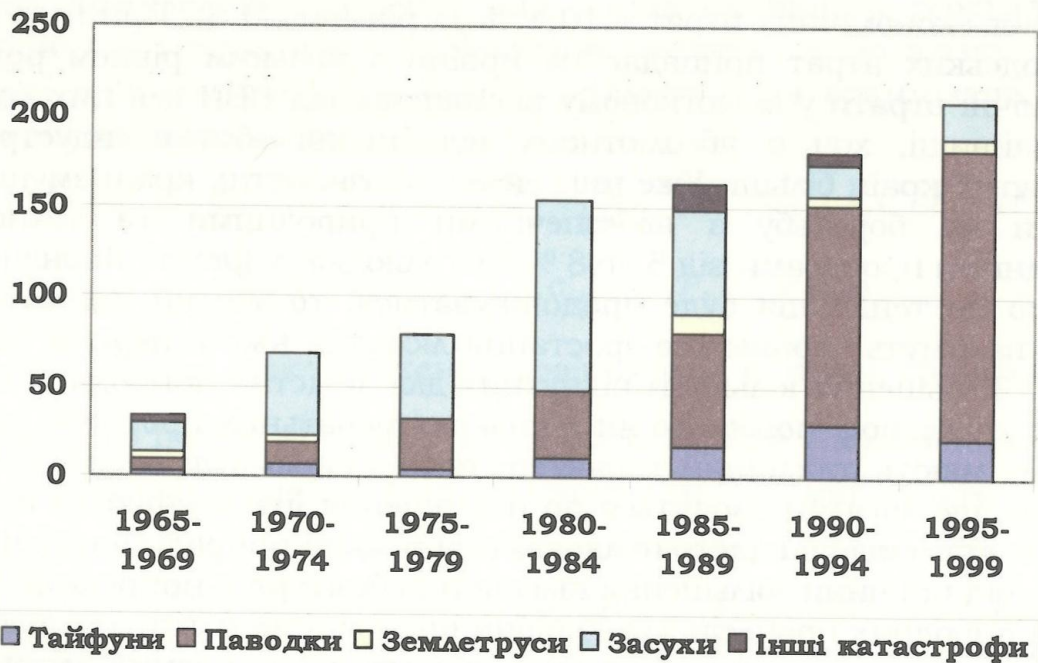


Рис. 1.2. Середня кількість потерпілих у світі від різних природних катастроф у 1965–1999 рр. (середнє значення за п'ять років), млн осіб [157–159]

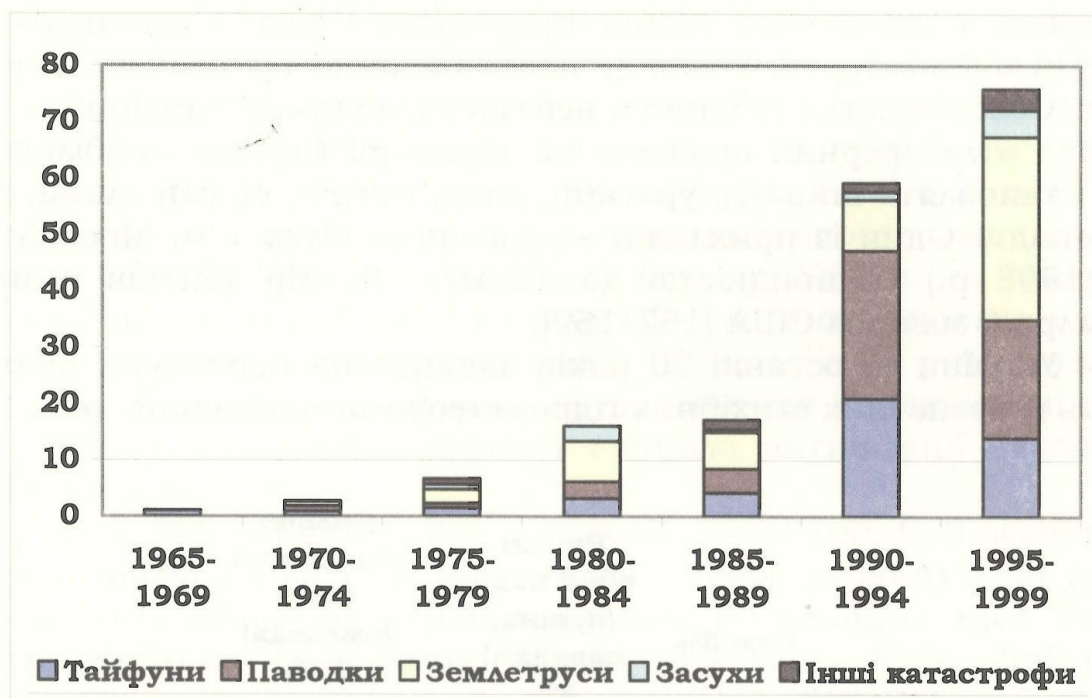


Рис. 1.3. Економічні збитки у світі від різних природних катастроф у 1965–1999 рр. (середнє значення за п'ять років), млрд дол США [157–159]

Кількість людських втрат у світі від семи основних видів катастроф (землетруси, затоплення, тайфуни і шторми, засухи, виверження вулканів, екстремальні температури (заморозки, ожеледь, суховії), зсуви) за період 1965–2001 рр. досягла майже 4 млн осіб. Найбільш небезпечними є природні явища, відсоткове співвідношення яких наведено на рис. 1.4. Починаючи з 1965 р. від семи основних видів катастроф загинуло 3 млн 800 тис., постраждало 4 млрд 400 тис. людей (75 % населення Землі).

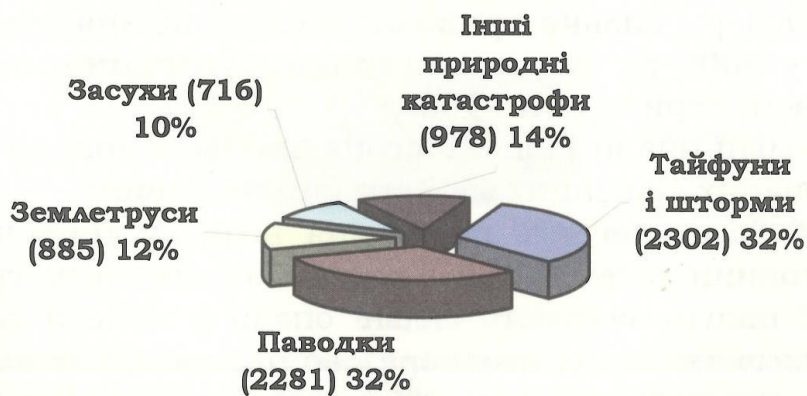


Рис. 1.4. Діаграма розподілу кількості найпоширеніших природних катастроф у світі (1965–2001) [157–159]

Одними з найнебезпечніших природних і техногенно-природних процесів є землетруси. Розгляду цього питання присвячено окремий розділ "Сейсмічність і сейсмічна небезпека території України".

Серед атмосферних процесів на території Європи найбільшу загрозу становлять шквали, урагани, град, смерчі, сильні зливи, грози і снігопади. Один із прикладів – ураганний вітер у м. Москва (червень 1998 р.) зі швидкістю до 45 м/с. Розмір збитків становив до 1 млрд 6 млн дол США [157–159].

Для України за останні 20 років характерна підвищена повторюваність небезпечних стихійних гідрометеорологічних явищ (рис. 1.5).

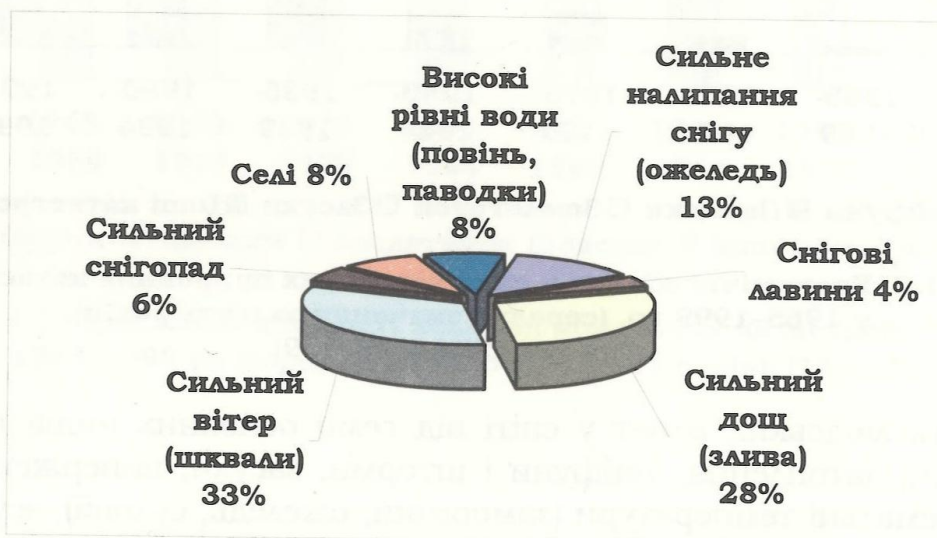


Рис. 1.5. Діаграма розподілу кількості надзвичайних ситуацій гідрометеорологічного характеру в Україні за видами [224]

У 1998 та 2001 рр. зазнало руйнівних паводків Закарпаття; руйнівні смерчі, шквали, крупний град пройшли на Волині (1987), Вінниччині, Тернопільщині (2000), Житомирщині та ще в деяких областях у 2001 р.; сильна тривала ожеледь відзначена у 12 областях України у 2000 р.; сильні снігопади, хуртовини, снігові замети – майже на всій території в 1999 р.

На дуже сильні опади (дощі, снігопади, сніг з дощем) припадає до 50 % зафіксованих стихійних метеорологічних явищ.

Близько 20 % становлять посилення вітру, у тому числі шквали і смерчі, хуртовини, ожеледь, налипання мокрого снігу, град, тумани.

Найбільшої шкоди завдають сильні опади у вигляді снігу та дощу. Унаслідок посилення вітру, неодноразового переходу погоди через 0 °С у 2000 р. було знеструмлено 1 тис. 628 населених пунктів, 680 сільських АТС і 834 об'єкти життєзабезпечення у 12 областях України.

На території України протягом минулого півстоліття значні паводки з людськими жертвами на річках Карпат і Криму спостерігали в 1947, 1955, 1969, 1980, 1992, 1993, 1995, 1997, 1998 і 2001 рр.

Одними з найбільших паводків у Закарпатті були ті, що сформувалися у грудні 1993 та в листопаді 1998 рр. У 1998 р. були перевищені історичні рівні води за 13 пунктами спостереження, постраждало багато населених пунктів. У березні 2001 р. на Закарпатті кількість опадів за 2–3 доби досягла 1,5–3 місячних норми, у цілому Закарпаття отримало 2 млрд м³ води. Підйом рівнів річок становив 2–8 м і в 10 пунктах спостережень перевищив максимальні позначки. Значне зволоження ґрунтів сприяло активізації зсувних та ерозійних процесів.

У межах території України зафіксовано 19 тис. 990 зсувів загальною площею 2 млн 290 тис. 100 км². Зсуви розвинуті на території більшості областей України. Більше 60 великих міст України мають проблеми із зсувами. Серед них міста Київ, Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, Запоріжжя, Чернігів, Полтава, Чернівці [224]. Зсуви особливо небезпечні на території Закарпаття, південного узбережжя Криму, в Івано-Франківській, Чернівецькій областях. У більшості міст, розташованих на берегах великих або швидких рік, розвиваються зсувні процеси.

Крім значних економічних збитків і прямої загрози життю та здоров'ю населення, зсуви часто призводять до руйнування та пошкодження культурних та історичних пам'яток (Лівадійський палац у Криму, Маріїнський палац, будівлі Лаври, Андріївський собор, Парк Слави в м. Київ тощо).

Зсуви є одним із найнебезпечніших геологічних процесів на території України (рис. 1.6).

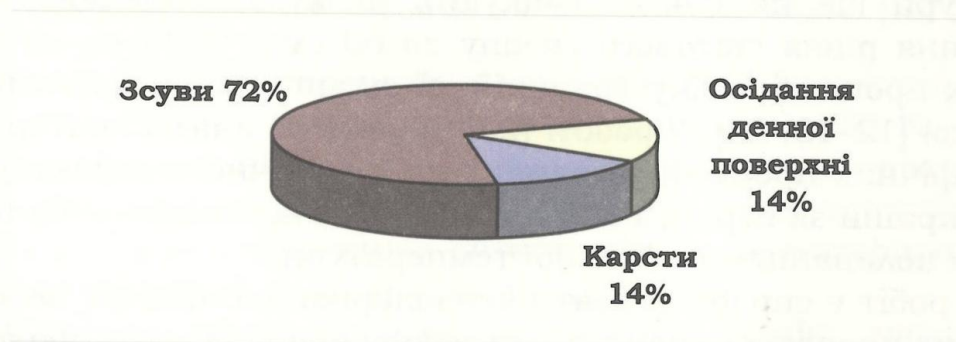


Рис. 1.6. Діаграма розподілу кількості надзвичайних ситуацій геологічного характеру на території України за видами у 2001 р. [224]

1.3. ОСНОВНІ ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗБІЛЬШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ

Основними чинниками, що впливають на збільшення кількості природних катастроф [36, 157–159, 169, 184], є:

- глобальні процеси космічного та літосферного походження;
- зростання населення планети;
- урбанізація;
- зростання техногенного впливу на довкілля.

Глобальні процеси космічного та літосферного походження. Згідно з даними роботи [141] на земні геологічні й біологічні процеси значний вплив мають космічні чинники, зумовлені орбітальним рухом Сонячної системи навколо центру Галактики. Повний галактичний період обертання Сонця навколо центру Галактики становить близько 212 млн років. З цим періодом пов'язують усі основні цикли еволюції органічного світу, зміни клімату Землі, утворення родовищ корисних копалин тощо. У Кері [117] виділяє ще ряд циклів, що впливають на геологічні процеси, наприклад, добове обертання Землі, цикл обертання Місяця навколо Землі, річне обертання Землі навколо Сонця, нутація осі Землі (18,6 року), рух Сонця навколо центру мас Сонячної системи, який вирівнює притягання планет (178 років), прецесія земної осі (25 700 років), рух Сонячної системи навколо центру Галактики (близько 250 млн років), релятивістське зміщення перигелію земної орбіти (~600 млн років) тощо.

Починаючи з 1860 р., за даними інструментальних вимірювань спостерігають тенденцію до підвищення глобальної температури: у 1860–1935 рр. – на 0,4 °С, у 1937–1978 рр. – коливання в межах фону, з 1978 р. – до сьогоднішнього дня – швидкий ріст глобальної температури ще на 0,4 °С. Очікують низку небезпечних наслідків (підвищення рівня світового океану до 60 см у 2030 р., активізацію ерозійних процесів, зміну традиційної схеми опадів, кліматичні аномалії тощо) [12–13, 23]. У роботі [23] проведено аналіз повторюваності катастрофічних процесів та явищ метеорологічного характеру на території України за період з 800 до 1700 рр. і встановлено їхній зв'язок з віковим коливанням глобальної температури.

У ряді робіт є спроба зв'язати інтенсифікацію проявів небезпечних геологічних процесів (зсуви, землетруси) з відповідними процесами на Сонці [33, 73, 113, 122].

Крім цього, значний вплив на розвиток життя на Землі мали процеси катастрофічного характеру (вулканізм, падіння астероїдів тощо). Наприклад, у роботах деяких учених усе більше підтверджується

факт астероїдного чинника різкої зміни флори і фауни на межі мезозою – кайнозою (64–65 млн років тому). Вважають, що падіння на Землю астероїда діаметром 5–10 км викликало зміну геологічних епох [4, 21, 56, 123]. Найближчим відомим значним випробуванням готовності людства боротися з цією небезпекою є можлива зустріч 1 лютого 2019 р. нашої планети з астероїдом 2002NT7.

Зростання населення планети. До XIX ст. кількість жителів планети була близькою до декількох сотень мільйонів осіб, при цьому маючи незначну тенденцію до зростання. Починаючи з індустріальної епохи, кількість населення за 100 років подвоїлася, а ще через 30 років – потроїлася. Наприкінці 1999 р. кількість населення Землі досягла 6 млрд і щорічно збільшується майже на 90 млн осіб (рис. 1.7).

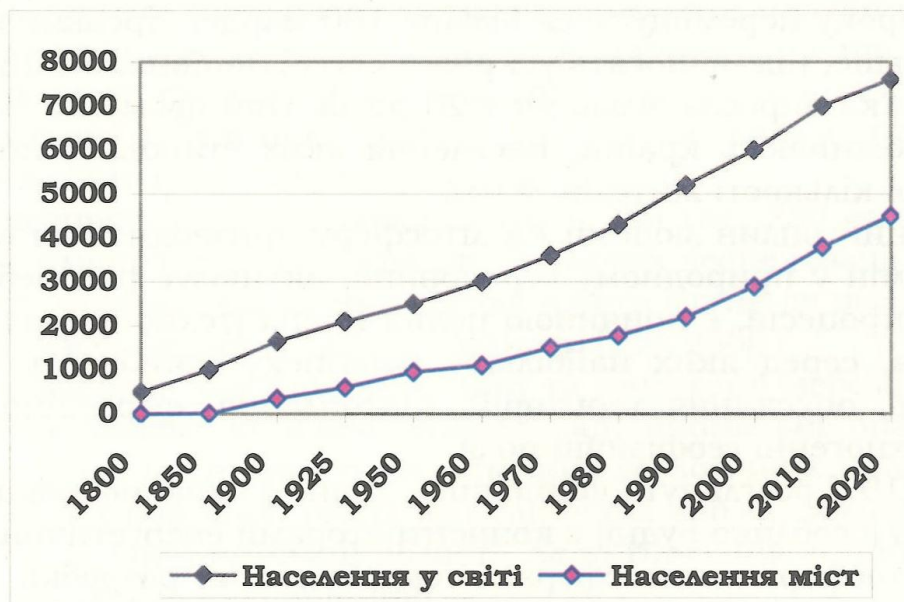


Рис. 1.7. Зростання населення планети:

а – міського населення; б – прогноз їхньої кількості до 2020 р. [157–159]

Урбанізація. Якщо в доіндустріальну епоху (1830) у містах жило менше 3 %, то в 2020 р. міське населення становитиме 58 %. Урбанізація вимагає збільшення площі міст, що призводить до масового використання раніше непридатних або малоприсаєднаних територій з підвищеними ризиками природних катастроф і до інтенсифікації впливу техногенних чинників на природні процеси.

За останніми статистичними даними в Україні нараховується 447 міст, де проживає більше 68 % населення країни. Серед них п'ять міст-мільйонерів: Київ, Харків, Дніпропетровськ і Донецьк, Одеса та міста з населенням більше 500 тис. осіб (Запоріжжя, Кривий Ріг, Луганськ, Львів, Маріуполь, Миколаїв). У зв'язку з цим проблеми урбанізованих

територій привертають усе більшу увагу науковців України. Крім суто наукового, дане питання має і практичне застосування щодо постійного забезпечення функціонування інфраструктури міст і безпечних умов проживання людей. Тому для великих міст світу, і зокрема для м. Москва [120–121, 135], а на території України частково – для міст Львів, Харків, Дніпропетровськ та Київ було проведено дослідження сучасних геодинамічних процесів та їхнього впливу на життя міст. Проблеми урбанізованих територій розглянуто в роботах [3, 41–43].

Зростання техногенного впливу на довкілля. У першу чергу це пов'язано з дуже високими темпами промислового виробництва і споживання природних ресурсів. Так, тільки за останні 50 років споживання нафти зросло майже у 8 разів, вугілля – більше ніж у 2 рази, газу – майже у 12 разів. Під час будівництва і видобутку корисних копалин щороку переміщується більше 100 млрд т гірських порід, що в 4 рази більше, ніж виносять усі річки світу. Порівняно з 1890 р. світова економіка виросла більш як у 20 разів. При цьому 80 % світових ресурсів споживають країни, населення яких становить лише 20 % від загальної кількості жителів Землі.

Техногенний вплив людини на літосферу призводить до великомасштабних змін у природному середовищі, активізує ряд небезпечних природних процесів, є причиною появи нових (техноприродних) процесів і змін, серед яких найбільшу небезпеку становлять наведена сейсмічність, опускання територій, підтоплення, суфозійно-карстові провали, техногенні геофізичні поля.

У роботі [192] розглянуто концепцію, згідно з якою родовища корисних копалин (особливо рудні) є концентраторами енергетичних виходів у системі літосфера – атмосфера, і тому бездумна розробка корисних копалин завдає шкоди екології Землі значно більшої, ніж це можна собі уявити з точки зору механічного переносу частини маси земної кори.

При цьому суттєву роль відіграє геофізична екологічна функція літосфери як регулятор енергетичних (фізичних) потоків і полів. Однак саме ця частина геологічного середовища є найменше вивченою в екологічному відношенні, незважаючи на низку праць у цьому напрямі [22, 32, 150].

Наведена сейсмічність найчастіше проявляється під час створення великих водосховищ (каскад водосховищ на р. Дніпро) [93] і закачуванні флюїдів і газів у підземні горизонти (газові сховища України).

Опускання територій спровоковані інтенсивним відбором підземних вод, порушенням режимів фільтрації і мають тенденцію проявлятися у сприятливих для цього геологічних розрізах (напр., лесові породи м. Київ та Дніпропетровськ).

Значні зміни екологічного довкілля відбуваються у місцях осідання денної поверхні землі над гірничими виробками, що призводить до підтоплення та заболочування територій, утворення джерел, озер, інтенсифікації карстових і суфозійних процесів. На території Донбасу при загальній площі вуглепромислових районів близько 15 тис. км² площа осідання денної поверхні сягає 8 тис. км², а в Дніпропетровській області – майже 500 км² [224].

Значне поширення та великий вплив на умови господарювання мають лесові ґрунти, їхнє просідання у разі замочування сприяє руйнуванню різних об'єктів і зміни в ландшафті. Особливо небезпечні ці процеси на територіях з прогресуючим підйомом рівня підземних вод (Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська та Миколаївська обл.). Так, у м. Дніпропетровськ в 1997 р. процес підтоплення лесових ґрунтів призвів до загальнодержавної надзвичайної ситуації – катастрофічного зсуву-селю на житловому масиві "Тополь-1", збитки від якого становили 34 млн грн. Унаслідок цього були зруйновані житловий будинок, школа, два дитячі садки, приватні будинки, виведені з ладу інженерні комунікації.

Площі поширення лесових порід сягають 250 тис. 250 км², що становить 41 % площі території України. В умовах дестабілізації геологічного середовища, зокрема підтоплення, лесові ґрунти здатні до переходу в текучий стан з повною втратою несучої здатності [104, 236].

Слід відзначити, що метеорологічні та геологічні небезпечні явища можуть бути взаємопов'язані. Наприклад, аномальні опади можуть викликати різку активізацію небезпечних геологічних процесів, особливо в гірських районах, таких як селі, бічна ерозія, зсуви. Так сталося у 1998 р. в Закарпатській області, де активізація зсувів була спричинена катастрофічною повінню.

Підтоплення територій призводить до зміни інфільтрації поверхневих вод, росту сейсмічності, забруднення ґрунтових вод, деградації ґрунтів, пригнічення рослин. Підтоплення відзначається майже у 88 % великих міст світу. Для України найінтенсивніше ці процеси проявляються у районах вугільних родовищ Донбасу.

У таких країнах, як Великобританія, Німеччина, Китай, Росія, Франція, Україна, ступінь підтоплення територій надмірно високий. На території України площі природного і техногенного підтоплення сягають 143 тис. 100 км² (23,7 % загальної площі території). Протягом останніх десятиліть на території України були перезволожені та підтоплені значні площі. При загальній площі сільськогосподарських угідь 411 тис. 955 км² заболочені площі становлять 17 тис. 483 км², перезволожені площі – 3 тис. 206 км², відкриті болота – 9 тис. 387 км².

У деяких районах підтоплення є частиною загального процесу погіршення стану геологічного середовища, пов'язаного з освоєнням земель (забудова, зрошення, гідротехнічне будівництво). У Поліссі, наприклад, це зумовлено природною зональністю (у Рівненській області – 52 %, Волинській – 82 %, Житомирській – 83 % загальної площі охоплено процесом підтоплення), саме тут гідрогеологічні умови є визначальним чинником розвитку процесів підтоплення і потребують додаткових спостережень.

Техногенне підтоплення спостерігають на територіях понад 500 міст і селищ міського типу України, де інколи розміри площ підтоплення сягають 30 % їхньої території. Площа підтоплених ділянок (з рівнем ґрунтових вод на глибині до 2 м) становить у м. Дніпропетровськ близько 6 тис. 300 га (18 % міської території), а на площі більше 2 тис. га відбувається інтенсивний підйом (0,5–1,0 м у рік) рівня ґрунтових вод. Схожу картину спостерігають у м. Харків (10 тис. га), Запоріжжі (9 тис. га). У м. Донецьк площі підтоплених земель становлять 5 тис. 180 га (31 % міської території), а в м. Макіївка – 1 тис. 690 га (42 %). На території Луганської області підтоплено 47 міст і селищ міського типу, 108 сільських населених пунктів. За останнє десятиліття загострилася проблема, пов'язана з підтопленням м. Бердянськ, де з 8 тис. 265 га міської території підтоплено 1 тис. 680 га; у зоні підтоплення розташовано 1 тис. 750 державних і приватних будівель, частина з яких в аварійному стані.

Підтоплення є одним із небезпечних процесів, оскільки провокує активізацію зсувних, карстових процесів і просідання лесових ґрунтів. Багатофакторний характер змін системи "вода – порода" під впливом підтоплення дозволяє визначити його як процес еколого-геологічних змін, а боротьбу з підтопленням – важливим державним завданням.

Матеріальні втрати від підтоплення 1 га міської території (залежно від ступеня її забудови капітальними спорудами, наявності історичних і архітектурних пам'яток, розгалуження підземної інфраструктури) становлять від 15 до 200 тис. дол США.

Останнім часом проблема підтоплення в Україні привертає увагу не тільки науковців. Свідченням того є слухання цього питання на початку 2003 р. у Верховній Раді України.

Карстові процеси характерні для геологічних розрізів, де на глибинах до 100 м присутні розчинні породи. Особливо негативні прояви активізуються у разі зміни температурних характеристик і сольового складу порових флюїдів.

Карст належить до поширених екзогенних геологічних процесів. На 227 тис. 900 км² (24 % території України) він може безпосередньо впливати на господарську діяльність. Розвиток відкритого кар-

сту, що супроводжується провалами на поверхні, сягає 19 тис. км² (3 % території). У районах ведення гірничих робіт має розвиток техногенний карст, нерідко з катастрофічними проявами процесу. Розвиток карсту значно інтенсифікується при зміні напрямків водних потоків, рівнів ґрунтових вод (РГВ) та їхньому коливанні, у випадку наявності "агресивних" скидів поверхневих і підземних вод, відмінних за температурою та мінеральним складом від природних пластових флюїдів.

На урбанізованих територіях виникають **техногенні фізичні поля** – вібраційні, блукаючих струмів, електромагнітні поля високої й низької частоти, температурні поля.

Вібрації викликані в першу чергу рухом транспорту і створюють значне динамічне навантаження на ґрунти, спричинюючи зменшення їхньої міцності, негативно впливають на технічний стан будівель і споруд, негативно діють на здоров'я людей. Техногенні віброшуми (транспорт, промислові агрегати, будівельні машини тощо) на 1,5–2,5 порядки перевищують природний мікросейсмічний фон, а впливу вібрації зазнають ґрунти і гірські масиви до глибини 20–50 м, що спричиняє зміни інженерно-геологічних і сейсмоакустичних характеристик геологічного середовища.

Електричні блукаючі струми формуються в основному за рахунок втрат електрифікованого рельсового транспорту, заземлених промислових установок, станцій катодного захисту. Вони зменшують корозійну стійкість ґрунтів щодо наявних підземних комунікацій. Корозія металів пришвидшується у 5–10 разів, викликаючи руйнування сталевих трубопроводів. Приблизно 30 % пошкоджень у трубах припадає на електрокорозію від блукаючих струмів. Напруженість поля, що створюють блукаючі струми, може досягати 2–3 В/м. Значна частина території міст має високий рівень корозійної небезпеки (поля блукаючих струмів у сотні разів перевищують природні).

Електромагнітні поля високої й низької частот. Завдяки розвитку електротранспорту, електромереж, теле- і радіокомунікацій, систем зв'язку зростає вплив електромагнітного випромінювання промислової частоти (50 Гц) і частот радіохвильового діапазону (0,06–300 МГц). Останнім часом учені м. Санкт-Петербург виявили, що на станціях і в поїздах метро діють імпульсні електромагнітні поля частотою 7–8 Гц, які в сотні разів за інтенсивністю перевищують найсильніші магнітні бурі.

Інтенсивності та дія на людей природних і штучних електромагнітних полів різної частоти ще дуже слабо вивчені, хоча багато вчених звертають увагу на значний екологічний вплив природних і техногенних полів [150].

Температурні поля і тепловий режим урбанізованих територій відмінний від природного внаслідок порушення природного режиму поглинання сонячного тепла через задимленість атмосфери, тепловиділення промислових об'єктів, втрат нагрітої води з комунікацій. У результаті в геологічному середовищі урбанізованих територій спостерігають теплові аномалії з перевищенням фону до 10 °С і більше. Рівень річного приросту теплової енергії у великих містах досягає 10⁹ Дж/км², а в межах міської території на глибинах до 50 м спостерігають стійку тенденцію до формування геотермічних аномалій з перевищенням над фоновими на 5–10 °С, що виходять за адміністративні кордони міста (при нагріванні підвищуються фільтруючі властивості дисперсних гірських порід, змінюється в'язкість, пластичність, міцність, вологоємність, збільшується агресивність до бетону, елементів конструкцій, а також небезпека хімічної та біохімічної корозії). Зміна теплового режиму підвищує агресивність ґрунтів відносно комунікацій і підземних споруд, змінює режим підземних вод і розвиток біоти.

Які можуть бути підходи до розв'язання цих проблем? Всесвітня конференція з природних катастроф (Йокогама, травень 1994) прийняла декларацію, де сказано, що боротьба за зменшення збитків від природних катастроф має бути важливим елементом державної стратегії всіх країн. При цьому відмічено, що прогнозування та попередження природних катастроф вимагає витрат у 15 разів менших від витрат на відшкодування можливих збитків від цих катастроф.

Отже, можна зробити висновки, що при розробці стратегії прогнозування стану довкілля України необхідно враховувати дві основні складові розвитку небезпечних природних і природно-техногенних процесів:

➤ еволюційну (безперервна самоорганізація речовини оболонки планети з виділенням і поглинанням енергії) – для її вивчення необхідно проводити фундаментальні наукові дослідження;

➤ антропогенну – вимагає розробки теорії прогнозування розвитку природних процесів з урахуванням впливу техногенних чинників на еволюцію природних процесів і нових високоефективних геофізичних технологій їхньої діагностики.

При цьому на чільне місце виходить необхідність створення функціональної національної системи моніторингових спостережень за небезпечними геологічними та природно-техногенними явищами і розробка методики оцінювання їхнього ймовірного впливу на людей, споруди, екосистеми, розміри економічних втрат.

При розробленні оптимальної системи геофізичного моніторингу довкілля у першу чергу необхідно брати до уваги специфіку різних типів небезпечних геологічних і геофізичних явищ і масштаби їхніх проявів.

Їх можна поділити за походженням на:

- природні;
- техногенні;
- змішані (природне явище спричиняє техногенну катастрофу або навпаки).

За масштабами прояву небезпечні явища можна поділити на:

- явища планетарного масштабу (зміни компонентів земного магнітного поля, активності Сонця, парниковий ефект, руйнування озонового шару, астероїдна та метеоритна небезпека; радіаційне та хімічне забруднення унаслідок техногенних катастроф, руйнівні катастрофічні землетруси і вулкани та процеси, що їх супроводжують);
- явища глобальні (трансграничні переноси забруднювальних речовин, використання великих річкових артерій, використання акваторій внутрішніх морів, розробка родовищ корисних копалин на шельфовій частині морів та океанів тощо);
- явища регіональні (розвиток регіональних карсту, зсувів, підтоплення; руйнування дамб водосховищ; підвищені концентрації радіоактивних еманцій тощо);
- явища локальні (аномальні фізичні поля (вібраційні, електромагнітні, теплові, акустичні, радіаційні), біопатогенні зони, розвиток екзогенних процесів у місцях промислового та житлового будівництва, місцях проживання людей).

За способом взаємодії з довкіллям система моніторингу може бути пасивною й активною. Як показує світовий досвід, майбутнє за активними системами моніторингу.

1.4. ЧОРНОБИЛЬСЬКА КАТАСТРОФА. ГЕОФІЗИЧНІ АСПЕКТИ

1.4.1. Вихідна інформація про катастрофу

26 квітня 1986 р. відбулася найбільша техногенна катастрофа ХХ ст. – аварія на енергоблоці № 4 Чорнобильської АЕС (ЧАЕС), що завдала величезних матеріальних, демографічних і моральних збитків населенню Східної Європи і в першу чергу України, Білорусії й Росії [79].

Під час підведення підсумків Міжнародної конференції "П'ятнадцять років Чорнобильської катастрофи" (Київ, 2001) були зроблені серед інших такі висновки [149]:

- масштаби матеріальних збитків і фінансових витрат на ліквідацію наслідків аварії переконливо свідчать про надзвичайно високу ціну помилок і недоліків в убезпеченні ядерних енергетичних

установок і необхідності строгого дотримання під час їхнього розроблення (проектування), створення та експлуатації міжнародних вимог безпеки;

➤ аварія переконливо продемонструвала, що витрати на забезпечення безпеки ядерних установок істотно менші за витрати на ліквідацію наслідків можливих аварій. Великі техногенні катастрофиносять величезні соціальні та економічні збитки країнам, що зазнають їхнього впливу. За оцінкою вчених Білорусії, Росії та України прямі втрати і непрямий збиток, понесені внаслідок аварії на ЧАЕС, за 15 років для цих країн становили сотні мільярдів доларів США;

➤ аварія показала важливість дотримання базових і технічних принципів безпеки ядерних енергетичних установок, постійного аналізування безпеки АЕС, що експлуатують, та їхньої оперативної модернізації для ліквідації виявлених відхилень, активного вивчення і впровадження передового світового досвіду, ретельного врахування людського чинника.

У серпні 2005 р. у Відні відбулося заключне засідання Чорнобильського Форуму при ООН, де широкій громадськості були представлені узагальнені підсумки майже 20-річного наукового дослідження наслідків аварії на ЧАЕС. Подані в документі [273] матеріали підготувала міжнародна група у складі понад 100 авторитетних учених з різних країн. Протягом трьох років вони аналізували накопичені дані, включаючи ті, що вказували на несподівані висновки і навіть суперечили сучасним уявленням.

У публікації [129] наведено аналіз документа [273]. Основні прогнози міжнародного наукового співтовариства в 1986–1988 рр. виправдалися. Висновки і рекомендації Віденської конференції 1986 р., Міжнародного чорнобильського проекту (1991), Віденської конференції "10 років після Чорнобиля", Спільних проектів Єврокомісії, проекту Айфека, результатів робіт із Франко-Германської ініціативи, доповідей Наукового комітету ООН лежать в одному руслі з висновками Чорнобильського Форуму [129].

У [273] серед інших наведено такі факти: безпосередньо в результаті аварії загинуло 50 осіб. Прогноз передчасних можливих летальних наслідків, зумовлених аварією, становить близько 4 тис. осіб. До цього числа входять 50 ліквідаторів, які загинули від гострої променевої хвороби, 9 дітей, які померли від раку щитовидної залози, і приблизно 3 тис. 940 осіб, які, відповідно до оцінки, можуть померти від раку і лейкозу в результаті радіаційного опромінення, із загальної кількості 200 тис. ліквідаторів, що брали участь у роботах з 1986 по 1987 р., 116 тис. евакуйованих осіб і 270 тис. жителів найбільш забруднених територій (що в сумі становить приблизно 600 тис. осіб).

Це – консервативний прогноз. Він базується на так званій лінійній безпороговій гіпотезі, відповідно до якої будь-яка як завгодно мала доза радіації може бути шкідливою для здоров'я [129].

Підводячи підсумки аварії, голова Чорнобильського форуму д-р Бертон Беннетт [129] зазначив, що це була дуже серйозна аварія зі значними наслідками для здоров'я, особливо для здоров'я тисяч працівників, які в перші дні отримали високі дози опромінення, і тисяч людей з ураженням щитовидної залози. У цілому, однак, не були знайдені глибокі негативні впливи на здоров'я в іншій частині населення у прилеглих районах, і неможливо говорити про поширення радіоактивного забруднення, що могло б і далі створювати істотну загрозу здоров'ю людей, за винятком кількох зон з обмеженим доступом до них.

Реакція громадськості країн, більш за все потерпілих від Чорнобильської аварії, на обнародуванні Форумом матеріали була неоднозначною і ще раз показала, що завдання коректної інтерпретації висновків науки є дуже складним і відповідальним. Причина величезного розриву між науковим знанням і суспільною думкою перш за все лежить у неповноті, недосконалому наукових знань і застосовуваних методик їхньої інтерпретації.

На жаль, жоден із документів [149, 273] не містить результатів детального дослідження причин Чорнобильської аварії, що певною мірою свідчить про недооцінку важливості цього питання для подальшого безпечного використання ядерної енергії. Це спонукало авторів ще раз звернути увагу фахівців на факти, що свідчать про можливість існування, крім офіційної, також і інших версій причин аварії. Відсутність достатньої кількості матеріалів, що їх підтверджують, легко пояснюється відсутністю систем відповідного контролю і не може служити причиною голосливого заперечення цих версій. Якщо альтернативних версій причин не розглядати і не обговорювати, то не виключено, що буде втрачена можливість запобігання аваріям у майбутньому.

Офіційна версія причин аварії на ЧАЕС [79] зводилася до поломок і збоїв, що виникли під час розгону реактора РБМК-1000 на повільних нейтронах у позаштатній ситуації. Катастрофу розглядали як виключно техногенну, обтяжену людським чинником. Дослідженнями причин аварії, проведеними Державною комісією на початку травня 1986 р., було встановлено [79], що аварія відбулася в результаті неконтрольованого розгону реактора, тобто до руйнування енергоблока № 4 призвело різке зростання потужності реактора. Ця причина була зазначена пізніше в інформації для МАГАТЕ. У доповіді МАГАТЕ сказано, що через певний час після початку випробування виникло пові-

льне підвищення потужності. О 1 год 23 хв 40 с начальник зміни енергоблоку дав команду натиснути кнопку АЗ-5, за сигналом якої в активну зону вводять усі регулюючі стрижні автоматичного захисту. Стрижні пішли вниз, однак через кілька секунд відчули удари і оператор побачив, що стрижні-поглиначі зупинилися, не дійшовши до нижнього положення [79].

За свідченнями очевидців, які перебували поза енергоблоком № 4, приблизно о 1 год 24 хв були відчутні два послідовні сильні глухі вибухи, над енергоблоком злетіли палаючі шматки і снопи іскор, частина яких упала на дах машинного залу, що спричинило пожежу.

Змішані продукти аварійного викиду з повітряними потоками переміщалися на північ, північний захід, потім – на схід через Азію до Японії й далі через Тихий океан до США на висоті приблизно 7 тис. 500 м [95]. На території СРСР чорнобильські опади були виявлені навіть у Семіпалатинській, Новосибірській та Іркутській областях.

Дотепер цілком не вдалося встановити, за яким із двох сценаріїв розвивався аварійний процес. За першим сценарієм у результаті аварії в енергоблоці № 4 Чорнобильської АЕС залишилося близько 97 % палива і тільки близько 3 % було викинуто назовні. За другим сценарієм на підставі детального обстеження зруйнованого енергоблоку стверджують, що картина змінюється на протилежну [52, 94–95]. Ті, хто дотримуються другого сценарію стверджують, що оцінки за першим сценарієм були зроблені на припущеннях, які не відображали реальної ситуації на енергоблоці й спиралися на експерименти, невідповідні достовірним вимірюванням. Тому оцінки виділеного під час аварії тепла за цими сценаріями відрізняються на два порядки.

Сценарій 2 базується на таких установлених фактах [52]:

- шахта, де раніше розміщувалася активна зона (рис. 1.8–1.9), порожня і палива в ній немає;
- тільки 25 % дна шахти в південно-східному секторі пропалено наскрізь у результаті високотемпературного впливу;
- кожух активної зони в знівеченому вигляді лежить у центральному залі за десятки метрів від свого початкового положення поверх завалу зі зруйнованих будівельних конструкцій і фрагментів активної зони;
- після повного викиду активної зони пожежі в шахті не було.

Деякі фахівці, які продовжують відстоювати точку зору про подію ядерного вибуху, усе-таки вказують на його нетипові параметри [95], що під час розгону реактора джерелом енерговиділення є екзотермічні нейтронно-ядерні реакції, які визначають фізичну природу аварії як ядерного вибуху активної зони, і це джерело діє,

забезпечуючи зростання потужності енерговиділення до останньої миті існування, що збільшує надкритичність реактора. Реалізовані під час вибуху активної зони реактора значення тиску приблизно на шість порядків а значення температури – приблизно на чотири порядки нижчі, ніж під час вибуху ядерного заряду.

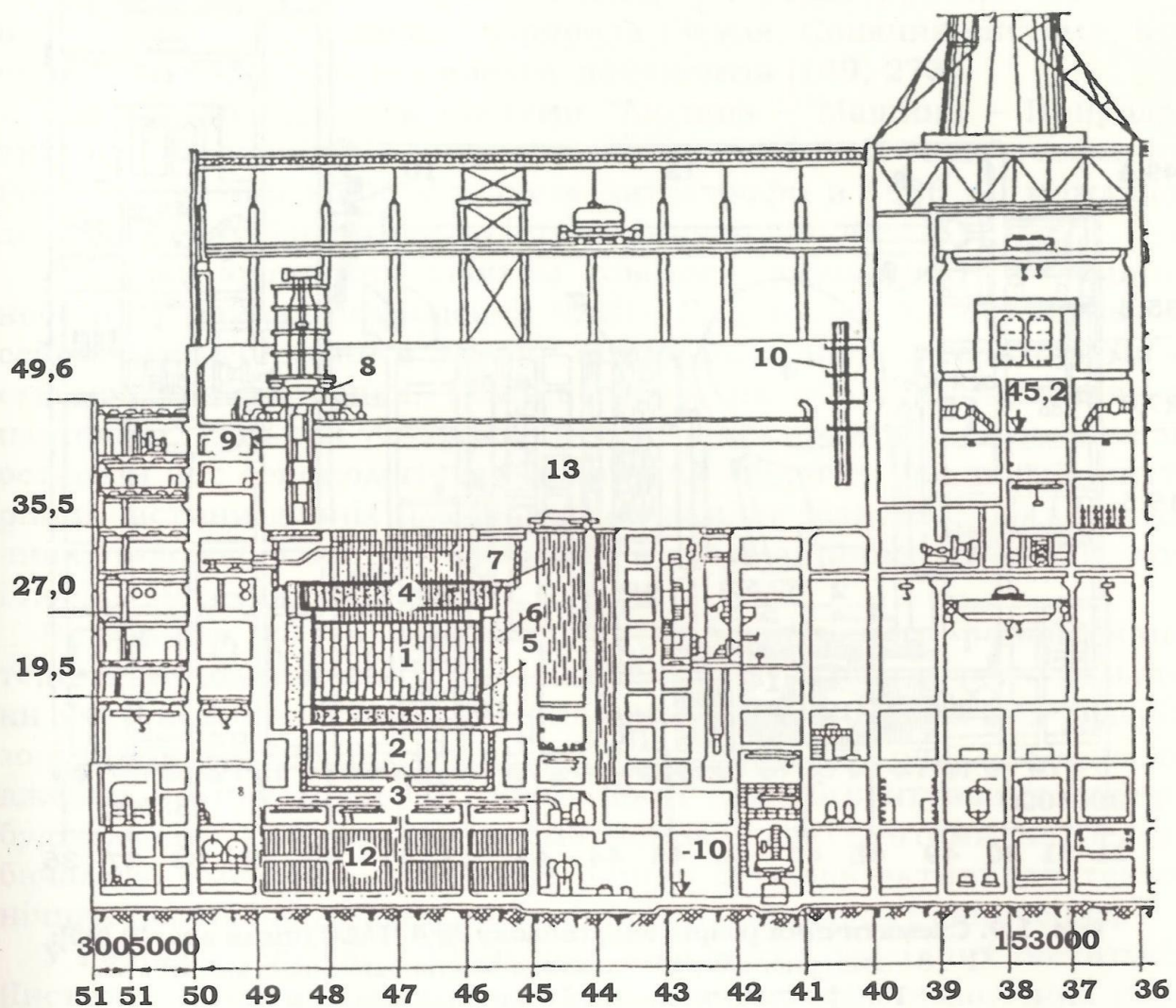


Рис. 1.8. Схематичний розріз енергоблоку № 4 ЧАЕС (до аварії) [95]:

- 1 – активна зона: урану-190 – 3 т (ТВС-1659 шт.), цирконію – 170 т, графіту – 1760 т; 2 – опора реактора (сх. С);
- 3 – дно реактора (сх. ОР); 4 – верхня кришка (сх. Е); 5 – корпус реактора (сх. КЖ);
- 6 – бак бокового захисту (сх. Л); 7 – басейн витримки: урану – 14,8 т (ТВС-129 шт.);
- 8 – розвантажувально-завантажувальна машина (РЗМ);
- 9 – приміщення операторської РЗМ;
- 10 – вузол підвіски свіжого палива: урану – 4,5 т (ТВС-48 шт.);
- 11 – паророзподільний коридор;
- 12 – басейн-барботер; 13 – центральний зал

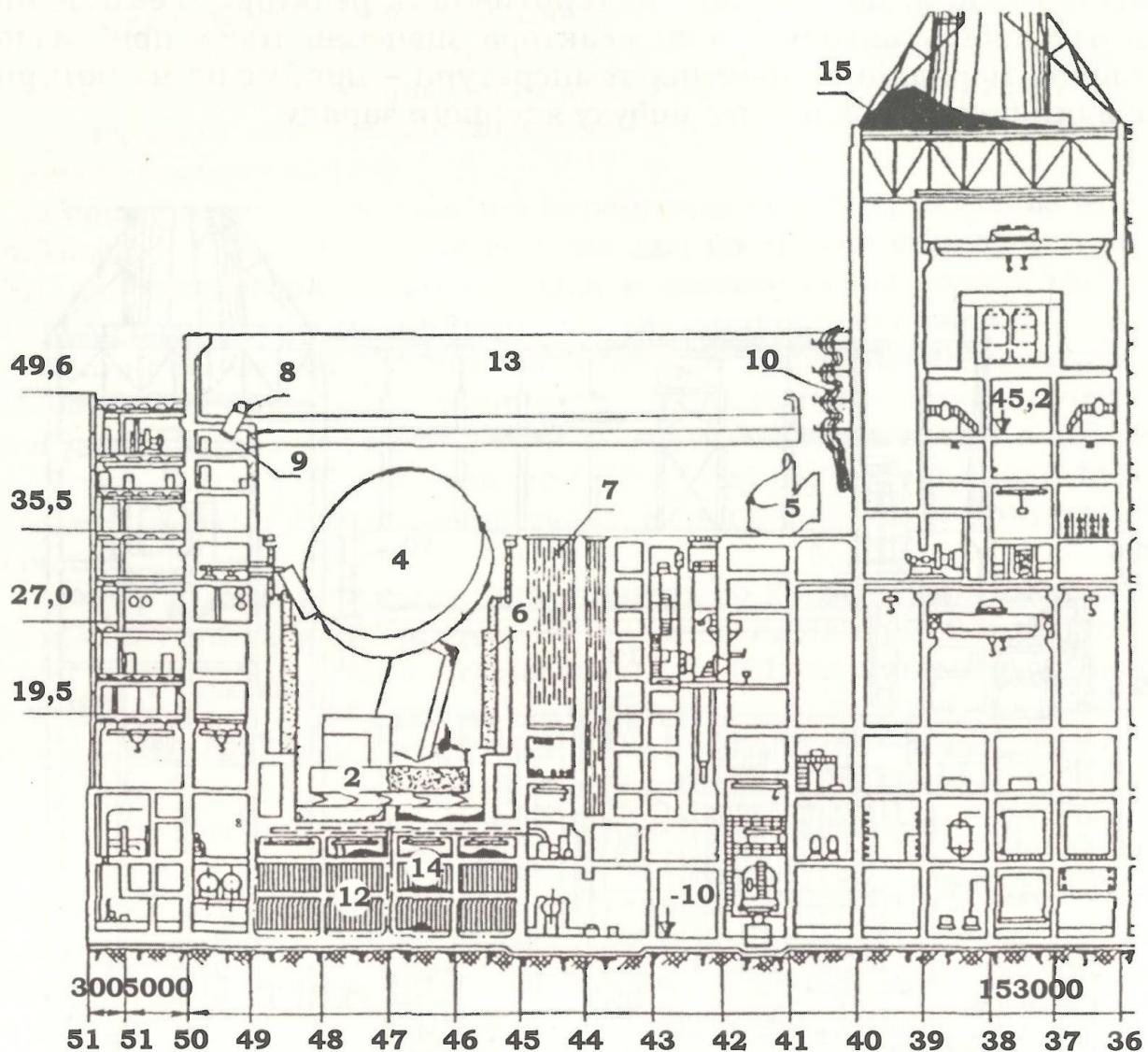


Рис. 1.9. Схематичний розріз енергоблоку № 4 ЧАЕС (після аварії) [95]:
 1-13 – див. рис. 1.8.; 14 – лавоподібна паливовмісна маса;
 15 – фрагменти активної зони (приблизно 10 %)

Експериментального підтвердження реалістичності таких процесів під час ядерних вибухів знайти не вдалося.

У той же час у 43 відомих статтях, опублікованих фахівцями в "Бюлетені з атомної енергії", не висловлено жодного, нехай не дуже строгого, обґрунтування неядерної природи розвитку аварії. Сюди ж варто віднести і гіпотезу водневого вибуху, що теоретично задовольняла б усю сукупність наявних даних про розвиток і наслідки катастрофи.

1.4.2 Додаткова інформація про катастрофу

Труднощі, які виникають під час визначення першопричини Чорнобильської катастрофи, пов'язані насамперед з тим, що розглядають тільки техногенну складову, тобто аналізують систему "Людина (оператор) – Машина (ядерний реактор)", при повному ігноруванні "Середовище – Природа (Земля, Сонячна система, Космос)". Це добре видно з аналізу документів [149, 273].

Під час дослідження системи "Людина – Машина – Природа" врахування зовнішніх чинників, на які звертали увагу геофізики Росії та України відразу ж після катастрофи в 1986 р., можливо, допомогло б наблизитися до істини значно швидше [31].

Зокрема, зворотним шляхом довелося досліджувати сейсмічну небезпеку району розміщення ЧАЕС. До 80-х рр. ХХ ст. вивчення сейсмічної небезпеки в Україні пов'язували лише з територіями в сейсмоактивних зонах, розташованих на окраїнах тектонічних платформ, гірських утворень і передгірних прогинів. Отримана за останній час сейсмологічна інформація свідчить про те, що внутрішні частини давніх платформ, які раніше відносили до асейсмічних, також піддаються сучасним деформаційним процесам, хоч і повільніше, ніж їхні краї.

Відповідно до карт СР-69 і СР-78 сейсмічного районування території колишнього СРСР, на які орієнтувалися проектувальники і будівельники ЧАЕС, її майданчик розташований в 5-бальній зоні прогнозованої інтенсивності сейсмічних впливів, отже, дослідження впливу місцевої сейсмічності для обґрунтування вибору будівельного майданчика нормативними документами не передбачалося. У результаті питання оцінки сучасної активності тектонічних порушень поблизу майданчика залишилося невивченим.

У період з 1991 до 1996 р. ряд наукових і дослідних інститутів (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна та Інститут геологічних наук НАН України, Київський інститут вишукувань і досліджень "Енергопроект" та інші установи) провели роботи з додаткового вивчення глибинної будови літосфери району розміщення ЧАЕС і організували сейсмічний моніторинг об'єкта "Укриття". Схему розташування сейсмічних станцій подано на рис. 1.10. На жаль, розгорнуту в районі розміщення ЧАЕС сейсмічну мережу довелося згорнути наприкінці 1996 р. внаслідок припинення фінансування.

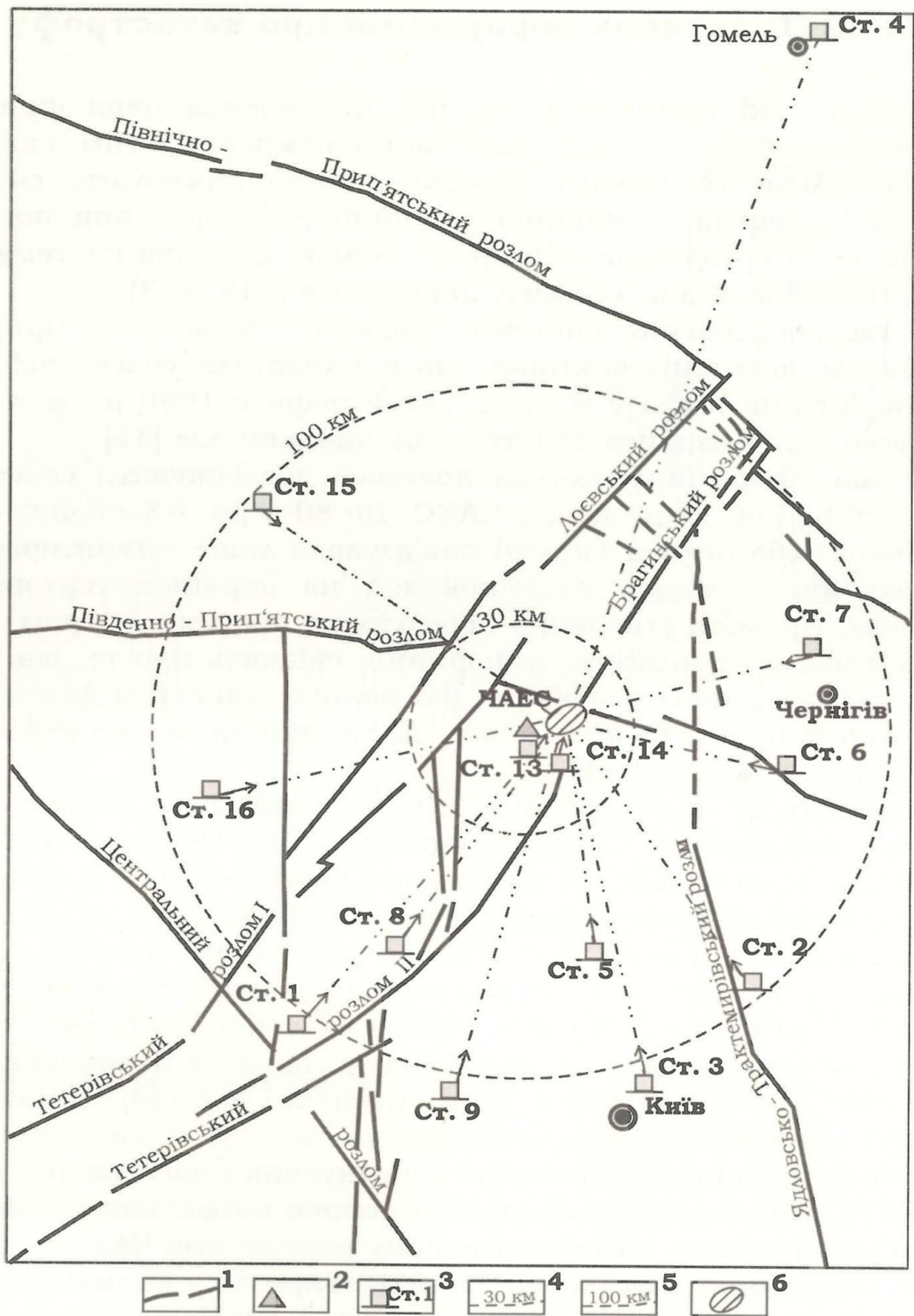


Рис. 1.10. Схема глибинних розломів і пунктів сейсмічного моніторингу в районі розташування майданчика ЧАЕС [153]:
 1 – глибинні розломи; 2 – АЕС; 3 – місця розташування тимчасових сейсмічних станцій; 4 – 30-кілометрова зона; 5 – 100-кілометрова зона; 6 – місце підвищеної сейсмічної емісії

Дослідження показали, що в районі ЧАЕС є кілька розломів, які теоретично можуть активізуватися на сучасному етапі геологічного розвитку. Майданчик АЕС розташований на стику двох регіональних структур Східно-Європейської платформи (СЄП): Українського щита і Дніпровсько-Донецького авлакогену, поблизу від перетинання великих регіональних Південно-Прип'ятського і Тетерівського глибинних розломів, що визначають сеймотектонічний стан у регіоні. Крім того, район розташування майданчика АЕС характеризується наявністю численних порушень, серед яких особливої уваги заслуговують морфоструктурно-неотектонічні вузли з високим ступенем тектонічної роздробленості й активізацією екзогенних процесів, що простежуються в осадовому чохла [116].

Поблизу АЕС була виявлена зона підвищеної сейсмічної емісії, приурочена до зони перетинання Тетерівського лінеамента з Південно-Прип'ятською зоною глибинного розлому [147].

Результати геоморфологічного дослідження показали, що поблизу майданчика АЕС виділяються кілька зон розломів з ознаками тектонічної активізації. До них відносять: Південну прибортову зону Прип'ятського прогину, Західну і Східну гілки Тетерівського розлому і Північно-західну гілку Південної прибортової зони Дніпровсько-Донецького прогину. Прямим підтвердженням активізації Тетерівської глибинної розломної зони є землетрус 03.01.02 з $M = 4,2$ і глибиною від 5 до 10 км, що відбувся на її південно-західному продовженні (відносно АЕС). Епіцентр був поблизу села Микулинці Тернопільської області, де спостерігали 6-бальні макросейсмічні струшування за шкалою MSK-64.

У результаті геофізичних досліджень останніх тридцяти років було встановлено, що СЄП, яку традиційно вважали стабільною, епізодично виказує ознаки геодинамічної й сеймотектонічної активностей, з чим пов'язано синхронне підвищення аварійності на об'єктах народного господарства, розміщених без урахування тектонічних і інженерно-геологічних особливостей території [9, 212]. Останній істотний сплеск природно-техногенної аварійності, викликаної природним тектонічним чинником, був у період з 1984 до 1993 р.

Наднормативні тектонічні деформації в районі АЕС почали інструментально реєструвати з 1984 р. Найбільші зміщення за геодезичними реперами були відзначені саме на енергоблоці № 4. У листопаді 1985 р. на блоці виявили просторову нестабільність фундаменту. З цієї причини директор Чорнобильської АЕС надіслав директору Інституту фізики Землі АН СРСР лист із проханням відрядити фахівців для з'ясування причин нестабільності. Однак Є.В. Барковський

(єдиний фахівець, який мав відповідний комплекс вимірювальної апаратури) проводив заміри на іншій АЕС, і його відрядження на ЧАЕС було перенесено на II квартал 1986 р. Очевидно, небезпечні тектонічні процеси під АЕС продовжували розвиватися, тому що вже в середині квітня 1986 р. через перекося фундаменту була відзначена нестабільна робота турбогенераторів № 7 і 8.

1.4.3. Геофізичні явища і хід аварійного процесу

Підозри на наявність геофізичного деформаційного процесу (як першопричини аварії), що швидко відбувався, виникли в лабораторії геліометричного дослідження Всеросійського науково-дослідного інституту мінеральної сировини ім. М.М. Федорова (ВІМС) уже через два тижні після катастрофи. Цю інформацію, висловлену фахівцями Кіровської експедиції Мінгеології СРСР, привіз із відрядження до м. Київ директор ВІМС А.Н. Єремєєв. На офіційний запит Гідрометеослужба надала оцифровку ходу варіацій атмосферного тиску за найближчою метеостанцією (м. Чернігів, 60 км від ЧАЕС). На рис. 1.11 наведено графік варіації атмосферного тиску P_A , де, починаючи із середини квітня, відстежується різко виражений прояв аномального баричного процесу [256].

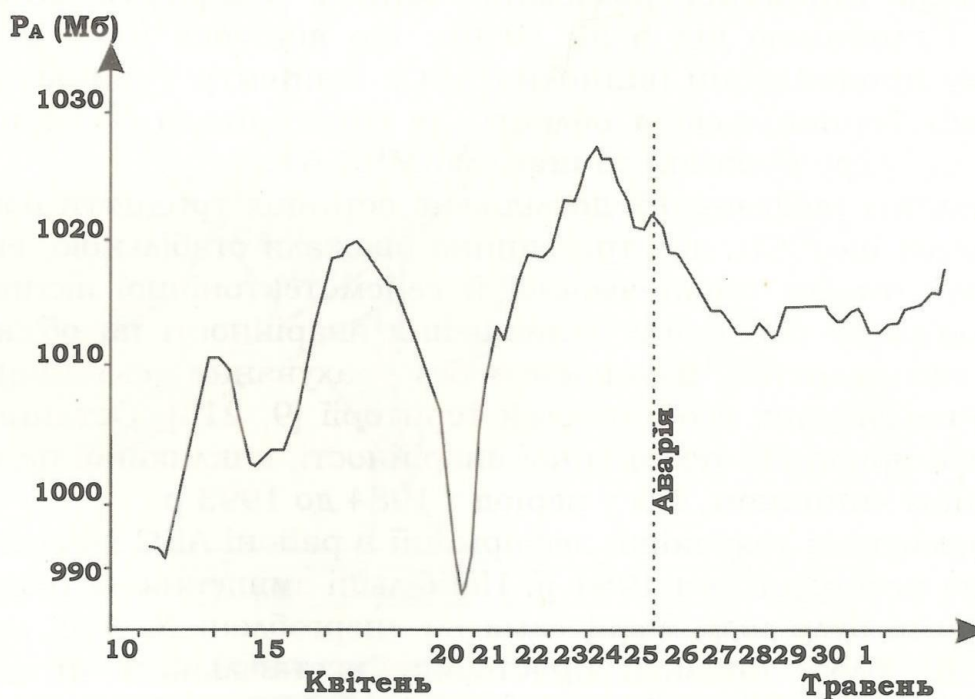


Рис. 1.11. Графік зміни атмосферного тиску за період з 10 квітня до 4 травня 1986 р. за даними метеостанції м. Чернігів (60 км від ЧАЕС)

Аварія відбулася через 5 діб після виникнення глибокого мінімуму P_A і через 2 доби після настання його максимуму. Після максимуму почався закономірний спад. Особливу увагу варто звернути на невелике зміщення тиску – 200 Па, що збігається з моментом виникнення аварії на ЧАЕС. За розрахунковими даними величина зростання тиску в районі АЕС могла становити більше 1000 Па. Такі зміни можуть бути викликані інтенсивними локальними геофізичними процесами.

З огляду на значну відстань від місця спостереження (м. Чернігів) до АЕС не можна з повною впевненістю стверджувати, що джерело баричного стрибка знаходилося в м. Чорнобиль. Але вже сама його наявність підтверджує припущення, що в геологічному середовищі в районі розміщення АЕС могли відбуватися процеси, що істотно збуджують геофізичні поля з можливим виходом на патологію (Роспатент № 2030769).

Аналіз карт погоди показав, що локальна область аномальної варіації атмосферного тиску (P_A), приблизно пов'язана з варіацією прискорення сили тяжіння (Δg), виникла в центрі Прип'ятської западини 14 квітня 1986 р. [256]. Далі потужність процесу підсилювалася, а центр збурювання за еліптичною траєкторією переміщався до південно-сходу. 20 квітня північніше м. Чорнобиль виник глибокий баричний мінімум (локальний вибуховий циклон), що перейшов до екстремально швидкого розвитку. Точка біфуркації поблизу м. Чорнобиль утворилася 25 квітня – у день різкого посилення аварійних ситуацій на електричних і транспортних мережах регіону, а також збільшення зафіксованих лікарями патологічних ситуацій. Через це диспетчер "Київенерго" вдень 25 квітня через нестачу енергії в мережі призупинив зниження потужності на енергоблоці № 4, що зупиняли, і знову поставив його під навантаження.

До 23 год 25 квітня, коли зниження потужності енергоблоку № 4 було продовжено, почали виникати перебої в системі керування. За годину до цього очевидці ззовні (охорона і рибалки) чули підземні глухі удари і бачили незвичайне хвилювання води на ставку-охолоджувачі.

У 1981–1983 рр. на території Українського щита були встановлені три сейсмічні станції комплексної сейсмологічної експедиції Об'єднаного Інституту фізики Землі РАН поблизу населених пунктів Норинськ, Глушковичі і Подлуби. Станції були встановлені в межах великомасштабного проекту з контролю ядерних вибухів на земній кулі і у зв'язку з цим мали досить високу чутливість. Вони були найближ-

чими до ЧАЕС під час аварії. На жаль, до записів цих станцій звернулися не відразу після катастрофи, а тільки через кілька років у зв'язку з відомостями, що з'явилися про реєстрацію сейсмічних явищ у районі розміщення АЕС [116, 147]. За записами виявили, що в ніч з 25 на 26 квітня 1986 р. всі три сейсмостанції ("Норинськ", "Глушковичі" і "Подлуби") зареєстрували сигнали (див. рис. 1.12), близькі за часом до початку аварії на АЕС.

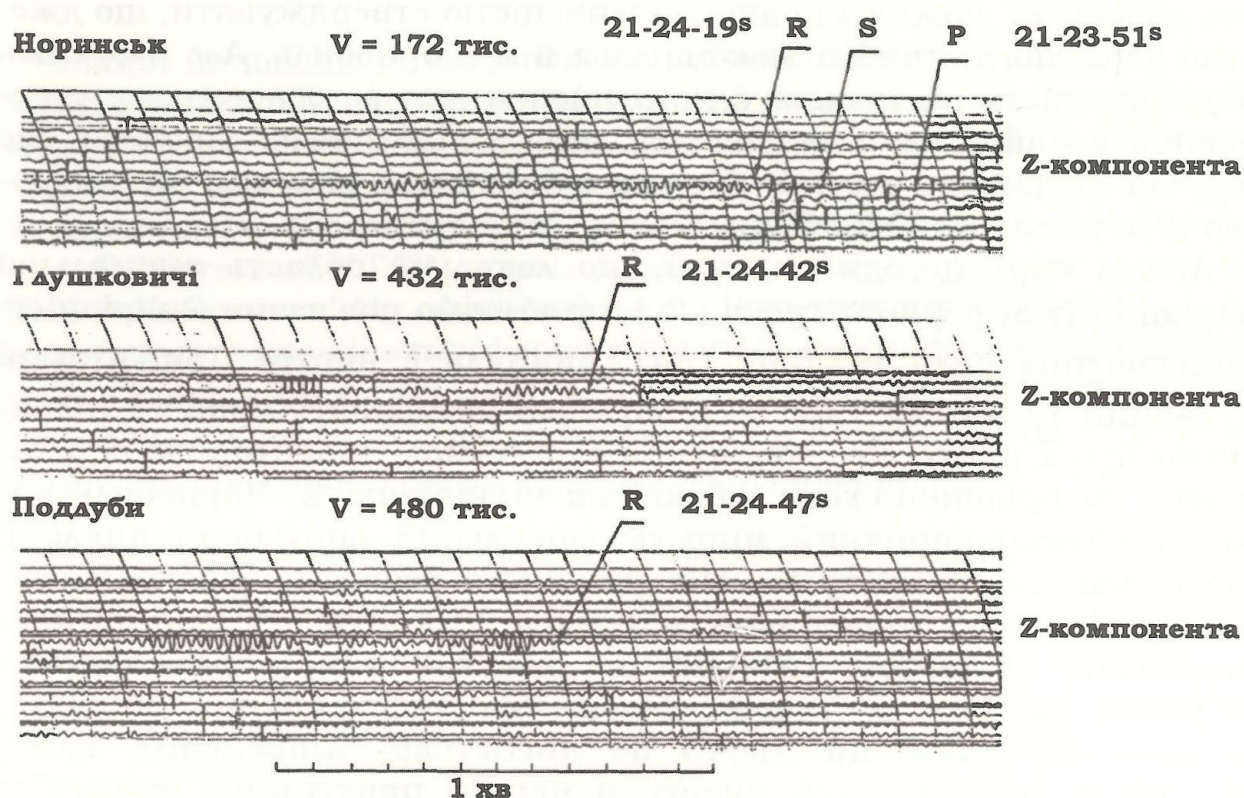


Рис. 1.12. Записи сейсмічної події з вогнищем поблизу ЧАЕС на сейсмостанціях "Норинськ", "Глушковичі" і "Подлуби"

На каналах типу СКМ-3 виділені тільки поверхневі хвилі з періодами $T = 1,35-1,50$ с. На більш високочутливих вузькосмугових вертикальних каналах періоди поверхневих хвиль мали значення $T = 1,25-1,4$ с. На вузькосмуговому каналі станції "Норинськ" видно об'ємні P і S -хвилі малої інтенсивності з періодами відповідно 0,5 с і 0,45 с. Аналіз сейсмограм дозволив припустити [9, 212], що на станціях записані сейсмічні хвилі від слабкої сейсмічної події в зоні перетину Тетерівського і Південно-Прип'ятського розломів поблизу АЕС. Приблизно через 10-20 с після розрахункового

часу початку землетрусу відповідно до зафіксованої з високою точністю хронології аварії на АЕС відбулися два "сильні глухі вибухи" і над енергоблоком № 4 злетіли розпечені агрегати реактора.

У підтримку гіпотези виникнення місцевого землетрусу свідчать такі факти [9, 212]:

➤ у показаннях багатьох свідків є ознаки землетрусу. На території АЕС, за зафіксованими у документах свідченнями очевидців, спостерігали макросейсмічні явища: з боку ставка-охолоджувача перед аварією був чутний низькочастотний об'ємний гул; на насосній станції персонал відчував випереджальну щодо вибуху реактора сильну вібрацію; за 10–15 с перед вибухом спостерігали світіння, глухі удари і сильну вібрацію будівлі АЕС; охоронець спостерігав коливання підлоги поблизу енергоблоку № 4 [79]. Один з очевидців стверджував [172], що почув гул зовсім незнайомого характеру, дуже низького тону, схожий на стогін людини (про подібні ефекти розповідали звичайно очевидці землетрусів або вулканічних вивержень). Сильно похитнуло підлогу і стіни, зі стелі посипався пил і дрібна крихта, погасло люмінесцентне освітлення, потім відразу ж почувся глухий удар, що супроводжувався громоподібними розкатами;

➤ перший сильний вибух на АЕС був наземним і не відчувався навіть у найближчому м. Прип'ять. Тому навряд чи він міг бути зареєстрований на відстані 100–180 км сейсмостанціями "Норинськ", "Глушковичі" і "Подлуби". Побічним доказом цього є відсутність на сейсмограмах цих сейсмостанцій слідів повторного вибуху, що відбувся о 1 год 39 хв, тобто через 15–16 хв після першого і не поступався йому за потужністю;

➤ співвідношення амплітуд і видимих періодів P , S і поверхневих хвиль на записах близькі до типових співвідношень для локальних землетрусів і помітно відрізняються від співвідношень, що спостерігають на записах поверхневих і підземних вибухів, зареєстрованих аналогічною апаратурою [9];

➤ недалеко від АЕС виділено кілька систем великих тектонічних розломів, з районів яких удалося зареєструвати чотири місцеві сейсмічні події [80, 147]. На рис. 1.13 показано положення вогнищ землетрусів, зареєстрованих системою із чотирьох сейсмічних станцій ІГФ НАН України (трикутники), який проводив спостереження протягом кількох місяців у 1996 р.

На рис. 1.14 показано трикомпонентний запис на станції "Копачі" (КРС) місцевого землетрусу 16 квітня 1996 р. з параметрами: час у вогнищі – 00 год 50 хв 8,1 с за Гринвічем, північна широта – 51,353 °, східна довгота – 29,994 °, магнітуда – $M_d = 0,9$.

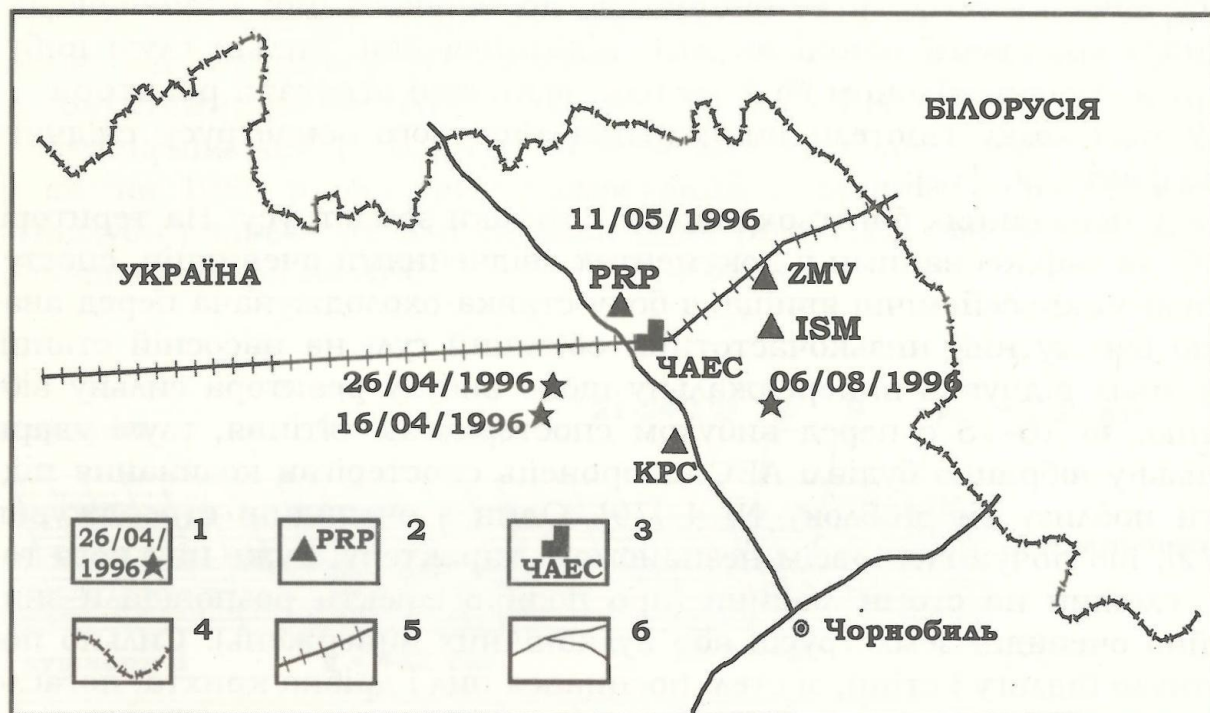


Рис. 1.13. Система сейсмічних станцій ІГФ НАН України поблизу ЧАЕС у 1996 р.:

- 1 – положення епіцентрів зареєстрованих землетрусів з датою;
 2 – тимчасові сейсмічні станції із скороченою назвою; 3 – положення АЕС;
 4 – державний кордон; 5 – залізниця; 6 – автомобільні дороги

На підставі викладеного вище у роботах [9, 212] було висловлено припущення, що 26 квітня 1986 р. за кілька секунд до вибуху на енергоблоці № 4 ЧАЕС у районі розміщення АЕС, можливо, відбувся локальний землетрус. У роботі [212] наведено результати кількісного моделювання проявів цього гіпотетичного землетрусу на майданчику АЕС у вигляді розрахункових акселерограм. Результати їхнього аналізу підтверджують, що за своїм енергетичним рівнем землетрус не міг стати прямою причиною руйнування реактора або його вузлів.

Використовуючи акселерограми як додаткові сейсмічні впливи, фахівці-атомники могли б дати відповідь на запитання: чи міг землетрус уплинути на хід технологічних процесів в умовах нестабільного режиму роботи реактора таким чином, щоб спровокувати аварію? Наприклад, чи не було причиною зупинення опускання графітових стрижнів крутіння нижньої частини реактора щодо верхньої під час землетрусу? На жаль, переконливої відповіді на ці питання не отримано.

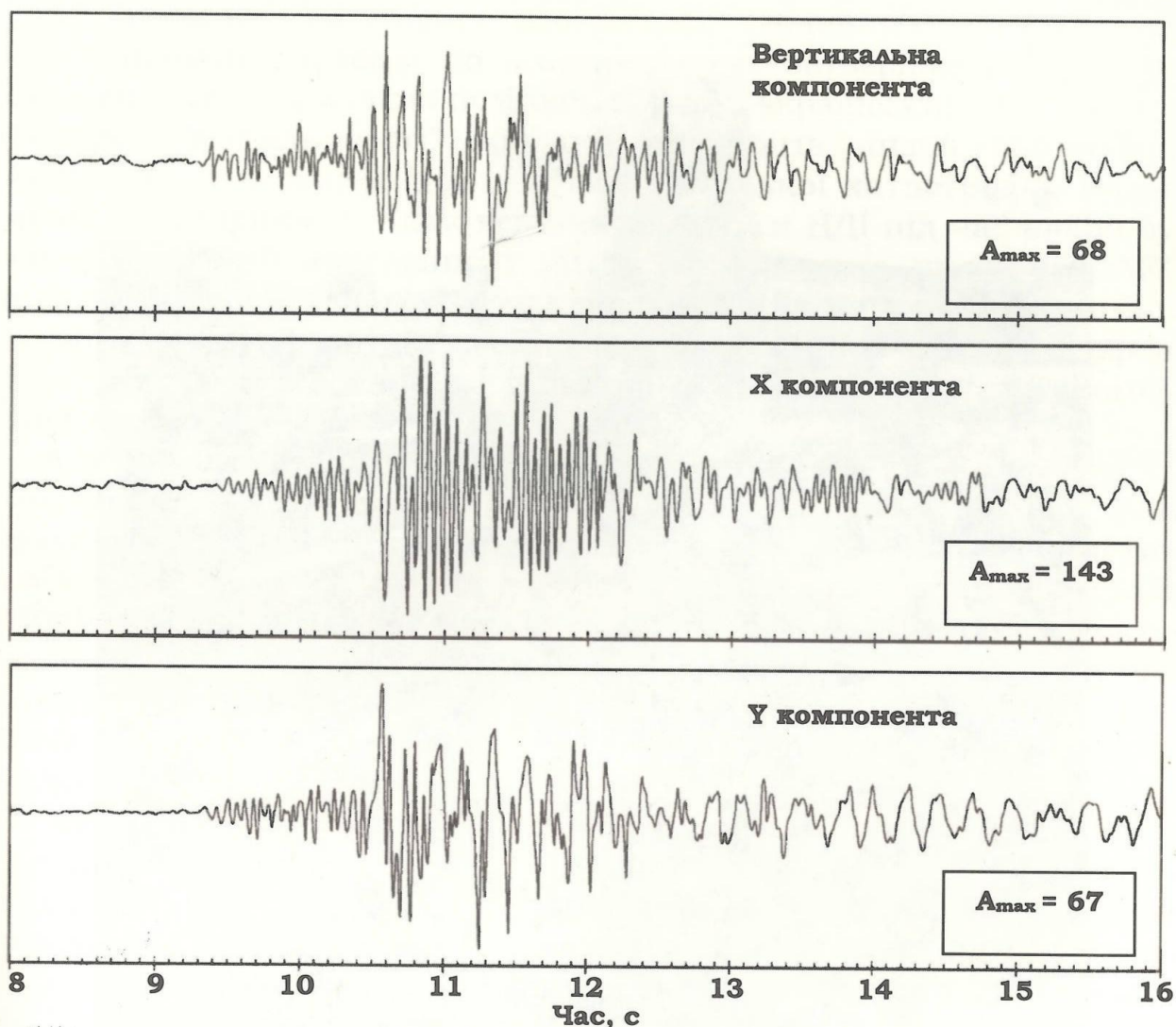


Рис. 1.14. Запис місцевого землетрусу 16.04.96 на сейсмічній станції "Копачі"

У нормативних документах колишнього СРСР, чинних на час проектування і будівництва ЧАЕС, не було встановлено вимог щодо врахування сейсмічних ефектів крутіння. Передбачалося, що в зоні можливого виникнення місцевих землетрусів не будуть будувати АЕС, а в разі віддалених землетрусів цим ефектом можна знехтувати. Якщо, землетрус поблизу ЧАЕС був, то не можна виключити виникнення ефекту, схожого на зображений на фотографії (рис. 1.15) ефект крутіння верхньої частини гранітного пам'ятника щодо нижньої під час Ташкентського землетрусу 1966 р.



Рис. 1.15. Крутіння верхньої частини гранітного пам'ятника щодо нижньої під час Ташкентського землетрусу 1966 р.

Створилася "патога" ситуація, за якої у геофізиків немає переконливих доказів природних причин аварії на ЧАЕС, тому що їхні рекомендації про необхідність інструментального геофізичного контролю довкілля ні до аварії, ні після неї не виконували, а слідчі і фізики-атомники продовжують розглядати тільки техногенні причини і "людський чинник". Питання про гіпотетичний місцевий землетрус могло б бути вирішено, якби в колишньому СРСР виконували рекомендації МАГАТЕ про необхідність встановлення на кожній АЕС сейсмічної реєстраційної апаратури. Відзначимо, що і сьогодні в Україні ця реко-

мендація МАГАТЕ не повністю виконується. Нерозуміння і як наслідок ігнорування потенційно небезпечних геодинамічних і геофізичних чинників призвело до згортання уже затвердженої програми створення геодинамічних полігонів навколо українських АЕС.

Версії "випадковості" або простих збігів низки аномальних явищ, що проявилися під час Чорнобильської катастрофи, малоймовірні. Наприклад, Харківським номерним НДІ під час аварії був зареєстрований локальний прогин іоносферного шару над АЕС, а на космознімку, зробленому через 10 год після вибуху, отримано відображення трьох унікальних локальних утворень в атмосфері. Одне з них з урахуванням північно-західного переносу в момент вибуху могло бути над ЧАЕС.

А.А. Рухадзе – доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник Інституту загальної фізики РАН, фахівець у галузі електродинаміки суцільних середовищ, кінетичної теорії плазми і теорії неврівноважених середовищ у статті [206] пише, що чорнобильські події просто неможливо коректно пояснити в межах існуючих фізичних уявлень. Справжні причини вибуху дотепер не досліджені, оскільки в експлуатації є кілька АЕС, ідентичних Чорнобильській, немає гарантії, що трагедія не може повторитися.

Зроблені А.А. Рухадзе розрахунки показали, що час, за який реактор міг розігнатися до стану початку руйнування, навіть для найшвидших з офіційно передбачуваних моделей аварії вчетверо перевищує розрахунковий. З чого він робить висновок [206], що людство поки знайоме не з усіма властивостями ядерних реакцій, і в реакторі відбулося щось зовсім інше. Швидше за все ізотопний склад ядерного палива, що використовували, у силу певних причин зазнав істотних змін.

Спробуємо уявити ще один геофізичний чинник, що теоретично міг призвести до чорнобильської катастрофи. Його доцільно враховувати в майбутньому під час проектування і при будівництві особливо відповідальних об'єктів.

Низка зафіксованих під час аварії фактів явно суперечать гіпотезам теплового або ядерного вибуху. Особливий інтерес у цьому плані становить вивчення руйнувань усередині реактора [95]. Помітних температурно-динамічних впливів на бічних стінках реактора немає. Більше того, на фрагментах конструкцій, що звалилися зверху, олійна фарба не обгоріла, не втратила кольору і на ній навіть не було пухирів. Шахта ректора практично порожня – у ній виявлено тільки кілька відсотків палива, що залишилося в реакторі [94].

Зовсім інша ситуація в підреакторному приміщенні: в опорній хрестовині, виконаній з нержавіючої гофрованої сталі, знайдено пропіки невизначеної форми розміром до 1,7 м²; усі комунікації (пучки труб охолодження тощо) зникли; ізоляція зовнішнього контуру оплавлена. На підлозі – шар шлаку. У підреакторному відділенні – безліч бурульок зі сталі та інших матеріалів. У нижньому барботерному приміщенні – застигли потоки миттєво утвореного розплаву – "чорнобильської лави", що містить уламки твелів, незгорілого графіту та інших матеріалів. Тут же сумновідома "слоняча нога". Лава, що стікала зверху, застигла в основному у вертикальному положенні, що свідчить про миттєвий характер процесу і повну відсутність додаткових джерел тепла. Пожежі як такої не було. У суміжному машинному приміщенні горіло тільки мастило турбогенератора, що відразу було погашено операторами, які прибігли із зали керування. Інші дрібні вогнища загоряння загасила підоспіла пожежна охорона [52, 94–95].

Слідів бризантного впливу вибухівки ніде не було. Характерний тільки високотемпературний вплив аж до випару кераміки і навіть титану. Ці факти дозволяють висунути гіпотезу про наявність зовнішнього джерела енергії – високотемпературної плазми (концепція Томського політехнічного інституту), що підійшла знизу по активізованому розлому. Аналогом цього явища може бути викид високотемпературної плазми під час Сочинського землетрусу 04.12.70, коли на місцевій тепловій електростанції був зареєстрований викид десятків кульових блискавок, що розплавляли і випарили ряд агрегатів. Ця інформація була повідомлена відомим сейсмологом Н.В. Шебалінім у 1996 р. незадовго до його кончини.

Про випереджальні спалахи і більше 20 різких вибухів свідчили у своїх передсмертних показаннях оператори енергоблоку № 4 Чорнобильської АЕС. Вони сприйняли ці явища як замикання у високовольтних кабелях. Відзначимо, що правильно зрозуміти в умовах найсильнішого зовнішнього психофізичного впливу незвичайні явища, що відбувалися, протягом лічених секунд було просто неможливо. Тепер, коли всю картину руйнування енергоблоку вивчено досконально [52, 94–95], є можливість обґрунтувати гіпотезу неядерної, природної причини вибуху як однієї з можливих і такої, що не суперечить відомим фактам.

Фізико-хімічним властивостям і механізові дії кульових блискавок (плазмоїдів) останнім часом присвячено досить багато робіт [31, 231, 251]. Відомо, що кульова блискавка, зокрема, має велику питому енергію; густина енергії в ній перевершує відомі хімічні

джерела більше ніж у 100 разів; вона приблизно на три порядки перевищує питому енергію тротилу. Однак питома енергія самої кульової блискавки на чотири порядки менша ядерної. Відзначимо, що саме занадто низьке, як для ядерного вибуху, виділення енергії заводить у глухий кут моделювання ядерних варіантів вибуху на ЧАЕС [52, 94–95].

Час "життя" плазмоїдів – 10–100 с, а температури ті ж самі, що спостерігалися під час аварії, 40–50 тис. градусів за Цельсієм. Крім того, для плазмоїдів характерні довготривале сильне магнітне поле і значний магнітний момент. Взаємодія магнітного монополя з ядром атома речовини відбувається без розпаду монополя, розпадаються тільки протони ядра. Крім того, монополе відіграє роль каталізатора ядерних процесів і здатне навіть змінювати період піврозпаду радіонуклідів [231, 251].

Аналізуючи картину руйнування, можна припустити, що високотемпературний плазмоїд скинув основну енергію в підреакторному приміщенні енергоблоку № 4 (опора реактора, схема "3" на рис. 1.8–1.9). Далі він пропалив частину підлоги шахти реактора і практично випарував його активну зону. Теплове розширення підкинуло кришку "Е" і викинуло продукти в Центральний зал. Пішло руйнування даху і викид фрагментів реактора назовні. Розплавлена частина з підреакторного приміщення злилася в нижній барботерний зал.

Попередні розрахунки показують, що енергія зовнішнього (геофізичного) впливу мала перевищувати залишкову потужність, яку тоді мав реактор (200 МВт) приблизно на два порядки.

Що ж у такому випадку реєструвала система централізованого контролю (СЦК "Скала"), інформацію якої, зареєстровану з періодичністю опитування в одну секунду, використовувала Державна комісія для висновку про "рознос на миттєвих нейтронах"?

Аналіз більше 20 великих технологічних аварій (прориви гребель, обвалення різних конструкцій, вибухи тощо) показав, що в ході підготовки природних аномальних явищ, пов'язаних зі змінами в геологічному середовищі, відбувається збурювання усіх геофізичних полів: механічних, електромагнітних, еманацийних, температурних, акустичних тощо. За даними [9, 212] на основі великої кількості фактичного матеріалу сейсмотектонічного дослідження іонізація повітря (ознака "миттєвих нейтронів") є найпоширенішим і загальновідомим наслідком підготовки вогнища землетрусу, де електрична напруженість може досягати мільйонів вольт на метр. У зв'язку із цим усю інформацію, записану СЦК "Скала"

в ніч на 26 квітня 1986 р., запропоновано розглядати [9, 212] як пряме описання природного аномального процесу, пов'язаного з тектонічною активізацією місцевих геологічних структур, що призвели до катастрофічних наслідків.

У межах цієї роботи не може бути наведена вся інформація, отримана вже в перші місяці після Чорнобильської катастрофи: про особливості розміщення промислового майданчика ЧАЕС на "Карті розломів території СРСР і суміжних країн" масштабу 1 : 2 500 000; про аномальні явища і процеси, зафіксовані на космознімках хмарності; про баричні характеристики атмосфери для усіх основних стадій підготовки геодинамічного процесу тощо. Частину матеріалів про аномальні явища, що спостерігали протягом аварії, та реакцію персоналу АЕС наведено в роботі [256]. Усі вони разом узяті (і які збігаються за часом) дозволяють зробити висновок про те, що причинами катастрофи могли бути природні чинники, обтяжені "людським чинником" і конструктивними недоліками реактора типу РБМК-1000. Більше того, є підстави припускати, що якби енергоблок № 4 у момент імовірного викиду плазмоїда працював на нормальній тепловій потужності (3 тис. 200 МВт), то наслідки для АЕС були б гіршими.

Наведена вище інформація свідчить про недостатній захист ядерних енергетичних установок та інших техногенно- і екологічно небезпечних об'єктів від природних аномальних процесів. Для зниження природного ризику цих об'єктів варто істотно переглянути нормативні документи, що визначають геофізичні вимоги до вибору місць їхнього розміщення.

З огляду на здатність природного, у тому числі геологічного середовища, істотно змінювати свої параметри під впливом ендо- і екзогенних природних чинників і техногенного навантаження, варто передбачити проведення постійного геофізичного моніторингу районів розташування ядерних енергетичних установок та інших техногенно і екологічно небезпечних об'єктів.

Сьогодні є достатньо підстав стверджувати, що ряд техногенних аварій і катастроф на різних об'єктах народного господарства (транспорт, зв'язок, будівельні конструкції), включаючи, можливо, ЧАЕС, відбулися унаслідок природних аномальних процесів. На щастя, високою імовірністю їхнього виникнення характеризуються тільки відносно невеликі за площею активні геотектонічні зони, положення і динамічний розвиток яких можна досліджувати за допомогою геофізичних методів. Для досягнення високого рівня безпеки варто перейти до науково-обґрунтованого вибору терито-

рій для розміщення майданчиків об'єктів підвищеного ризику з найсуворішим аналізом стану і динаміки геолого-геофізичного середовища.

Під час планування розвитку економіки країн варто враховувати всю складність взаємодій у системі "Людина – Машина – Природа" і сформулювати на цій основі новий концептуальний підхід до проблеми безпеки об'єктів народного господарства, де неодмінно слід передбачити проведення геофізичного моніторингу районів розташування ядерних енергетичних установок та інших потенційних техногенно і екологічно небезпечних об'єктів на всіх етапах їхнього життєвого циклу. Це дозволить максимально зменшити людські і матеріальні втрати від аварій, пов'язаних з природним впливом на техносферу.

РОЗДІЛ 2

СЕЙСМІЧНІСТЬ І СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

2.1. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ КАТАСТРОФИ ТА ШЛЯХИ ЇХНЬОГО ЗАПОБІГАННЯ. ЗЕМЛЕТРУСИ

Одним із найстрашніших і руйнівних природних явищ на нашій планеті є землетруси. Землетрус являє собою швидкий рух (або деформацію) величезних блоків земної кори, викликаний миттєвою релаксацією напружень, що акумулюються у них протягом тривалого періоду часу завдяки внутрішнім тектонічним процесам.

Величезні плити, що формують поверхню Землі, продовжують поволі переміщатися. У більшості випадків цей рух є поступовим (криповим – без землетрусів). Але інколи міцно з'єднані між собою плити не можуть поступово вивільняти пружну енергію, а накопичують (акумулюють) її. Коли енергії накопичується достатньо для виконання роботи з руйнування середовища між плитами, вона вивільняється протягом короткого відрізка часу (практично миттєво). У результаті між такими плитами утворюються тектонічні розломи, а в середовищі планети випромінюються сейсмічні хвилі, які, розповсюджуючись, досягають поверхні Землі і змушують її коливатися, що, у свою чергу, може викликати руйнування споруд, зміну рельєфу, розрідження ґрунтів, зсуви тощо і сприймається людиною як землетрус.

Джерелом потенційної небезпеки для населення і довкілля, крім прямої загрози землетрусу в сейсмічних районах, є техногенно і екологічно вразливі промислові об'єкти, такі як: атомні електростанції (АЕС), гідроелектростанції (ГЕС), дамби, термінали з паливними та хімічними речовинами, газо- та нафтопроводи, шахтні розробки, підприємства, де застосовують технології з використанням радіоактивних матеріалів тощо. Порушення нормального функціонування та руйнування таких об'єктів унаслідок природних катастроф несе в собі потенційну загрозу для населення й економіки країни, може спричинити людські втрати та призвести до значних матеріальних збитків.

Питання безпеки набуває все більшого значення у зв'язку з тяжкими наслідками аварій на об'єктах, що містять у собі складові ядерно-паливного циклу, починаючи від видобутку та переробки уранових руд, функціонування АЕС і закінчуючи об'єктами довгострокового збереження і захоронення радіоактивних відходів [1, 10, 29–30, 139, 223]. Людству відомі неодноразові аварійні ситуації різної тяжкості, у тому числі з катастрофічними наслідками, що сталися на енергетичних об'єктах на території Росії, Великобританії, США, України. Очевидно, що до техногенно та екологічно небезпечних об'єктів потрібно застосовувати жорсткі вимоги щодо функціональної безпеки, і в тому числі до їхньої сейсмічної безпеки. Дотримання вимог сейсмічної безпеки можна досягнути шляхом проведення спеціальних заходів з пониження рівня сейсмічного ризику.

Землетрус є надзвичайно небезпечним явищем природи. Зумовлені динамікою земних надр, землетруси струшують, а найсильніші з них можуть також змінювати земну поверхню, впливаючи на екологію планети. Геодинамічні і сейсмічні процеси тісно пов'язані з рухом і взаємодією великих літосферних блоків, завдяки чому розташування джерел землетрусів на земній кулі має достатньо закономірний характер, що в цілому добре пояснюється теорією тектоніки літосферних плит [100, 143, 261].

Оскільки до 12 % суходолу планети, де проживає половина людства, зазнає руйнівного впливу землетрусів, вони одночасно є і соціальним явищем. Кожна значна сейсмічна подія в густонаселеній місцевості стає катастрофічною. Людські втрати від землетрусів становлять 60 % від загальної кількості жертв, спричинених стихійними лихами. Землетруси відбуваються зненацька і це посилює їхні руйнівні наслідки. Помірні за енергією землетруси можуть стати катастрофічними в районах, де не було вжито відповідних захисних заходів, не дотримано норм сейсмостійкого будівництва, особливо для соціально значимих, техногенно і екологічно небезпечних об'єктів. Наслідки руйнівних землетрусів можуть бути відчутними протягом десятиріч, а витрати на їхню ліквідацію – потребувати значної частини державних бюджетів.

Прикладів катастрофічних землетрусів, на жаль, дуже багато: 1755 р. – у м. Лісабон, 1906 р. – у м. Сан-Франциско, 1908 р. – у Сицилії, 1950 р. – у Гімалаях, 1957 р. – у Західній Монголії, 1960 р. – у Чилі. У 1976 р. 255 тис. осіб стали жертвами дуже сильного землетрусу в Китаї. 3 тис. 100 осіб загинуло під час землетрусу в 1980 р. в Італії, 2 тис. 500 – у 1981 р. в Ірані. У 1994 р. потужні підземні поштовхи струшували м. Сан-Франциско, руйнуючи авто-

мобільні естакади. Катастрофічний землетрус 1995 р. у м. Нефтегорськ на півночі Сахаліну зруйнував будівлі, де під уламками загинуло понад 2 тис. осіб. Узимку 1998 р. потужний землетрус відбувся в Афганістані. У Туреччині у 1999 р. під уламками власних будівель було поховано близько 100 тис. осіб. Страшними за своїми наслідками стали події в грудні 2003 р. в Ірані та 2004 р. у Південно-Східній Азії, де кількість жертв від викликаного землетрусом цунамі перевищила 280 тис.

Цей перелік може бути подовжений, оскільки землетруси різної сили в різних районах земної кулі відбуваються постійно (рис. 2.1, табл. 2.1), завдаючи значних матеріальних збитків і призводячи до численних жертв.

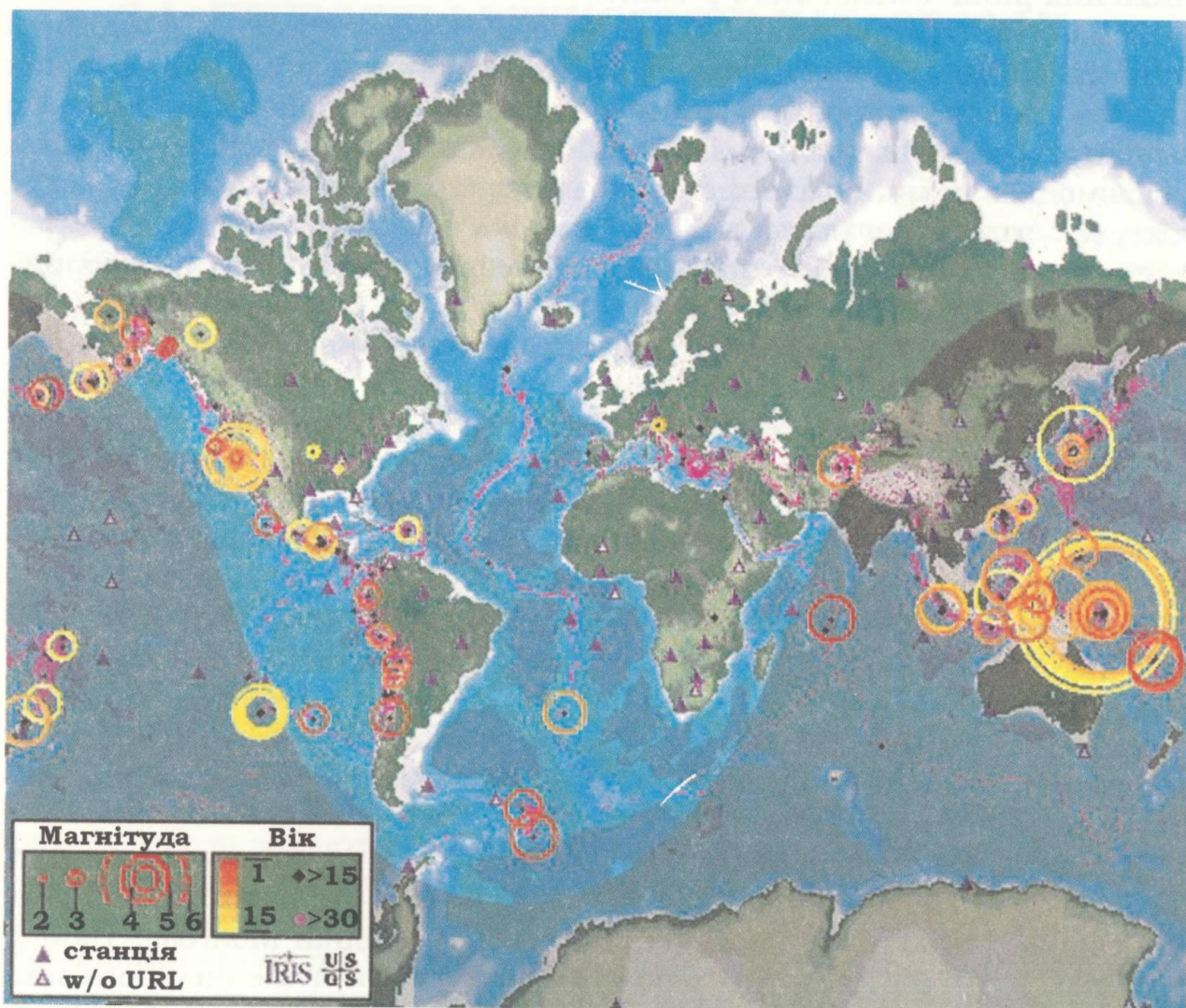


Рис. 2.1. Ілюстрація сейсмічної активності на земній кулі (за даними станцій спостережень системи IRIS протягом одного місяця)

Таблиця 2.1

**Частота виникнення землетрусів різної сили
(з 1900 р. за даними Національного інформаційного
центру землетрусів (NEIC) при Геологічній службі США) [51]**

Категорія землетрусу	Магнітуда	Середньорічна кількість землетрусів
Катастрофічні	8 і більше	1
Дуже сильні	7–7,9	18
Сильні	6–6,9	120
Помірні	5–5,9	800
Легкі	4–4,9	62 000*
Слабкі	3–3,9	49 000*
Дуже слабкі	< 3,0	2–3 млн (близько 1 тис. щоденно) 1–2 млн (близько 8 тис. щоденно)

У табл. 2.2 наведено перелік найбільш катастрофічних землетрусів світу за історичними даними.

Таблиця 2.2

**Найбільш руйнівні землетруси світу
(дані Національного інформаційного центру землетрусів (NEIC)
при Геологічній службі США) [51]**

Дата	Місце	Кількість жертв	Магнітуда
23 січня 1556 р.	Шансі, Китай	830 000	–
24 грудня 2004 р.	о. Суматра	280 000	9,0
27 липня 1976 р.	Тоншань, Китай	255 000	8,0
9 серпня 1938 р.	Алеппо, Сирія	230 000	–
22 травня 1927 р.	Кхинінг, Китай	200 000	8,3
22 грудня 856 р.	Дамган, Іран	200 000	–
16 грудня 1920 р.	Гансю, Китай	200 000	8,6
23 березня 893 р.	Ардабіл, Іран	150 000	–
1 вересня 1923 р.	Кванто, Японія	143 000	8,3
28 грудня 1908 р.	Мессіна, Італія	100 000	7,5
Вересень 1290 р.	Чихлі, Китай	100 000	–
Листопад 1667 р.	Шемаха, Кавказ	80 000	–
18 листопада 1727 р.	Табриз, Іран	77 000	–
1 листопада 1755 р.	Лісабон, Португалія	70 000	8,7
25 грудня 1932 р.	Гансю, Китай	70 000	7,6
31 березня 1970 р.	Перу	66 000	7,8

Проаналізуємо сейсмічні події світового масштабу, що не відображені в табл. 2.2, але вимагають особливої уваги. Серед них і "землетрусикатастрофи": землетрус 19 вересня 1985 р. у Мексиці, під час якого загинуло понад 9,5 тис. осіб, Спітакський землетрус 7 грудня 1988 р. – понад 25 тис.; землетрус у західному Ірані 20 червня 1990 р. – понад 50 тис. жертв; турецький землетрус 17 серпня 1990 р. ($M = 7,8$; $I_0 > 9$ балів) – загинуло до 12 тис. осіб і поранено до 33 тис. Катастрофа повторилася через три місяці 12 листопада 1990 р. і знову забрала чимало людських життів. Країні було завдано величезних матеріальних збитків. Землетрус поблизу м. Кобе в Японії 17 січня 1995 р. ($M = 7,2$) забрав життя майже 6 тис. 300 осіб, зруйнував понад 200 тис. будівель. Матеріальні збитки становили близько 100 млрд дол США. 20 вересня 1999 р. у Тайвані відбувся руйнівний землетрус ($M = 7,7$), загинуло близько 2 тис. осіб і було поранено понад 9 тис., зруйновано понад 12 тис. будинків [156].

Енергія, що накопичується в межах великих територій навколо вогнищ сильних землетрусів, як правило, не може вивільнитися повністю одночасно. У вогнищі землетрусу відбуваються повторні рухи протягом наступних годин, днів, тижнів, місяців, навіть років до того часу, поки повторні поштовхи не вичерпають залишків накопиченої енергії. Кожен зі згаданих вище катастрофічних землетрусів супроводжувався великою кількістю повторних поштовхів – афтершоків, серед яких були і досить сильні, що завдавали значних збитків, спричинюючи обвали вже частково зруйнованих будівель і споруд.

Зазначимо, що основна кількість людських жертв і нещасних випадків під час землетрусів пов'язана з руйнуванням споруд і будівель. Сейсмічні поштовхи змушують будинки і споруди коливатися. Оскільки вони мають велику масу, під час коливань на конструкції діють значні сили інерції, у результаті чого в них виникають високі механічні напруження, що можуть перевищити міцність будівельних матеріалів і призвести до пошкодження або навіть до руйнування цих конструкцій і всієї споруди. Високий ступінь ризику виникнення руйнівних землетрусів вимагає їхнього поглибленого вивчення, включаючи теорію і практику прогнозування сейсмічної небезпеки (сейсмічного районування різних рівнів), нормування сейсмостійкого проектування і будівництва, розроблення заходів швидкого реагування на землетруси, що відбулися, заходів з відновлення житла, інфраструктури населених пунктів, економіки постраждалих районів і соціальної реабілітації населення після катастрофічного землетрусу. Сейсмостійке проектування ускладнюється тим, що залежно від спектра випромінювання з вогнища землетрусу, кута підходу хвилі до поверхні, характеристик споруди, форми і глибини закладення її фундаменту та інших чинників можуть одночасно збуджуватися різні просторові моди коливань споруди в цілому та її окремих конструкцій.

Сейсмостійкому будівництву в усіх країнах світу приділяють велику увагу. Особливо це стосується таких відповідальних об'єктів, як АЕС, ГЕС, хімічні та нафтопереробні підприємства. Проектування та зведення будівель і споруд у сейсмонебезпечних районах має забезпечити їхню стійкість (невразливість) до землетрусів. Як відмічено в [51, 100], головне в проектуванні сейсмостійких будівель і споруд – "зв'язати" будівлю, тобто з'єднати всі елементи споруди: балки, колони, стіни і плити в єдину міцну, але разом із тим і гнучку конструкцію, здатну протистояти коливанням ґрунту. Завдяки цим заходам, наприклад, у м. Мехіко зводять 35–45 поверхові хмарочоси, а в м. Токію, на високосейсмічних територіях, навіть у 60 поверхів. На території Японії розміщено значну кількість АЕС, конструкція яких розрахована на дуже сильні землетруси.

Забезпечення сейсмостійкості – обов'язкова вимога під час будівництва та експлуатації об'єкта в сейсмонебезпечних районах. Додаткове збільшення вартості становить за інженерною оцінкою менше 10 %, якщо відповідні проблеми враховують на стадії проектування об'єктів.

Небезпечною тенденцією розвитку природних катастроф є постійне зниження захищеності людей і техносфери. Кількість загиблих від природних катастроф за останні 35 років становить понад 4 млн осіб. Стрімкими темпами зростають економічні втрати від природних катастроф: у 60-х рр. минулого століття вони становили декілька мільярдів доларів, а в кінці століття досягли вже 85 млрд дол США. Сумарна величина економічних збитків у світі в другій половині ХХ ст. становила 895 млрд дол США [156].

Раніше зусилля багатьох країн були спрямовані лише на ліквідацію наслідків небезпечних природних явищ, надання допомоги постраждалим, організацію рятувальних робіт, надання матеріальних, технічних і медичних послуг тощо [85, 96]. Однак незворотне зростання кількості катастрофічних подій і пов'язаних з ними втрат роблять усі ці зусилля все менш ефективними і водночас висувають для вирішення нові питання – прогнозування та попередження природних катастроф. Прогнозування землетрусів – прогноз місця, сили та часу сейсмічної події – є однією з найважливіших науково-технічних проблем світового масштабу [156–159, 163].

Значне місце в новій стратегії займає проблема оцінювання та управління природними ризиками [65, 163]. Ця проблема включає низку фундаментальних наукових завдань:

- прогнозування небезпечних природних процесів і явищ;
- моделювання механізму їхнього розвитку;
- оцінювання рівня безпеки людей і стійкості інфраструктури під час руйнівних процесів;
- управління ризиками.

Центральне місце в сучасній стратегії боротьби з природними загрозами належить розробці наукових технологій аналізу та оцінювання природних ризиків [47–50, 107, 131, 155–159, 163, 200, 310].

Оцінювання ризиків дозволяє розв'язати комплекс життєво важливих проблем сталого розвитку суспільства, зокрема:

- розробити нормативні документи та законодавчі акти щодо регулювання господарського використання територій;

- вести спрямоване інвестування заходів щодо зниження рівня загроз від небезпечних природних явищ;

- планувати створення систем попередження та реагування на природні небезпеки (моніторинг, мобільне реагування).

Оцінювання ризиків є актуальним і тому, що матеріальні збитки та людські жертви є наслідком прояву процесів:

- природних;

- природно-техногенних геологічних (геологорозвідувальної діяльності – стадії великомасштабних і детальних робіт із застосуванням гірничих виробок і густої мережі свердловин, спричинених діяльністю людини);

- техногенних (цілком пов'язаних з діяльністю людини).

Розвиток методики і технологій аналізу та оцінювання природних ризиків сьогодні є ключовим моментом розв'язання проблем природних катастроф.

2.2. ВИМОГИ ДО ОЦІНКИ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ РОЗМІЩЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ (НА ПРИКЛАДІ АЕС УКРАЇНИ)

Майже до 40 % території України можуть бути охоплені безпосереднім впливом сейсмічних подій. Найбільш небезпечними є Кримський, Карпатський і Південно-західний регіони (рис. 2.2). Карпатський регіон України характеризують досить значним рівнем сейсмічної небезпеки. За даними загального сейсмічного районування території України існує небезпека виникнення землетрусів інтенсивністю 7–8 балів у Закарпатті та до 6–7 балів на території Передкарпаття, Буковини, Волино-Поділля, особливо в західній та південно-західній його частинах. Землетруси такої сили неодноразово відбувалися на цій території, про що свідчать історичні відомості, наведені в [91]. Південний захід і центр України (аж до Буковини включно) перебувають під впливом сильних підкорових карпатських землетрусів із зони Вранча в Румунії.

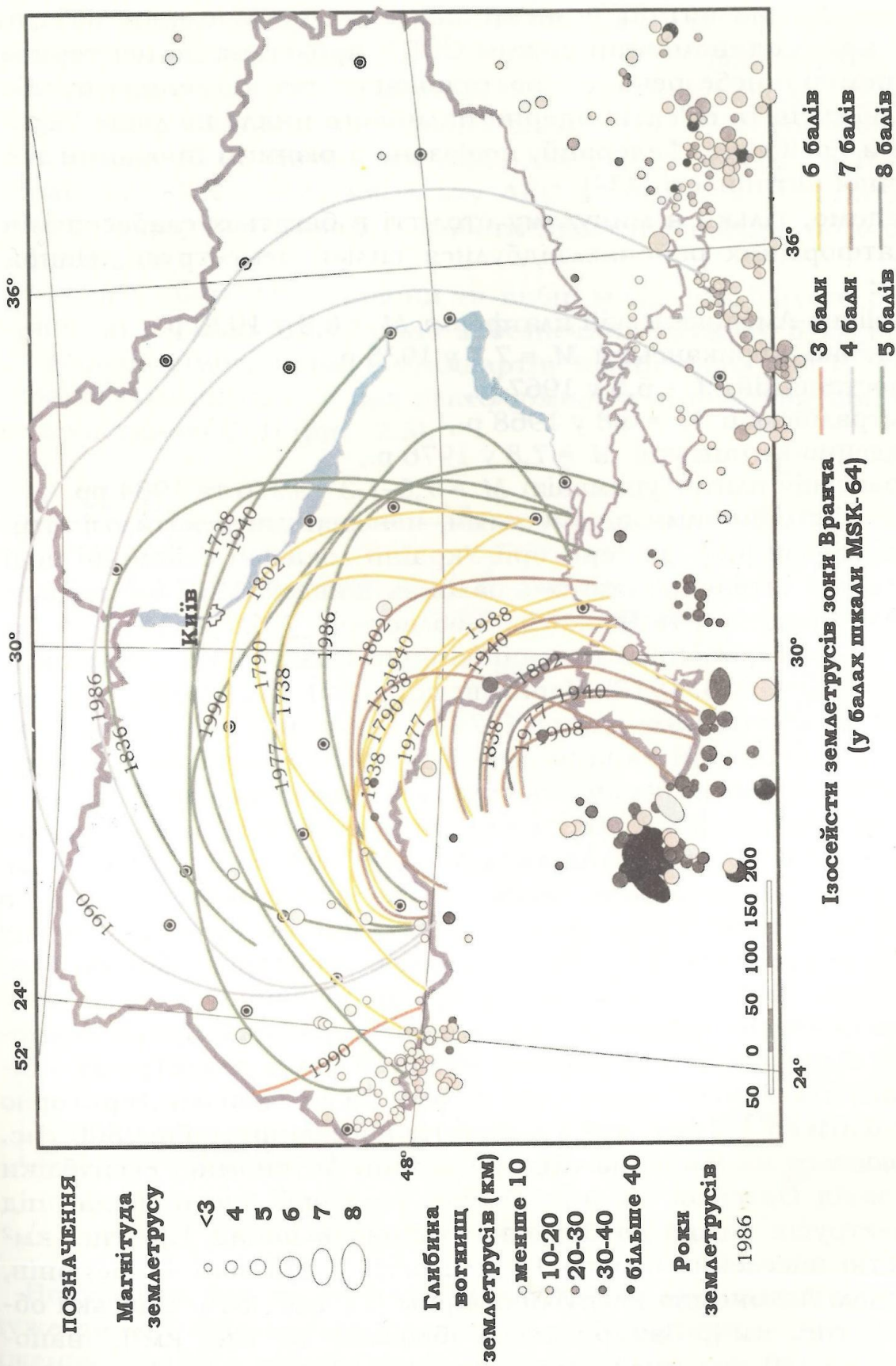


Рис. 2.2. Карта сейсмічності території України (за даними Інституту геофізики НАН України)

Для вирішення питань безпеки важливих промислових об'єктів інтерес має геодинамічний режим СЄП і прилеглих до неї територій. Сейсмічна небезпека для розташованих тут численних промислових об'єктів та об'єктів ядерно-паливного циклу не лише України, але й Російської Федерації, пов'язана з різними проявами геодинамічної активності [234].

Як відомо, тільки в минулому столітті в багатьох слабосейсмічних платформних районах відбулися сильні землетруси. Наприклад, на:

- Північно-Американській платформі $M = 6,8$ у 1920 р.,
- Північно-Африканській $M = 7,1$ у 1935 р.,
- Індостанській $M = 6,5$ у 1967 р.,
- Австралійській $M = 6,8$ у 1968 р.,
- Південно-Китайській $M = 7,8$ у 1976 р.,
- Туранській плиті (Туркменія) $M = 7,0-7,3$ у 1976 та 1984 рр.

Згідно з історичними відомостями, наведеними в каталозі сильних землетрусів [66], на території України локальні сейсмічні події проявилися з інтенсивністю 5–7 балів за шкалою MSK-64: на кордоні Кіровоградської та Черкаської областей – 7 балів (1873); у Донецькій області (район Костянтинівки) – 6 ± 1 бал (1937); у Харківській – 5–6 балів (1858, 1913); Чернігівській – 5 ± 1 бал (1905).

Аналіз статистичних даних [224] указує на те, що близько 120 тис. км² території України перебуває в зоні можливих землетрусів з інтенсивністю коливань ґрунту на поверхні землі від 6 до 9 балів (за шкалою MSK-64) з населенням майже 11 млн. Зона можливих землетрусів поширюється на території Вінницької, Херсонської, Хмельницької областей та Автономної Республіки Крим. Зона сильних землетрусів з інтенсивністю коливань ґрунту на поверхні землі більше 7 балів охоплює територію площею близько 27 тис. км², де кількість населення перевищує 2 млн осіб, і поширюється по території Автономної Республіки Крим, Закарпатської, Одеської й Чернівецької областей. Зона землетрусів з інтенсивністю коливань ґрунту від 8 до 9 балів охоплює територію площею близько 1,4 тис. км² з кількістю населення майже 800 тис. і поширюється на південно-східну частини Автономної Республіки Крим і захід Одеської області. Площа території, що підпадає під дію землетрусів силою до 5 балів, становить понад 120 тис. км² з кількістю населення більше 10 млн осіб. У цій зоні 11 регіонів, у тому числі Автономна Республіка Крим (11 тис. км²), Одеська область (33 тис. км²), Закарпатська (близько 12 тис. км²), Івано-Франківська (10 тис. км²), Хмельницька (10 тис. км²), Вінницька (15 тис. км²), Чернівецька (8 тис. км²) та Миколаївська (8 тис. км²)

області. Рівень ризику підвищується за рахунок того, що в цих регіонах функціонує близько 300 хімічних і пожежонебезпечних об'єктів, проходить густа мережа газо- і нафтопроводів.

На сьогоднішній день Україна експлуатує 15 енергоблоків АЕС (Запорізька АЕС, Рівненська АЕС, Хмельницька АЕС та Південно-Українська АЕС), Чорнобильську АЕС виводять з експлуатації, на об'єкті "Укриття" проводять роботи щодо підсилення його безпеки для довкілля.

Проектування АЕС України та вибір місць для їхнього розташування, як і інших потенційно небезпечних об'єктів, були виконані на основі вимог, норм і стандартів колишнього СРСР. Усі АЕС України розміщені в межах платформної частини території країни, що є частиною СЄП (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Карта розміщення АЕС

Вважалося, що землетруси на давніх платформах відбуваються дуже рідко і мають малу енергію. Із цієї причини додаткові дослідження з оцінки геолого-тектонічних умов і сейсмічної небезпеки для АЕС під час їхнього проектування не проводили. Обґрунту-

вання вибору місця розміщення АЕС здійснювали на основі наявних у той час нормативних документів для теплоенергетичного будівництва СРСР, а також лише на основі аналізу існуючої геолого-геофізичної документації.

Для всіх АЕС України під час проектування сейсмічна небезпека була оцінена у 5 балів, оскільки АЕС були розміщені згідно з чинною на той час картою сейсмічного районування території СРСР – ОСР-69 у 5-бальній зоні. У 70-х рр. почали з'являтися історичні відомості про сильні землетруси, що відбулися на територіях давніх платформ, у тому числі й на СЄП [143]. Це стало приводом для розробки МАГАТЕ та регулювальними органами СРСР низки нормативних документів для проектування і будівництва АЕС. Основними серед них є [5, 14, 176, 205, 245].

Враховуючи значну кількість землетрусів, вогнища яких були встановлені за даними історичного дослідження та інструментальних спостережень на СЄП (частково вони показані на рис. 2.4), у таких нормативних документах [130, 144, 232, 243] вимоги до визначення сейсмічної небезпеки територій для розміщення майданчиків АЕС стали жорсткішими.

Так, наприклад, для Хмельницької та Рівненської АЕС оцінки сейсмічної небезпеки, наведені в літературі та звітах різними авторами, змінювалися від 6 до 7 балів. Ці оцінки були зроблені на основі літературних і фондових матеріалів [219]. Таким чином, для отримання однозначної оцінки геолого-тектонічних умов і сейсмічної небезпеки майданчиків цих АЕС стало необхідним виконати комплексне дослідження з урахуванням вимог чинних нормативних і регулювальних документів, зокрема Рекомендацій МАГАТЕ 50-SG-S1 у редакції 1994 р., де вказано, що явища коливальності ґрунту, скидів, водяних хвиль, викликаних сейсмічною активністю, і залишкових деформацій ґрунту, пов'язаних із землетрусами і геологічними явищами, мають бути досліджені для кожного майданчика АЕС. Ці дослідження, формуючі основу для технічних рішень з вибору майданчика і врахування кожного явища під час проектування, розглядають стосовно всіх рівнів сейсмічної небезпеки.

Геологічні, геофізичні та сейсмологічні характеристики району розміщення майданчика та його геотехнічні характеристики рекомендують досліджувати відповідно до положень документа МАГАТЕ 50-SG-S1 [246].

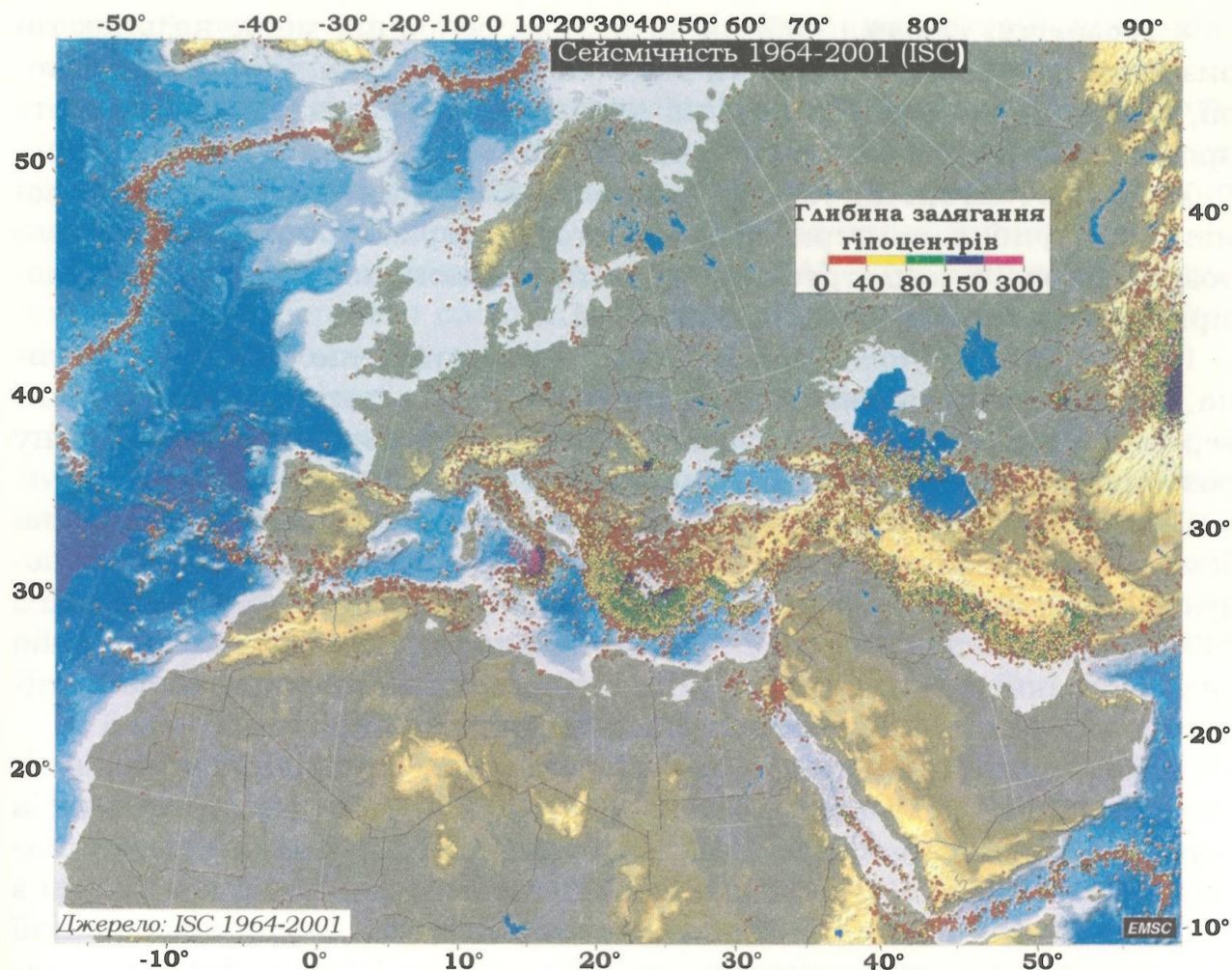


Рис. 2.4. Ілюстрація сейсмічних подій з магнітудою $M \geq 3$ за період 1964–2001 рр.
(за даними ISC – Міжнародного сейсмологічного центру)

Основними природними чинниками, що впливають на безпеку АЕС, є:

➤ **географічні умови** (положення на території України, морфологічні умови тощо);

➤ **кліматичні умови** (напрямок (роза) та швидкість вітру, температура повітря, інтенсивність опадів, тумани, атмосферний тиск, смерчі, атмосферна стабільність, частота і тривалість інверсійних явищ, характер рослинності тощо);

➤ **гідрологічні та гідрогеологічні умови** (характеристика водоймищ, рівня ґрунтової води та їхній зв'язок з водоносними горизонтами, паводки, зони затоплення, глибини промерзання, інформація про наявність гідротехнічних споруд, руйнування або порушення режиму роботи яких можуть призвести до негативних гідрологічних наслідків на промисловому майданчику АЕС; дані про динаміку зміни РГВ, починаючи з найбільш ранніх періодів і закінчуючи сьогоднішнім днем);

➤ **геологічні умови** (глибини залягання основних маркувальних горизонтів, потужність шарів та їхній склад, геологічний розріз території, фізико-механічні і динамічні властивості ґрунтів, що визначають просідання та крени споруд і будівель АЕС, стан їхніх фундаментів);

➤ **сейсмотектонічні умови** (наявність активних тектонічних розломів, сейсмічні характеристики території, параметри максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) та проектного землетрусу (ПЗ), імовірність (частота) їхнього виникнення).

Площа району дослідження, тип інформації, що має бути зібрана, обсяги та детальність дослідження мають визначатися характером і рівнем небезпеки та сейсмотектонічними умовами району розміщення кожного конкретного об'єкта.

Будівельні конструкції та фундаменти АЕС задовольняють умови безпеки, якщо вони на різних етапах свого життєвого циклу забезпечують можливість здійснення експлуатаційного обслуговування АЕС (за нормальної експлуатації, у разі виникнення аварійної ситуації або аварії та ліквідації їхніх наслідків) без викликаного сейсмічною активністю критичного зменшення експлуатаційних якостей.

Експлуатаційний досвід останніх років, аналіз ушкоджень будівель і конструкцій у результаті нових землетрусів і врахування результатів перегляду низки настанов МАГАТЕ стали основою для перегляду настанови МАГАТЕ 50-SG-S2 (1992) [218] та видання нової настанови з безпеки NS-G-1.6 [309], де наведено рекомендації щодо класифікації конструкцій, систем і компонентів АЕС за їхньою важливістю для безпеки у випадку ПЗ та рекомендації з комбінування експлуатаційних і сейсмічних навантажень.

Для кожної АЕС введено оцінювання двох рівнів небезпечних рухів ґрунту: ПЗ визначений як сейсмічний рівень 1 (SL1) та МРЗ – сейсмічний рівень 2 (SL2). Незалежно від рівня сейсмічної небезпеки майданчика мінімальне значення для рівня SL2 має відповідати піковому прискоренню ґрунту величиною 0,1g (на нульовому періоді проектного спектра реакції) на вільній поверхні ґрунту.

З урахуванням сейсмостійкості всі елементи АЕС мають бути класифіковані, як мінімум, за чотирма категоріями.

Сейсмічну категорію 1 надають елементам, що мають протистояти наслідкам руху ґрунту під час землетрусу рівня SL2. Ця категорія відповідає найвищій категорії безпеки та охоплює всі елементи, важливі для безпеки, зокрема:

а) елементи, відмова яких у разі землетрусу рівня SL2 може прямо або послідовно призвести до аварійних умов;

б) елементи, потрібні для зупинення реактора, для підтримання його в зупиненому стані, для його розхолодження протягом уста-

новленого періоду часу та для контролювання параметрів, важливих для цих функцій;

в) елементи, потрібні для попередження або зниження гранично допустимих викидів радіоактивності (установлених національним регулювальним органом) у випадку будь-яких постульованих початкових подій, урахованих у проекті АЕС незалежно від їхньої ймовірності;

Фізичні бар'єри, призначені для захисту АЕС від інших зовнішніх подій, мають зберігати свою цілісність і здатність функціонувати під час будь-якого землетрусу.

Сейсмічна категорія 2 включає такі елементи:

1. Елементи, що можуть частково впливати (напр., унаслідок руйнування, падіння або переміщення) або іншим чином взаємодіяти (напр., шляхом виділення небезпечних субстанцій, пожежі або затоплення, або спричиненого землетрусом впливу) з елементами сейсмічної категорії 1 або 3. Слід зазначити, що пошкодження у результаті землетрусу елементів категорії 2 не будуть перешкоджати виконанню функцій безпеки елементів груп 1 та 3 та діям оператора;

2. Елементи, не включені до сейсмічної категорії 1 (особливо вузли підпункту б) та в), потрібні для попередження або пом'якшення аварійних умов на АЕС (що виникли внаслідок інших, ніж землетрус, постульованих початкових подій) протягом такого тривалого періоду часу, коли існує ймовірність виникнення в цей період землетрусу рівня SL2;

3. Елементи, пов'язані з доступом на майданчик або потрібні для реалізації плану аварійної евакуації.

Сейсмічна категорія 3 включає всі елементи АЕС, що можуть стати причиною виникнення радіологічної небезпеки, але не пов'язані з реактором (напр., місце зберігання відпрацьованого палива або радіоактивних відходів).

Сейсмічна категорія 4 включає всі елементи АЕС, що не були віднесені до перших трьох сейсмічних категорій. Усі ці елементи проектують за нормами для неядерних об'єктів (з урахуванням національної практики).

Сейсмостійке проектування передбачає поєднання експлуатаційних (під час нормальної експлуатації, очікуваних експлуатаційних подій, у разі аварійних умов) і сейсмічних навантажень.

Під час проведення сейсмічної класифікації елементів АЕС можуть бути використані:

- аналітичні методи;
- дослідження;
- метод, що враховує досвід землетрусів;
- метод аналогій (порівняння з уже класифікованими елементами).

Настановою МАГАТЕ NS-G-1.6 [309] передбачено сейсмічний інструментарій для:

- моніторингу конструкцій – для збирання даних про динамічну поведінку елементів АЕС та оцінювання ступеня достовірності аналітичних методів, використаних під час сейсмостійкого проектування та сейсмічної класифікації;

- моніторингу сейсмічного стану – для повідомлення операторів про потенційну потребу зупинення АЕС;

- системи автоматичного зупинення АЕС у випадку сейсмічної небезпеки.

Рекомендації щодо експлуатаційних процедур, що проводять після землетрусу, з терміном їхнього проведення та напрямом діяльності детально наведені в документі NS-G-2.2 [297].

На сьогоднішній день є потреба розроблення національних норм, перегляду та доповнення чинних, правил і стандартів з урахуванням міжнародних рекомендацій відповідно до нових даних про інженерні параметри потенційно небезпечних об'єктів і геодинамічні процеси на територіях їхнього розміщення. При цьому регіональні геодинамічні дослідження є невід'ємною частиною робіт з детального сейсмічного районування. Відповідні положення вказані у прийнятих Україною нормативних актах [171, 174–175].

Норми геоекологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів систематично переглядають, домінує тенденція до підвищення жорсткості стандартів з часом. Вимоги МАГАТЕ передбачають дослідження сейсмотектонічного режиму в радіусі 200 км від АЕС, що повною мірою не реалізовано на жодній з українських АЕС. Міжнародна практика свідчить про жорсткість нормативів. Так, у Російській Федерації вже діють нові нормативні документи [145, 164, 201, 244]. У них передбачені організація і проведення заходів щодо убезпечення експлуатації АЕС у разі наявності або ймовірності прояву одного з обмежувальних критеріїв:

- рівень інтенсивності МРЗ 9 і вище балів за шкалою MSK-64;

- території, де швидкість вертикальних рухів земної кори більше 10 мм/рік;

- території, де швидкість горизонтальних рухів земної кори більше 50 мм/рік;

- зони активного карсту (термокарсту) і суфозійно-карстових процесів з одиничним провалом на площі до 10 км²;

- розповсюдження структурно і динамічно нестійких ґрунтів тощо.

Перегляд норм геоекологічної безпеки України пов'язаний не тільки з більш повним усвідомленням високої потенційної небезпеки таких об'єктів, як АЕС, але й з одержанням нових даних і розвитком нових теоретичних уявлень про процес сейсмотектогенезу.

Оскільки територія України може бути охоплена безпосереднім впливом сейсмічних подій, то під час вибору території для розміщення майданчика АЕС потрібно враховувати рівень сейсмічного ризику, для чого необхідними є відомості про сейсмічність відповідного району. Зазначимо, що важливими є дані про:

- інструментально зареєстровані та історичні землетруси, палеоземлетруси;
- схеми розміщення геодинамічних зон і зон розривних порушень;
- наявність активних розломів;
- параметри геодинамічної активності розломів та інших активних тектонічних структур;
- амплітуди, швидкості та градієнти новітніх і четвертинних диференційованих рухів земної кори;
- параметри зон виникнення вогнищ землетрусів (ВВЗ).

Для території України важливим є перегляд уявлень про сейсмічність і характер тектонічної активності платформних областей. Останні, згідно з новими даними, є істотно менш пасивними і безпечними, ніж вважалося раніше, що підтверджують результати, наведені в [7, 24, 26–27, 139, 213].

2.3. РЕГІОНАЛЬНЕ СЕЙСМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА СЕЙСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ РОЗМІЩЕННЯ АЕС

Збитки від землетрусів можуть бути істотно зменшені завдяки належній технічній та організаційній підготовці до них. Для ефективної організації захисту від реально існуючої сейсмічної небезпеки потрібно знати її кількісні параметри. Рівень сейсмічної небезпеки є об'єктивною характеристикою території, яку визначають за допомогою комплексу геофізичних методів у межах робіт із загального сейсмічного районування (ЗСР) території країни, детального сейсмічного районування (ДСР) окремих її районів і сейсмічного мікрорайонування (СМР) майданчиків розміщення об'єктів.

Карти ЗСР використовують для довгострокового соціально-економічного планування, раціонального землекористування, прийняття адміністративних і технічних рішень щодо забезпечення стабільної експлуатації існуючих споруд і сейсмостійкого проектування нових. Суть робіт із ЗСР полягає в картуванні сейсмічної небезпеки, вираженої в балах інтенсивності сейсмічних струшувань або у фізичних одиницях (прискорення), що можуть реалізуватися із заданою імовірністю.

Затверджена в Мінбуді України карта ЗСР стає нормативним документом, що регламентує проектно-пошукові і будівельні роботи в сейсмічних районах. На її основі оцінюють сейсмічну вразливість об'єктів і можливий збиток від руйнівних наслідків сильних землетрусів, виробляють антисейсмічні заходи.

До початку 2007 р. для оцінки фонових значень сейсмічної небезпеки на території України використовували карту загального сейсмічного районування СРСР (СР-78) (рис. 2.5). Карта СР-78 була розроблена великим колективом сейсмологів, геологів і геофізиків за координаційним планом Державного комітету з науки і техніки при Раді Міністрів СРСР протягом 1971–1977 рр. Уперше карта СР-78 масштабу 1 : 5 000 000 була опублікована Головним управлінням геодезії та картографії при Раді Міністрів СРСР у 1984 р.

Імовірність (повторюваність) струшувань у сейсмоактивних зонах показана індексами при цифрах, що позначають бальність зони. Індеси 1, 2, 3 відповідають середній повторюваності струшувань – один раз за 100, 1000 і 10000 років відповідно. Для 6-бальних зон на території України періоди повторюваності не були встановлені. Прийнято консервативне припущення, що їм відповідає індекс 1. Територія України з прогнозованою інтенсивністю, меншою за 6 балів, була умовно віднесена до 5-бальної зони.

Карта загального сейсмічного районування СР-78 для території України входила складовою частиною до будівельних норм і правил СНиП II-7-81 і опосередковано (через Додаток 1* – таблицю "пункт-бал") до уточненого СНиП II-7-81*. Однак більш як двадцятилітній досвід її використання на території СНД показав, що для регіонів з низькою і середньою сейсмічною активністю карта СР-78 занижує нормативну бальність. Катастрофічний Спітакський землетрус 1988 р. у Вірменії, Зайсанський землетрус 1990 р. у Казахстані, Рача-Джавський 1991 р. у Грузії, Суусамірський 1992 р. у Киргизії, Хаїлінський (Корякія) 1991 р. і Нефтегорський (Сахалін) 1995 р. у Росії мали інтенсивність сейсмічних струшувань на 1-2 бали вищу від передбаченої цією картою.

Після кожного катастрофічного явища відбувався локальний перегляд карти СР-78 у бік збільшення рівня сейсмічної небезпеки. Такі виправлення носили природно несистематичний і випадковий характер.

На території України також виявлені зони, де можуть відбуватися землетруси з інтенсивністю, що перевищує вказану на карті СР-78. До них відносять територію Криму, Передкарпаття, Закарпаття, частину Чернівецької, Одеської, Львівської областей та деякі інші райони [89]. Землетрус з інтенсивністю сейсмічних струшувань 6 балів

за шкалою MSK-64, що відбувся 3 січня 2002 р. в районі селища Микулинці Тернопільської області і шлейф його афтершоків ще раз продемонстрували наявність суттєвої сейсмічної активності платформних тектонічних структур на території України.



Рис. 2.5. Фрагмент карти СР-78 загального сейсмічного районування території України

Під час установалення величини кількісних параметрів сейсмічної небезпеки територій можливі значні похибки. Їхньою причиною у першу чергу є складність оцінювання геоекологічної безпеки довгостроково функціонуючих потенційно небезпечних об'єктів через відносно малу тривалість періодів сейсмотектонічних спостережень для проектування порівняно з проектною тривалістю їхнього функціонування [86, 102, 133–134]. Інструментальні каталоги землетрусів охоплюють період часу близько півсотні років, а тривалість геодезичних спостережень не перевершує і перших десятків років.

У період 1991–1997 рр. було реалізовано Програму "Сейсмічність і сейсмічне районування Північної Євразії", скоординовану з Міжнародною програмою оцінки глобальної сейсмічної небезпеки

(Global Seismic Hazard Assessment Program – GSHAP), у межах якої виконували комплексне дослідження із ЗСР території Російської Федерації та колишніх союзних республік, у тому числі України. Оцінювання сейсмічної небезпеки і сейсмічне районування здійснювали не для окремих республік, як це було раніше, а для всієї Північної Євразії, що охоплює території Росії, України, Білорусії, Молдови, республік Закавказзя, Середньої Азії та Казахстану [193, 242]. У результаті цього дослідження було створено комплект карт ЗСР-97, що дозволяв оцінити сейсмічну небезпеку на різних рівнях (А, В, С, D) для середніх ґрунтових умов, характерних для відповідних регіонів. Для Російської Федерації цей комплект карт був прийнятий Держбудом Росії для використання в "Строительных нормах и правилах (СНиП). Строительство в сейсмических районах". У зв'язку з тим, що в 2004 р. для території України карти ЗСР-97 А, В і С були суттєво вдосконалені за рахунок використання нових сейсмологічних і геолого-геофізичних даних, інтерес для проектувальників та експлуатаційників АЕС має лише карта ЗСР-97-D. На рис. 2.6 зображено фрагмент цієї карти для районів розміщення діючих блоків АЕС і тих, що на стадії будівництва. Зображена на карті інтенсивність сейсмічних струшувань відповідає 0,5 % імовірності перевищення протягом 50 років. Згідно з картою ЗСР-97-D оцінки сейсмічної небезпеки територій, у тому числі й тих, де розташовані потенційно небезпечні об'єкти (АЕС України та Росії), суттєво зросли.

З карти ЗСР-97-D для території України видно, що:

- Чорнобильська АЕС розташована на межі 5-6-бальної зони;
- Хмельницька та Рівненська АЕС – у 6-бальній зоні;
- Запорізька та Південноукраїнська АЕС – на межі 7-8-бальної зони.

У результаті за даними тієї ж карти ЗСР-97-D значна частина території України має дефіцит бальності в 1-2 одиниці. Зазначимо, що до аналогічних висновків прийшли й українські вчені [101].

Наприклад, на карті СР-78 промисловий майданчик Південноукраїнської АЕС, як видно з рис. 2.7, розміщено у п'ятибальній зоні.

Коли для визначення сейсмічної небезпеки району розміщення Південноукраїнської АЕС було проведено аналіз розповсюдження інтенсивності сейсмічних струшувань під час землетрусів із зони Вранча, то стало очевидно, що район розміщення АЕС лежить у межах, оконтурених 6-бальною ізосейстою. При цьому розповсюдження струшувань інтенсивністю 7 та 6 балів відмічено на значно більшій території, ніж визначається картою СР-78.

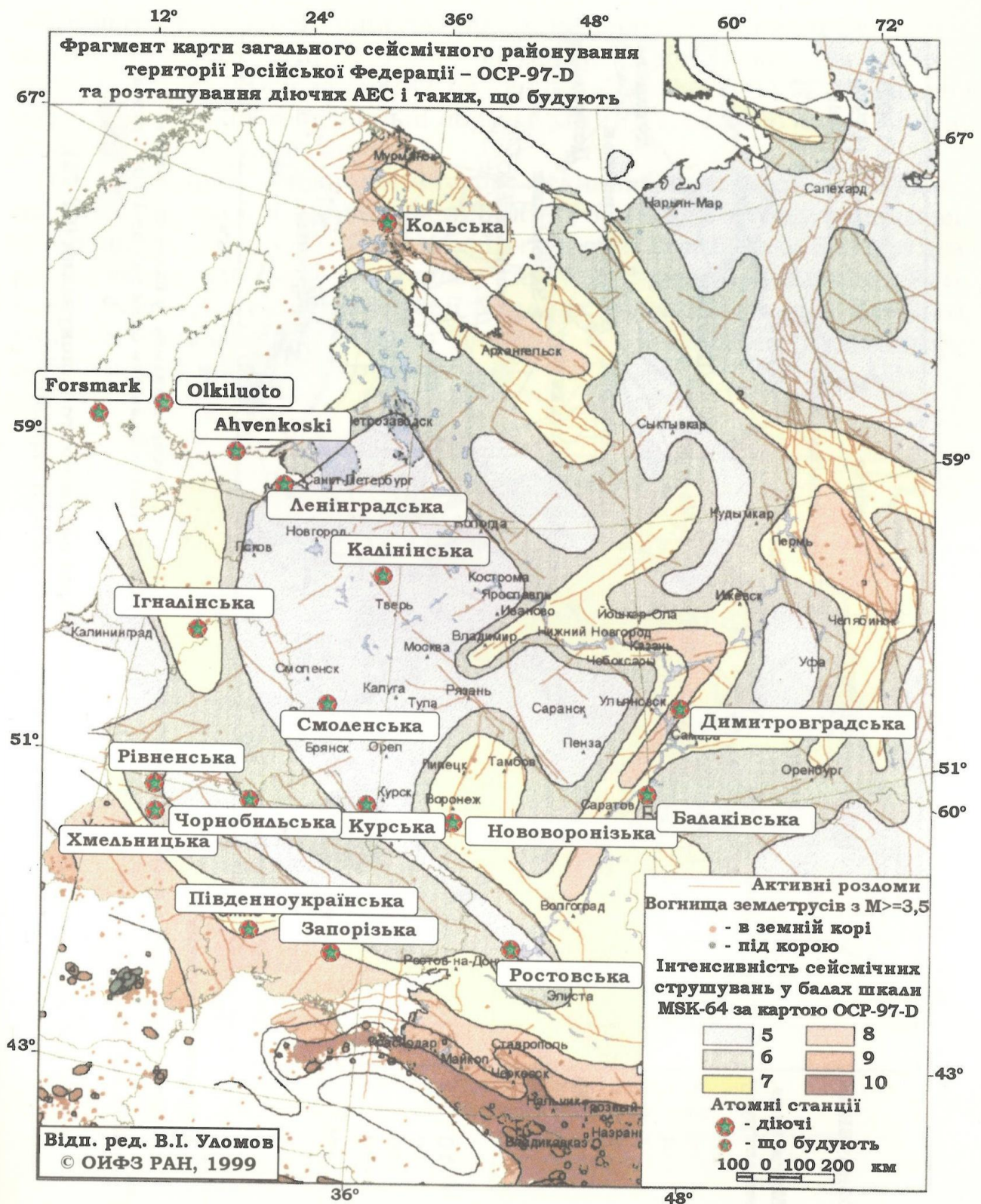


Рис. 2.6. Фрагмент карти ЗСР-97-D загального сейсмічного районування території Російської Федерації і розміщення діючих блоків АЕС і блоків на стадії будівництва

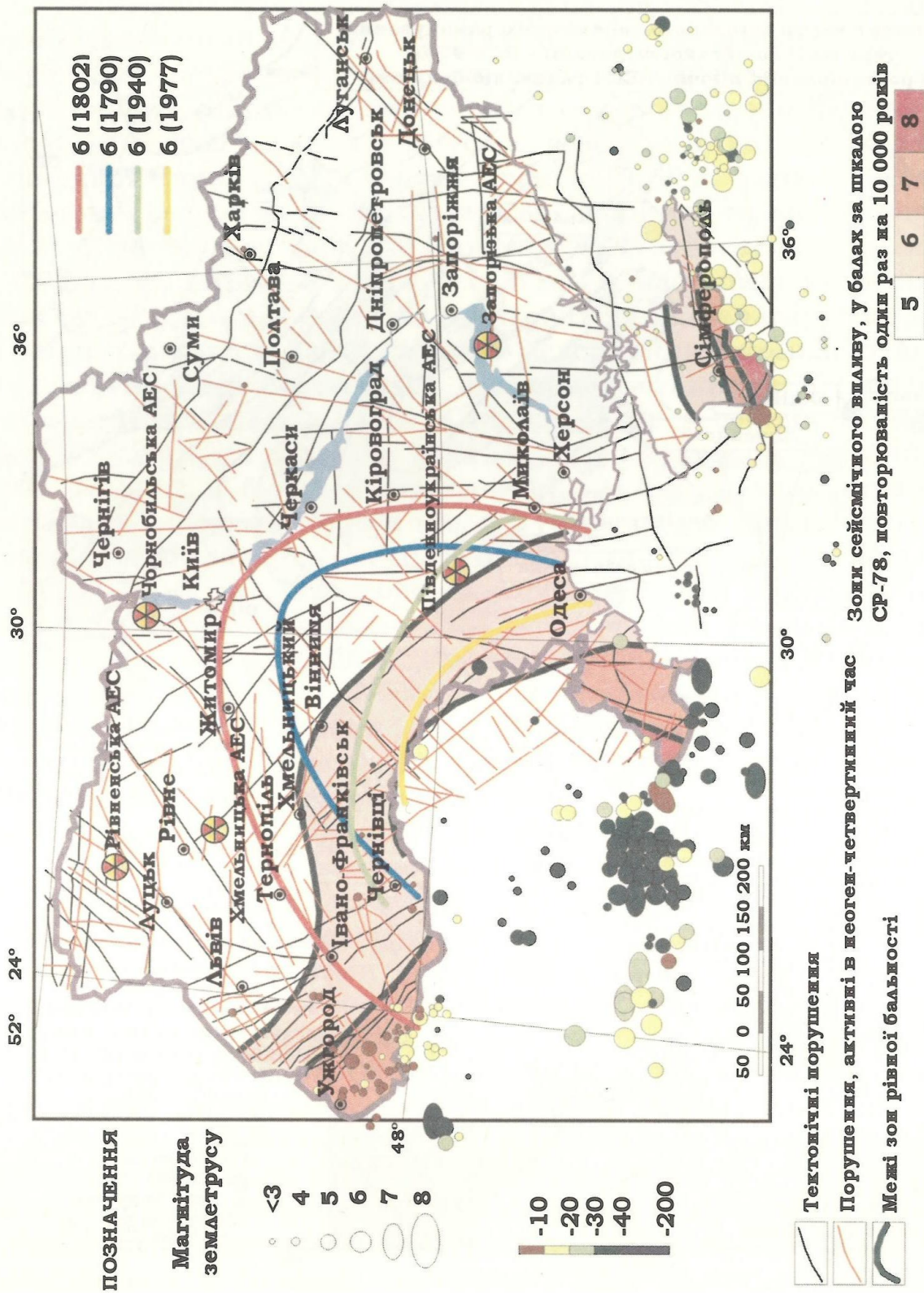


Рис. 2.7. Епіцентри землетрусів з елементами сейсмічного районування (СР-78)
(за даними Інституту геофізики НАН України)

Це підтвердило, що чинні до 2006 р. на території України Будівельні норми і правила "СНиП II-7-81*" застаріли. Згідно з наказом Мінбуду України від 23.08.06 за № 282 на території країни з 01.02.07 введені в дію нові Державні будівельні норми ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України".

На виконання державної науково-технічної програми, затвердженої Постановою КМ України від 28.06.97 за № 699 з урахуванням міжнародного досвіду ІГФ НАН України разом з Кримською експертною радою розробили нову імовірнісну карту ЗСР території України. Комплект нових карт ЗСР території України, поданий на рис. 2.8–2.10, увійшов складовою частиною до ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України".



Рис. 2.8. Нова імовірнісна карта (ЗСР-2004-А) загального сейсмічного районування.

Показана 90 %-ва ймовірність неперевищення сейсмічної інтенсивності протягом 50 років (період повторюваності землетрусів приблизно 500 років) [193]

У зв'язку з необхідністю врахування імовірності виникнення на тій же ділянці сейсмічних подій різної інтенсивності замість однієї в цей період створюють кілька карт ЗСР. Комплект карт ЗСР-2004 відображає розрахункову інтенсивність – I сейсмічних струшувань у балах шкали MSK-64, очікуваних на певній площі із заданою імовірністю – P (%)

протягом заданого інтервалу часу – t (роки). Набір карт дозволяє оцінювати ступінь сейсмічної небезпеки для об'єктів різних термінів служби і категорій відповідальності. Він включає три карти "А", "В" і "С", де показано зони прогнозованої інтенсивності (бальності) максимальних сейсмічних струшувань, що з імовірністю 90 %, 95 % і 99 % відповідно не буде перевищена за найближчі 50 років:

➤ Карта ЗСР-2004-А – відповідає 90 %-й імовірності неперевищення розрахункової інтенсивності протягом 50 років (або 10 % ймовірності перевищення). Її рекомендовано використовувати для цивільного і промислового будівництва;

➤ Карта ЗСР-2004-В – відповідає 95 %-й імовірності неперевищення розрахункової інтенсивності протягом 50 років (або 5 % ймовірності перевищення). Її рекомендовано використовувати для об'єктів підвищеної відповідальності;

➤ Карта ЗСР-2004-С – відповідає 99 %-й імовірності неперевищення розрахункової інтенсивності протягом 50 років (або 1 % ймовірності перевищення). Її рекомендовано використовувати для особливо відповідальних об'єктів.



Рис. 2.9. Нова імовірнісна карта (ЗСР-2004-В) загального сейсмічного районування.

Показана 95 %-ва ймовірність неперевищення сейсмічної інтенсивності протягом 50 років (період повторюваності землетрусів приблизно 1000 років) [193]



Рис. 2.10. Нова імовірнісна карта (ЗСР-2004-С) загального сейсмічного районування.

Показана 99 %-ва ймовірність неперевищення сейсмічної інтенсивності протягом 50 років (період повторюваності землетрусів приблизно 5000 років) [193]

Детальніше розподіл сейсмічної небезпеки для території Одеської області показано на рис. 2.11. Порівнявши цей рисунок з показаною на рис. 2.5 картою СР-78, що була складовою нормативного документа СНиП II-7-81 "Строительство в сейсмических районах", чинного на території України до початку 2007 р., а тепер заміненого на ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України", легко прийти до висновку, що згідно з сучасними уявленнями рівень сейсмічної небезпеки Одеської області раніше був заниженим. Зазначимо, що згідно з новим ДБН сейсмічно небезпечними вважають також 6-бальні зони.

Карті ЗСР вказують на рівень сейсмічної небезпеки в балах шкали MSK-64. Вони призначені для довгострокового соціально-економічного планування, раціонального землекористування, прийняття адміністративних і технічних рішень щодо забезпечення стабільної експлуатації існуючих споруд і розміщення нових об'єктів (ГЕС, трубопроводів тощо). На жаль, ні сама нова редакція ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України", ні наведені в Додатку Б карти ЗСР-2004 не призначені для використання в атомній енергетиці.

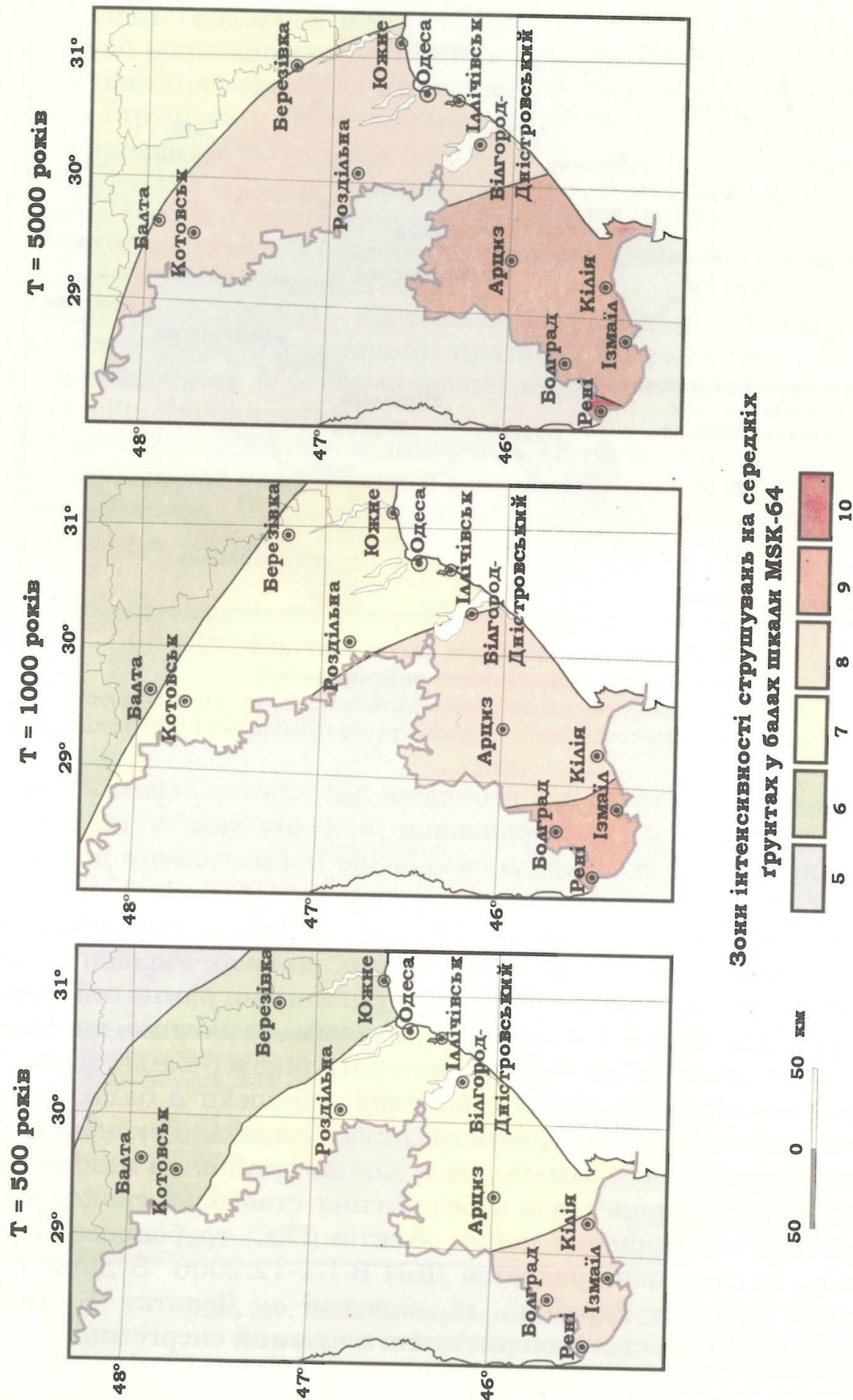


Рис. 2.11. Карти ЗСР-2004 загального сейсмічного районування для Одеської області для періодів повторюваності землетрусів: 500, 1000 і 5000 років

Унаслідок природних постійних змін геодинамічної ситуації, що призводить до відповідних змін напружено-деформованого стану геологічного середовища в основі споруд, а також завдяки одержанню нових геолого-геофізичних даних і методик визначення рівня сейсмічної небезпеки, постає необхідність регулярно поновлювати карти ЗСР території країни. Карти ЗСР території Радянського Союзу раніше готувала АН СРСР на держзамовлення. Їх поновлювали приблизно кожні 10 років (1937, 1950, 1957, 1968, 1978). Замовлення робіт на створення карти ЗСР здійснювали через Комітет по науці і Держбуд СРСР. Цей досвід доцільно використати і в Україні.

Роботи зі створення карт ЗСР передбачають проведення сейсмічних спостережень з уточнення місцевої сейсмічності, польового макросейсмічного дослідження, вивчення параметрів сейсмічного режиму і сейсмічної небезпеки, виділення та ідентифікацію сейсмоактивних структур, визначення параметрів їхнього сейсмічного режиму, а в підсумку – розрахунок створюваного ними сейсмічного ефекту на земній поверхні. Указані роботи виконують НАН України і ДГС України.

Досвід країн і територій, де протягом останніх десятиріч відбувалися землетруси, свідчить, що несприятливі інженерно-геологічні процеси: підтоплення, зсуви, карстоутворення, розрідження ґрунту посилюють негативні наслідки землетрусів. Руйнування будівель і споруд може відбутися не лише від сейсмічних поштовхів інтенсивністю 7–9 балів, але й від менш значних землетрусів з інтенсивністю 5–6 балів.

Уточнення рівня сейсмічної бальності територій населених пунктів і окремих будівельних ділянок з урахуванням локальних ґрунтових умов та інших чинників, здатних підсилити сейсмічні впливи, здійснюють шляхом проведення комплексу робіт із сейсмічного мікрорайонування (СМР). Роботи із СМР територій населених пунктів замовляють органи місцевої влади. СМР майданчиків конкретних об'єктів здійснюють за рахунок їхніх власників.

Для певної кількості експлуатаційних майданчиків АЕС, ГЕС, хвостосховищ, а також для будівельних майданчиків у Криму та Одеській області, де проектують висотні й експериментальні споруди, побудовані карти СМР, що відображають прогнозований приріст сейсмічної бальності на різних ділянках території, відносно зображеної на картах ЗСР. На рис. 2.12 показана карта СМР території м. Ялта в Криму.



Рис. 2.12. Карта сейсмічного мікрорайонування м. Ялта:
 1 – 0 балів. Виходи на денну поверхню сприятливих у сейсмічному відношенні ґрунтів I категорії за сейсмічними властивостями, складені аргелітами, алевролітами, піщаниками таврійської серії.
 2 – 0 балів. Площі поширення ґрунтів II категорії за сейсмічними властивостями, складених суглинками і глинами жорствяно-щербистими, глибовим і гравійно-галечниковим ґрунтом із суглинковим заповнювачем, суглинками і глинами гравійно-галечниковими, валунно-галечниковим ґрунтом.
 3 – +1 бал. Площі поширення ґрунтів III категорії за сейсмічними властивостями, складених пластичними гравійно-галечниковими суглинками та глинами

Карти СМР використовують для проектування сейсмостійких споруд, забезпечення їхньої надійної експлуатації, тобто для підвищення безпеки проживання населення і стабільного розвитку економіки в сейсмічних районах України.

Вивчення сейсмічної небезпеки базується на матеріалах сейсмічних спостережень, виконуваних державною мережею сейсмічних станцій, яку почали формувати в Україні ще з кінця XIX ст. і, з огляду на апаратурну і методичну складність виконуваних робіт та їхній науковий характер, що працює при Національній академії наук України. На рис. 2.13 показана конфігурація мережі сейсмічних (світлі трикутники) і геофізичних (темні трикутники) станцій НАН України.

На геофізичних станціях, крім сейсмологічних датчиків, установлені магнітометри, екстензометри, метеорологічні датчики та інші прилади. Це дозволяє залучати для вирішення завдань геодинамічного моніторингу, крім сейсмологічних даних, також тісно пов'язані з ними дані про флуктуації інших геофізичних полів.

Сейсмологія володіє досить потужним арсеналом розрахункових методів, однак потрібно визнати, що найнадійніше параметри прогнозованих струшувань сьогодні можуть бути визначені лише на основі безпосередніх спостережень. На жаль, для виконання цього завдання на території України сейсмологічна мережа є недостатньо детальною. Ця мережа здатна надійно контролювати сейсмічність лише Карпатського і Кримського регіонів, де станції, як видно з рис. 2.13, розміщені відносно густо і можуть без пропусків реєструвати сейсмічні події, починаючи із сьомого енергетичного класу [89].

Удосконалення сейсмологічної мережі спостережень НАН України здійснюють за двома напрямками: шляхом збільшення кількості станцій та шляхом переоснащення уже існуючих сучасною апаратурою [90]. З початком фінансування робіт зі створення Національного центру сейсмологічних даних на базі інформаційно-обчислювального центру Інституту геофізики НАН України склалися передумови для технічного розвитку всієї мережі сейсмічних спостережень.

В Інституті геофізики розробляють і впроваджують у практику режимних сейсмологічних спостережень сучасні цифрові сейсмічні станції [90]. Цифрова сейсмічна станція нового покоління DAS-04, автором якої є кандидат фізико-математичних наук С.Т. Вербицький, за своїми основними параметрами не поступається кращим закордонним аналогам. У той же час її вартість є у кілька разів нижча за вартість іноземних станцій того ж класу.

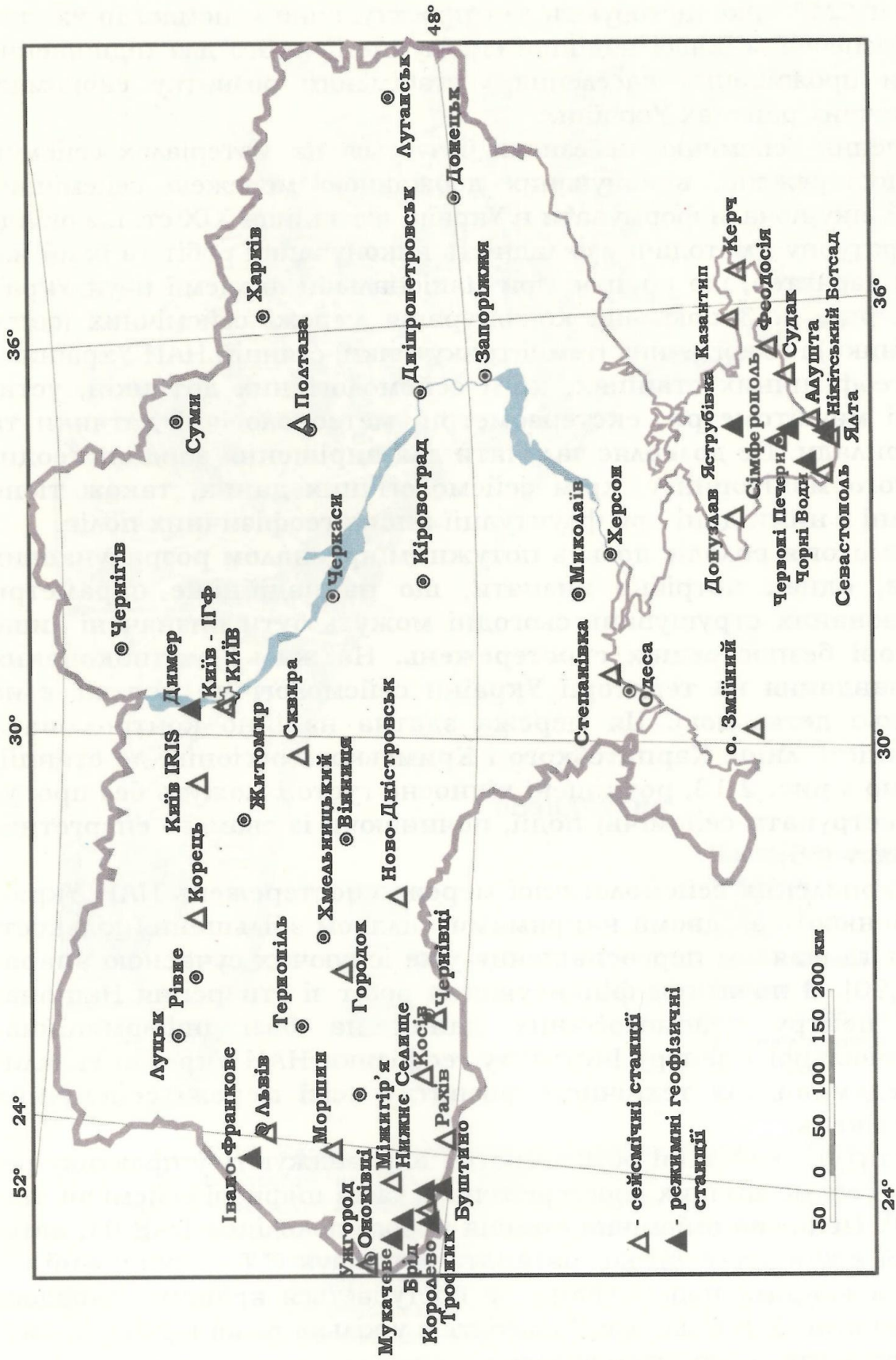


Рис. 2.13. Схема розташування сейсмічних і геофізичних станцій НАН України [89]

У багатих країнах, наприклад у США, для контролю за сейсмічною ситуацією в активних регіонах країни використовують дані локальних сейсмологічних мереж, до складу яких входить у декілька разів більше станцій, ніж наявні у всій Україні. Прикладом такої мережі може служити мережа сейсмічних станцій Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL). На рис. 2.14 показано дані тижневої реєстрації цією мережею каліфорнійських землетрусів до 23 год 13 хв 14.06.05, наведені Геологічним Товариством США (United States Geological Society (USGS)).

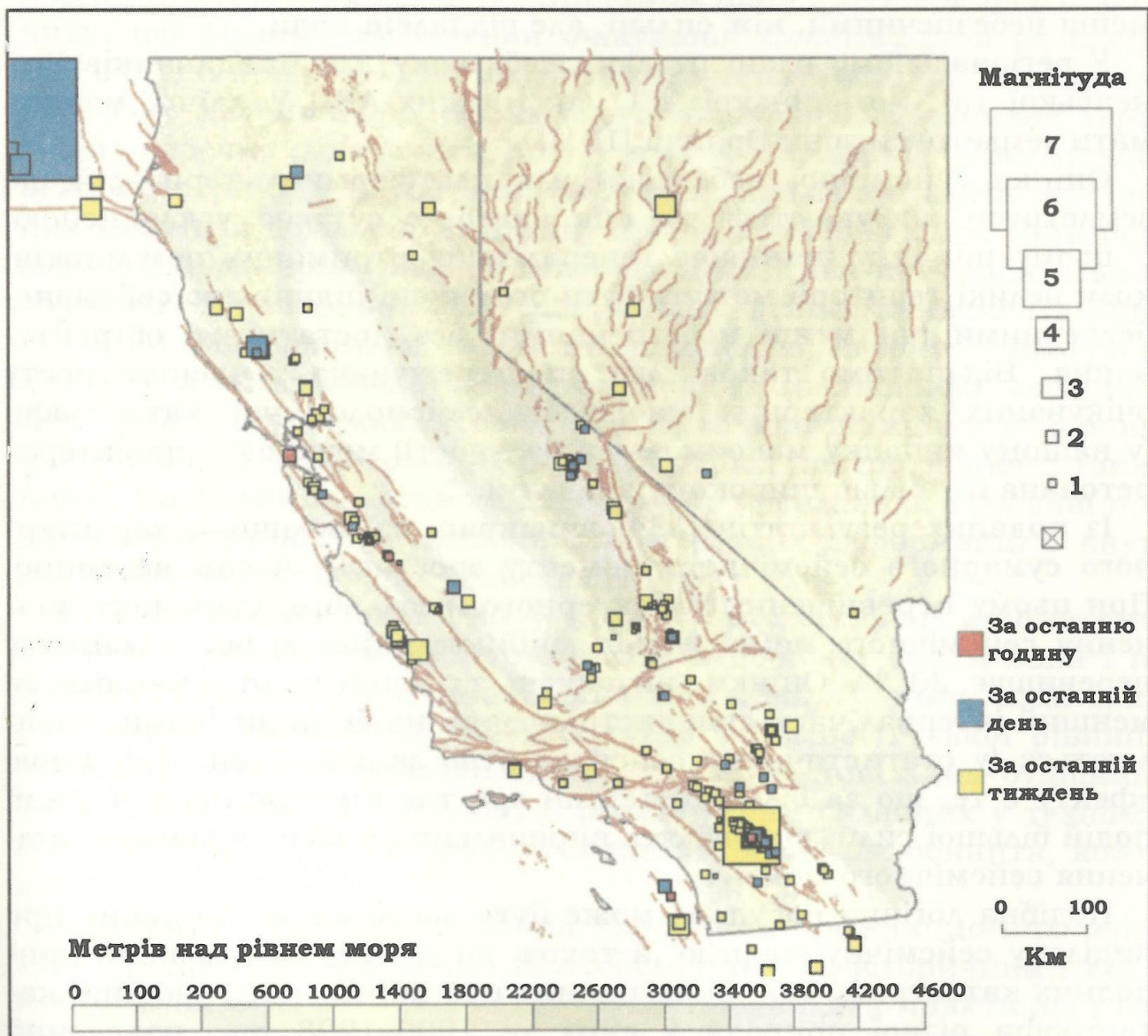


Рис. 2.14. Фрагмент карти території США, де відбулися каліфорнійські землетруси, зареєстровані місцевою сейсмічною мережею за тиждень до 23 год 13 хв 14.06.05

У районі розміщення Рівненської та Хмельницької АЕС для контролю місцевої сейсмічності Інститутом геофізики НАН України в 1998–2001 рр. також була розгорнута тимчасова мережа автономних сейсмічних станцій. До її створення у 1998 р. сейсмічність району практично не вивчали, оскільки регіональна мережа сейсмічних станцій розташована від майданчиків АЕС на відстані понад 200 км. Мережа могла реєструвати з цього району лише події з магнітудою $M \geq 3.5-4$ [91]. Однак відомо, що слабкі за енергією місцеві землетруси за незначної глибини вогнища на близькій відстані до об'єкта можуть створювати значні струшування і бути не менш небезпечними, ніж сильні, але віддалені події.

У регіональному плані реальну небезпеку для майданчиків Рівненської та Хмельницької АЕС, як і інших АЕС України, можуть мати землетруси зони Вранча [101].

Оцінка сейсмічної небезпеки для платформних територій, де землетруси відбуваються не так часто, є суттєво ускладненою. У цьому випадку неминуча генералізація отриманих результатів, коли великі території можуть бути оголошені підвищено сейсмонебезпечними (чи менш небезпечними) без достатнього обґрунтування. Відзначимо також, що спостережувана тенденція росту очікуваних характерних масштабів сейсмологічної катастрофи (у нашому випадку максимальної бальності) може бути проінтерпретована й у більш широкому значенні.

Із поданих результатів [134] випливає, що величина характерного сумарного сейсмічного моменту зростає із часом нелінійно. При цьому перевищення характерного (реального) сумарного значення сейсмічного моменту над лінійною оцінкою росту моменту перевищує 20 %. Оцінки, визначені за даними, отриманими за менший інтервал часу, при екстраполяції на більший термін виявляються (у статистичному сенсі) помітно заниженими. Причиною ефекту є те, що за більший термін зростає ймовірність реалізації подій більшої сили, що роблять вирішальний внесок у сумарні значення сейсмічного моменту.

Подібна логічна побудова може бути застосована до даних про виділену сейсмічну енергію, а також до деяких інших видів природних катастроф. Так, аналіз даних про найбільші техногенні катастрофи різної природи у світі за 1900–1998 рр., наведений у роботі [107], приводить до того ж висновку – очікувана сумарна величина втрат має тенденцію нелінійного статистичного зростання із часом.

2.4. СЕЙСМОТЕКТОНІЧНА АКТИВНІСТЬ ПЛАТФОРМ

Раніше вважалося, що розміщення потенційно небезпечних промислових об'єктів у тектонічно стабільних районах – на платформах практично гарантує відсутність негативних геодинамічних впливів на об'єкти. Результати геофізичного дослідження показали, що нехтувати геодинамічною активністю, і зокрема сейсмотектонічною активністю платформних областей, не можна [91, 134]. Порівнюючи карти сейсмічного районування СР-78 (рис. 2.5), ЗСР-97 (рис. 2.6) і ЗСР-2004 (рис. 2.8–2.10) легко побачити, що ділянки збільшення очікуваної максимальної бальності найчастіше прив'язані до платформних територій. Тут, як варіант розв'язку питання про рівень струшувань слабосейсмічних територій, доречно відзначити результати зі статистики сейсмічного режиму, отримані Я. Каганом [282–283]. Аналіз каталогів сейсмічних моментів дозволив Я. Кагану зробити висновок про універсальність параметрів графіка повторюваності для континентальних областей. У цьому випадку сейсмічність різних континентальних областей відрізняється лише інтенсивністю потоку землетрусів – середнім числом подій за одиницю часу. Специфікою "асейсмічних" областей у межах цієї моделі є не менша величина можливих найсильніших землетрусів, а більший період повторюваності таких подій. Висновок Я. Кагана підтверджено посиланнями на дані про палеоземлетруси і про величини тектонічних деформацій у внутрішньоконтинентальних областях [134].

Руська рівнина, як і СЄП у цілому, не є регіоном виникнення значних і руйнівних землетрусів. Але в повному обсязі вона і не визнана асейсмічною. Оцінювання можливих, у тому числі максимальних, землетрусів у межах густо заселеної Руської рівнини останнім часом стало актуальним у зв'язку із цивільним будівництвом багатоповерхових споруд, розміщенням складних у технологічному відношенні та вразливих промислових виробництв, комунікацій, у тому числі АЕС.

Платформні ділянки території України та прилеглі до них території традиційно відносили до асейсмічних. За історичними відомостями на СЄП вогнища землетрусів проявилися практично повсюди. Магнітуда поштовхів була в основному невеликою і досягала рівня 3,0–4,0, інколи 5,0–5,5; а інтенсивність струшувань в епіцентрі в разі найсильніших подій не перевищувала 7-6 балів за шкалою MSK-64 (виняток становить лише район сучасних активних грабенів Білого моря). Відмітимо ризик від імовірності виникнення

землетрусів з $M > 6,5$. У той час, коли катастрофічні події ($M \geq 8,5$) (табл. 2.1) відбуваються досить рідко та на обмежених територіях земної кулі, то дуже сильні, сильні та помірні землетруси ($5,9 \leq M \leq 8,5$) можуть відбуватися в усіх континентальних районах Землі (відповідно вони можуть мати різну частоту повторюваності). У межах західної та південно-західної крайових частин СЄП можуть виникати землетруси з $5,0 \leq M \leq 6,0$, а в деяких випадках і з $M \geq 6,0$. Середня кількість землетрусів з $5,0 \leq M \leq 6,0$ на планеті – понад 800 за рік. Десятки з них відбуваються в межах древніх і молодих платформ. За даними інструментальних сейсмологічних спостережень у межах древніх платформ земної кулі відбулася значна кількість землетрусів з $M \geq 6,0$ [24, 91, 209–210].

На платформній частині України землетруси відбуваються досить рідко. Вогнища всіх відомих землетрусів були розташовані в земній корі, а сейсмічний ефект носив локальний характер. У той же час відомо, що неглибокі корові вогнища можуть викликати руйнівні струшування навіть при середньому значенні магнітуди ($M \leq 4,5$).

Однак згідно з історичними відомостями на території України все ж відбувалися локальні землетруси з інтенсивністю в епіцентральної зоні 5–7 балів [89].

У цілому відзначають приуроченість вогнищ платформних землетрусів до давніх рифових зон і областей сильного техногенного впливу на геологічне середовище [7, 108].

Особливо важливим є вирішення питання про врахування сейсмотектонічної небезпеки відносно сильних платформних землетрусів. Такі землетруси – поодинокі і прогнозувати їхню локалізацію (не говорячи вже про час) надзвичайно важко. Сьогодні використовують загальноприйнятий підхід, за яким за сейсмонебезпечні вважають усі відомі активні розломи на прилеглих до району розташування АЕС ділянках платформ [26]. Такий підхід не позбавлений, однак, очевидних недоліків [134]. По-перше, не всі розломи є сейсмонебезпечними. Відповідно до сучасних уявлень розломи важливі для визначення геодинамічної й сейсмічної небезпеки не самі по собі, а як міра активності території в новітній час.

По-друге, осадовий чохол, що перекриває значну частину платформних територій, може маскувати деякі потенційно небезпечні розломи фундаменту.

Мережа сейсмічних станцій на платформній частині території України має малу щільність (вона зосереджена в основному в Карпатському та Кримському регіонах) і не забезпечує реєстрації слабких

місцевих землетрусів. Мережу створювали в межах уявлення про асейсмічність платформних територій. Це уявлення було помилковим, як уже відзначалося вище. В аналогічних тектонічних умовах рідко, але все ж спостерігали сильні землетруси, а практично в усіх слабосейсмічних районах, де розгортали сучасні мережі спостережень, виявлялася слабка сейсмічність.

На усій платформній частині території України проявилися сильні підкорові карпатські землетруси із сейсмоактивної зони Вранча (Румунія).

Відмінною рисою цих землетрусів є значна глибина їхніх вогнищ (80–160 км). Через це зона руйнівних і відчутних ізосейст простягається на великі відстані. Крім цього, поля інтенсивностей від цих землетрусів дуже асиметричні. Велика вісь еліпсів ізосейст сильно витягнута в північно-північно-східному напрямку. Так, найсильніші землетруси були відчутні на великій території: від Греції (на півдні) до Фінляндії (на півночі). Відомості про найсильніші землетруси зони Вранча з $M > 6,5$ наведено в табл. 2.3.

У результаті проведеного дослідження [25] з виявлення сейсмонебезпечних зон на платформних ділянках України, на основі вивчення загальних сейсмотектонічних закономірностей прояву сейсмічності на територіях інших древніх платформ було встановлено, що землетруси приурочені до зон розломів лише в певних структурах, а найбільша сейсмоактивність проявляється в шовних зонах, на крайових прогинах і ділянках платформ, що до них прилягають.

Сейсмотектонічні дослідження дають можливість установити закономірні зв'язки між геологічною будовою території та проявом на ній сейсмічності. Інститутом геофізики НАН України був складений каталог землетрусів за 7 древніми платформами земної кулі та проведений комплексний аналіз даних про землетруси, геологічну будову та історію розвитку цих платформ. У ході аналізу виявлено загальні для древніх платформ сейсмотектонічні закономірності [193–194, 197] і встановлено, що в слабосейсмічних платформних областях, так само як і в сейсмоактивних, сильні землетруси можуть виникати не всюди, а в певних місцях, зумовлених визначеним набором сейсмотектонічних і геолого-геофізичних параметрів. Вивчаючи просторовий розподіл комплексу геолого-геофізичних і сейсмотектонічних параметрів за територіями слабосейсмічних регіонів, можна виділяти сейсмогенні зони і, використовуючи традиційні методи сейсмічного районування, переходити до сейсмічного районування слабосейсмічних територій.

Таблиця 2.3

**Каталог сильних землетрусів ($M > 6,5$) зони Вранча
(за даними Інституту геофізики НАН України)**

Рік	Місяць	День	Година	Хвилина	Секунда	Широта, град.	Довгота в град.	Глибина, км	Магнітуда
1107	2	12	3	0	0,0	45,7	26,6	150	6,9
1170	4	1	0	0	0,0	45,7	26,6	150	7,0
1196	2	13	7	0	0,0	45,7	26,6	150	7,0
1230	5	10	7	0	0,0	45,7	26,6	150	7,1
1258	2	7	13	0	0,0	45,7	26,6	150	6,9
1327	0	0	0	0	0,0	45,7	26,6	150	7,0
1446	10	10	4	0	0,0	45,7	26,6	150	7,6
1471	8	29	8	0	0,0	45,7	26,6	150	6,8
1516	11	24	0	0	0,0	45,7	26,6	150	6,7
1523	6	9	0	0	0,0	45,7	26,6	150	7,0
1545	7	9	8	30	0,0	45,7	26,6	150	6,9
1595	4	21	10	0	0,0	45,7	26,6	150	6,9
1606	1	13	1	30	0,0	45,7	26,6	150	6,6
1620	12	0	0	0	0,0	45,7	26,6	150	6,6
1637	2	1	1	30	0,0	45,7	26,6	150	6,6
1679	8	9	2	0	0,0	45,7	26,6	100	6,6
1681	8	18	0	0	0,0	45,7	26,6	150	6,7
1701	6	12	0	0	0,0	45,7	26,6	150	7,1
1738	6	11	10	30	0,0	45,7	26,6	150	7,0
1790	4	6	19	29	0,0	45,7	26,6	150	6,9
1802	10	26	10	55	0,0	45,7	26,6	150	7,4
1821	11	17	13	45	0,0	45,7	26,6	150	6,7
1829	11	26	1	40	0,0	45,7	26,6	150	6,8
1838	1	23	18	36	0,0	45,7	26,6	100	7,0
1893	8	17	14	25	0,0	45,7	26,6	100	6,6
1908	10	6	21	39	48,0	45,8	26,5	150	6,8
1929	11	1	6	57	21,0	45,9	26,5	150	6,7
1934	3	29	20	6	48,0	45,7	26,5	150	6,8
1940	10	22	6	37	0,0	45,9	26,5	150	6,8
1940	11	10	1	39	7,0	45,8	26,8	150	7,3
1977	3	4	19	21	53,8	45,77	26,8	108	6,9
1986	8	30	21	28	36,0	45,54	26,31	137	6,8
1990	5	30	10	40	6,2	45,88	26,67	90	6,7
1990	5	31	0	17	47,9	45,86	26,77	89	6,6

На основі аналізу загальних сейсмотектонічних закономірностей прояву сейсмічності на древніх платформах і геолого-геофізичних і сейсмологічних даних платформної частини України були виділені сейсмотектонічні провінції, тобто геологічні структури з підвищеною тектонічною і сейсмічною активністю відносно інших територій [25, 193–194, 196–197]. На основі такого підходу до головних сейсмотектонічних провінцій на території України можна віднести: Передкарпатсько-Дністровську, Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецьку та Північно-Причорноморську.

На основі комплексного аналізу геодинамічного стану території, сейсмологічних, геолого-геофізичних даних і результатів сейсмотектонічного районування за величиною сейсмотектонічного потенціалу в межах зазначених сейсмотектонічних провінцій було виділено ряд потенційно-сейсмогенних зон [209].

Виходячи із сучасних уявлень про те, що зони розрядки напружень у земній корі пов'язані із зонами активізації глибинних розломів і розривними порушеннями, потенційні зони ВВЗ ототожнюють із тектонічно активними структурами (у тому числі з проявами сейсмічності) у межах сейсмотектонічних провінцій.

У Передкарпатсько-Дністровській сейсмотектонічній провінції сейсмічність пов'язана зі структурами зони зчленування древньої СЄП із Карпатською складчастою системою північно-західного простягання, що зумовлено загальним геодинамічним станом і будовою земної кори цього регіону. Землетруси тяжіють до зон перетину структур північно-західного і північно-східного напрямків. Виділено дві сейсмогенні зони: перша пов'язана з Белз-Балучинським і Рогатинським розломами, а до другої зони відносять Ростоцьку зону дислокацій і Рава-Руський розлом. Східною границею є флексурно-розломна зона, що обмежує Передкарпатський прогин. Для першої зони максимально можлива магнітуда оцінена як $M_{\max} = 5,5$, для другої $M_{\max} = 5,0$.

У зонах авлакогенів древніх платформ землетруси переважно приурочені до бортових зон із внутрішнього або зовнішнього боку. До бортових зон приурочені сильніші землетруси. У внутрішніх частинах авлакогенів землетруси рідко мають магнітуду понад 3,0–3,5. У межах Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецької сейсмотектонічної провінції крайові зони порушень можна виділити як потенційно сейсмогенні зони з магнітудою до 4,5, а внутрішню зону – з магнітудою до 3,5.

У межах Північно-Причорноморської сейсмотектонічної провінції виділена одна сейсмогенна зона. У тектонічному плані вона може бути приурочена до складної системи бортових розломів, що обмежують майже субширотну смугу крайових прогинів: Північно-Азовського, Каркінітсько-Сивашського та інших, розташованих далі на захід. Для землетрусів цієї зони M_{\max} оцінено як 4,0.

Для прикладу розглянемо сеймотектоніку територій розміщення АЕС, що є на різних стадіях свого життєвого циклу:

➤ Хмельницька АЕС і Рівненська АЕС – перебувають в експлуатації (введені в експлуатацію добудовані блоки).

➤ Чорнобильська АЕС – на стадії виведення з експлуатації.

Основними зонами, що впливають на тектонічний стан району розміщення Чорнобильської АЕС є Тетерівська, Південно-Прип'ятська, Північно-Прип'ятська та Ядловсько-Трактемирівська зони глибинних розломів (рис. 2.15).

Із проведеного аналізу результатів дослідження з уточнення глибинної будови літосфери, сейсмічного мікрорайонування та сейсмічного моніторингу (початкової стадії) території розміщення ЧАЕС [64, 151–154] випливає, що:

➤ поблизу території промислового майданчика проходять глибинні розломи (Південна прибортова зона розломів Прип'ятського прогину, I та II зони Тетерівського розлому), що є зонами підвищеної сейсмічної небезпеки;

➤ сейсмічність території визначають як сильними підкоровими землетрусами зони Вранча, так і "місцевими" землетрусами, що генеруються тектонічними структурами, розміщеними безпосередньо поблизу промислового майданчика. Аналіз раніше виконаних робіт свідчить про те, що максимальна спостережена інтенсивність струшувань у районі АЕС не перевищує для ПЗ = 5 балів і МРЗ = 6 балів.

Район розміщення Рівненської і Хмельницької АЕС розташований у південно-західній частині СЄП, в основному в межах Подільської плити західної частини Українського щита і частково Прип'ятського прогину. Подільську плиту характеризують підвищеною мобільністю, оскільки вона розташована в зоні переважного прояву знакоперемінних неотектонічних рухів земної кори, з якою пов'язані повторні інверсії рухів земної кори та їхня підвищена контрастність [91] (рис. 2.16).

У межах території району Рівненської та Хмельницької АЕС на неотектонічному етапі (олігоцен-четвертинний період) спостерігають суттєву просторову диференційованість тектонічних структур різного рангу [125, 210]. Найбільш активними є структури, що тяжіють до ділянки перетину Кременецько-Пержанського, Північно-Волинського та Червоноградсько-Острозького розломів, виражені в деформаціях реперного горизонту і представлені в сучасному рельєфі переважно структурно-денудаційними і денудаційними висотами.

Головні особливості неоструктурного плану визначають двома системами діагональних і ортогональних розломів, що утворюють єдину динамічну систему. Основу системи становлять розломи з вираженою вертикальною складовою неотектонічних рухів і ознаками горизонтальної складової (Кременецько-Пержанська, Луцька, Ратнівська зони, Північно-Волинський, Червоноградсько-Острозький та інші розломи).

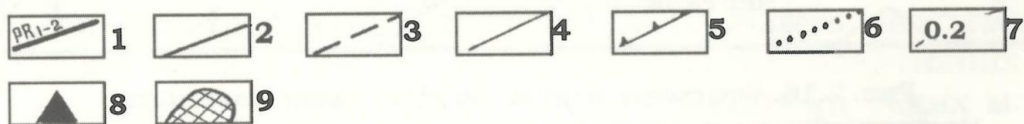
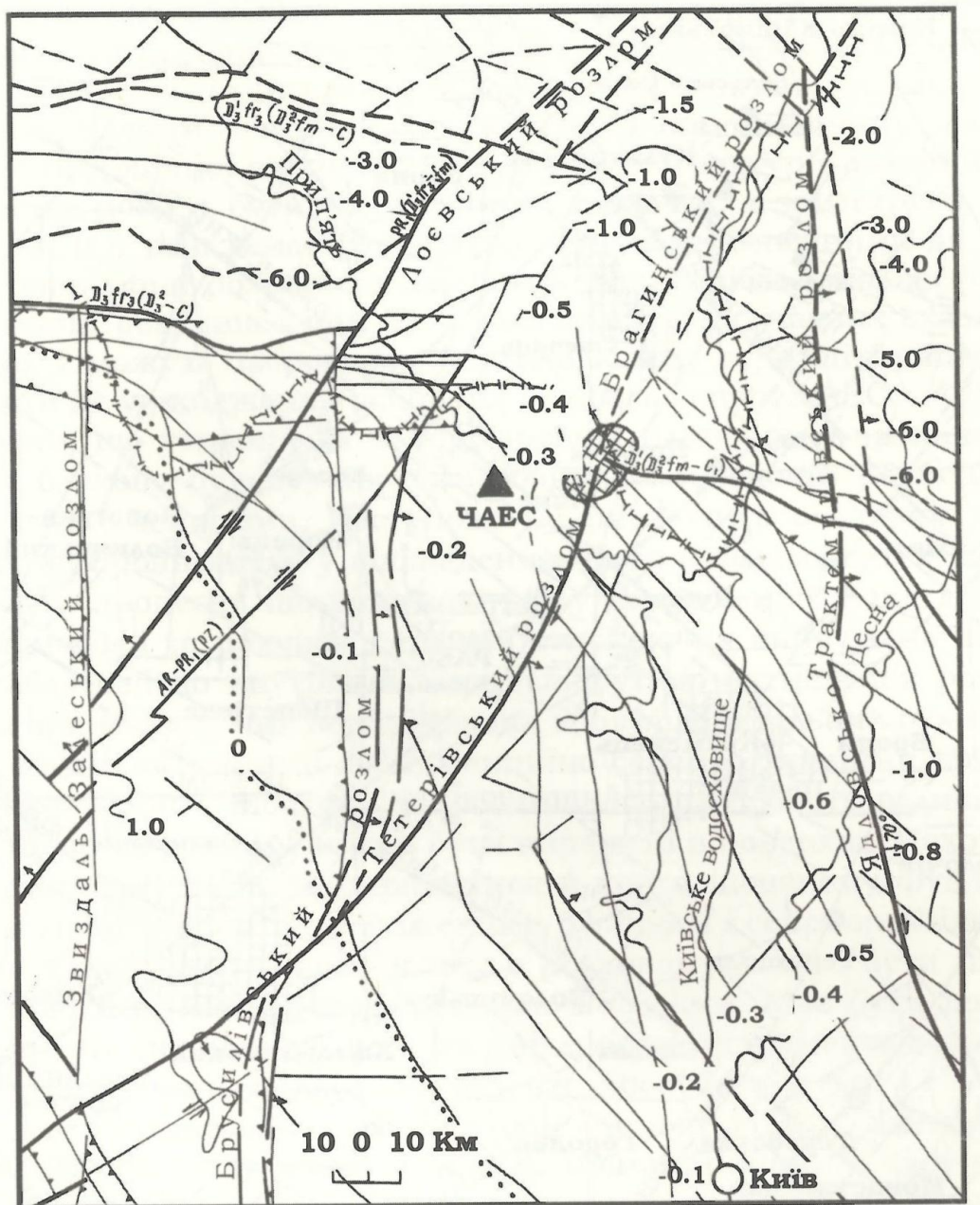


Рис. 2.15. Карта геолого-тектонічного стану району розміщення Чорнобильської АЕС (за даними Інституту геофізики НАН України)
 Розривні порушення: 1 – регіональні мантійні, що обмежують великі блоки докембрійського фундаменту; 2 – субрегіональні внутрішньо корові; 3 – розривні порушення з нез'ясованою морфологією, виділені наближено; 4 – локальні; 5 – літофаціальні структурні зони в докембрії; 6 – межі Українського щита; 7 – ізогіпси підшви плитних комплексів древніх платформ, км; 8 – Чорнобильська АЕС; 9 – зона підвищеної сейсмічної емісії

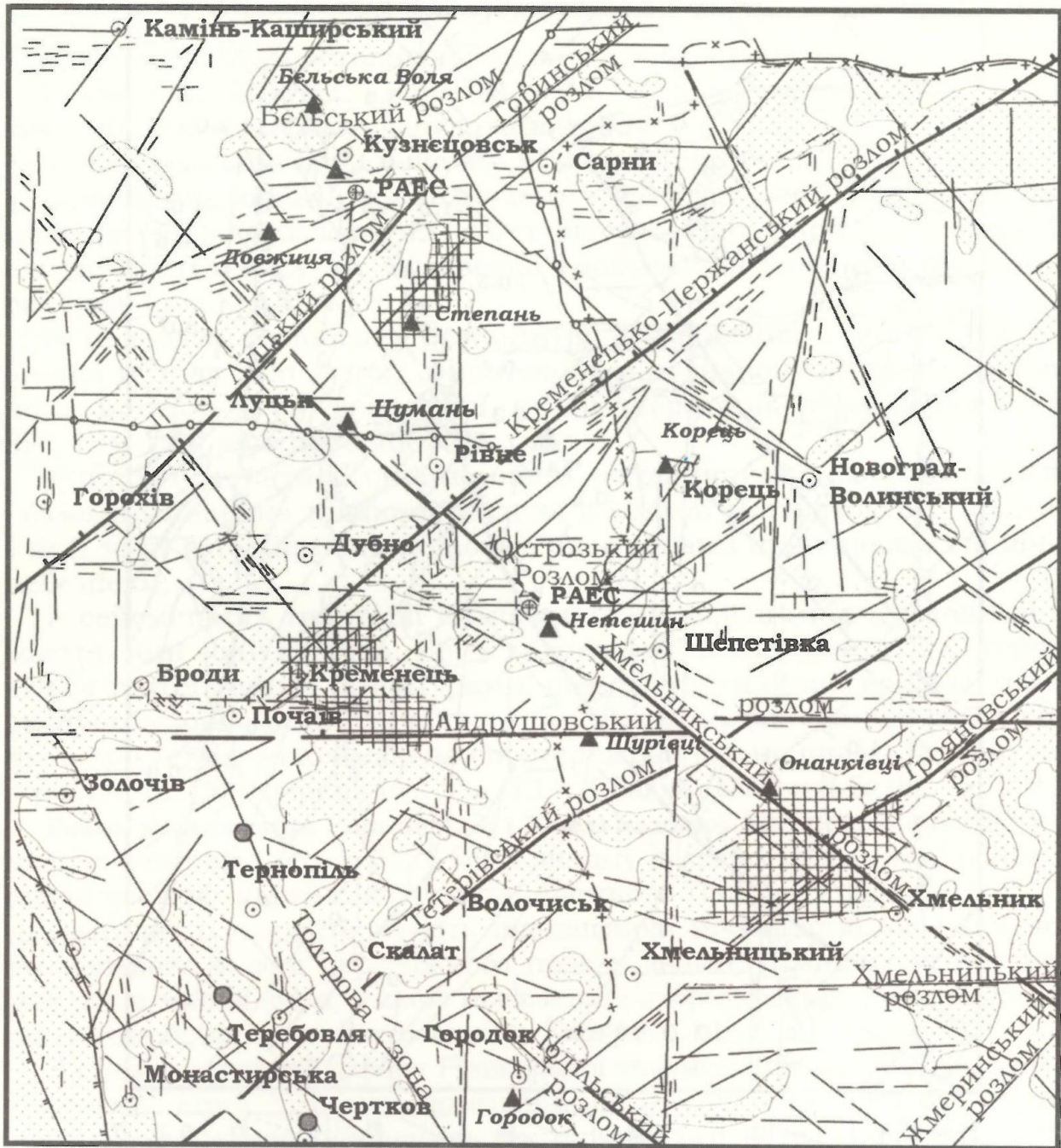


Рис. 2.16. Фрагмент карти, що відображає наявність неотектонічно активних розломних порушень і сейсмічність району розміщення Рівненської та Хмельницької АЕС (за даними Інституту геофізики НАН України)

Розривні порушення, що перетинають район розміщення Рівненської АЕС (РАЕС), у кінематичному відношенні представлені скидами, скидо-зсувами і безамплітудними розломами. Неотектонічні активізації вздовж розривних порушень підтверджені комплексом кількісних показників і якісних характеристик, що дозволяють констатувати прояв переміщень уздовж розломів у міоцені і в четвертинному періоді. Аналіз різно-

вікових геолого-геоморфологічних ознак неотектонічної активності дозволяє висловити припущення про визначену періодичність неотектонічних активізацій і дискретності ділянок неотектонічної активізації у просторі. Одним з основних індикаторів геодинамічних процесів, сучасної тектонічної активності геологічних структур і розривних порушень, що можуть бути небезпечними для РАЕС, є землетруси.

Для РАЕС у разі землетрусів можуть бути небезпечними як великі активізовані зони розривних порушень, так і дрібні локальні близькі, активізовані розривні зони, що проявляються в сучасних екзогенних процесах і можуть за рахунок вертикальних і горизонтальних рухів призвести до ушкодження основних будівель і споруд АЕС.

Розломи, що утворилися в корі древніх платформ і визначають її сучасну блокову будову, протягом багатьох мільйонів років можуть залишатися пасивними, поступово покриваючись осадовим чохлам і майже не проявлятися у відкладеннях його наймолодшої товщі. Але за рахунок процесів, що відбуваються у верхній мантії під древніми платформами і за рахунок передачі стискаючих напружень від крайових областей до внутрішніх може відбутися активізація розломів, поновлення вздовж них вертикальних або горизонтальних рухів.

Тектонічно активними або потенційно сейсмоактивними прийнято вважати розломи глибокого закладення, що розділяють великі блоки земної кори. Ці розломи мають бути виражені в поверхні "Мохо", мати деяку амплітуду зміщень, виявлятися в консолідованому фундаменті і по можливості бути підтвердженими бурінням і сейсморозвідкою. Ці розломи також мають виявлятися в осадовому чохла і бути підтверджені прямими геолого-геофізичними методами. Має бути доведена їхня четвертинна активізація і по можливості інструментально (геодезичними методами) зафіксовані вздовж них сучасні рухи.

Поблизу промислових майданчиків Рівненської та Хмельницької АЕС місцеві відчутні землетруси за історичний відрізок часу не проявилися. Однак це не означає, що землетруси з локальною інтенсивністю до 6 балів неможливі поблизу цих АЕС. Відомо, що землетруси з магнітудами 4–5 можливі в будь-якому місці сейсмоактивних тектонічних порушень. Дослідження сейсмічної безпеки таких мало вивчених у сейсмічному відношенні територій є надзвичайно складними. На жаль, занадто короткий період сейсмічних інструментальних спостережень, виконаних Інститутом геофізики НАН України на замовлення АЕС, не дозволив зареєструвати сильні події із зони Вранча (за час спостережень сильних землетрусів у зоні Вранча не відбулося). Період повторюваності таких подій у середньому становить 25–35 років. Для вивчення сейсмічної безпеки потрібне отримання статистично представницьких даних про слабкі землетруси. На жаль, на Українському щиті не ведеться постійного сейсмічного моніторингу

густою мережею високочутливих сейсмічних станцій. Лише в разі запровадження такого моніторингу і функціонування його протягом декількох років можна одержати досить надійну сейсмологічну інформацію, на основі якої може бути вирішено завдання виявлення потенційно небезпечних сейсмічних зон і оцінено сейсмічну небезпеку території розміщення АЕС.

Обґрунтована оцінка сеймотектонічної небезпеки тих чи інших ділянок території України може бути встановлена лише на основі адекватної сеймотектонічної інформації, що буде отримана в результаті розгортання густих мереж сейсмічного моніторингу. Порівнюючи проектні терміни функціонування потенційно небезпечних об'єктів з тривалістю рядів інструментальних спостережень, можна зробити висновок про те, що оцінювання безпеки цих об'єктів не може вважатися надійним без поліпшення стану спостережень за місцевими процесами і явищами.

2.5. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ПРО ЗЕМЛЕТРУС ПОБЛИЗУ ПІВНІЧНОЇ СУМАТРИ

Катастрофічний землетрус 26 грудня 2004 р. поблизу Північної Суматри змусив по-новому розглянути питання сейсмічної безпеки країн, розташованих поблизу прикордонних зон, що утворилися на стику великих тектонічних плит. Землетруси такої величини відбуваються рідко, тому не тільки вчені, але й уряди країн повинні максимально врахувати уроки цих подій.

Важливість аналізу тектонічної ситуації в районі вогнища землетрусу 26 грудня 2004 р. для України визначають тим, що поблизу нашої країни також проходить Альпійсько-Гімалайський пояс планети, що є частиною потужного Азорсько-Середземноморсько-Альпійсько-Трансазійського сейсмогенного поясу, до якого належить і область о. Суматра (Зондська дуга). Це добре простежується на карті розподілу вогнищ сильних землетрусів (рис. 2.17).

Альпійсько-Гімалайський пояс, що впливає на сейсмічність як о. Суматра, так і території України, утворився внаслідок зіткнення Африканської, Індійської та Австралійської плит з Євразійською. Він сформувався в межах мезозойського океану Неотетис у кайнозойську еру [248]. На стику між великими материковими плитами внаслідок механічної переробки їхніх країв звичайно формується багато менших "субплит", блоків, що під час взаємодії з великими плитами і між собою створюють складну напружено-деформовану ситуацію в сейсмогенному поясі і на його окраїнах.

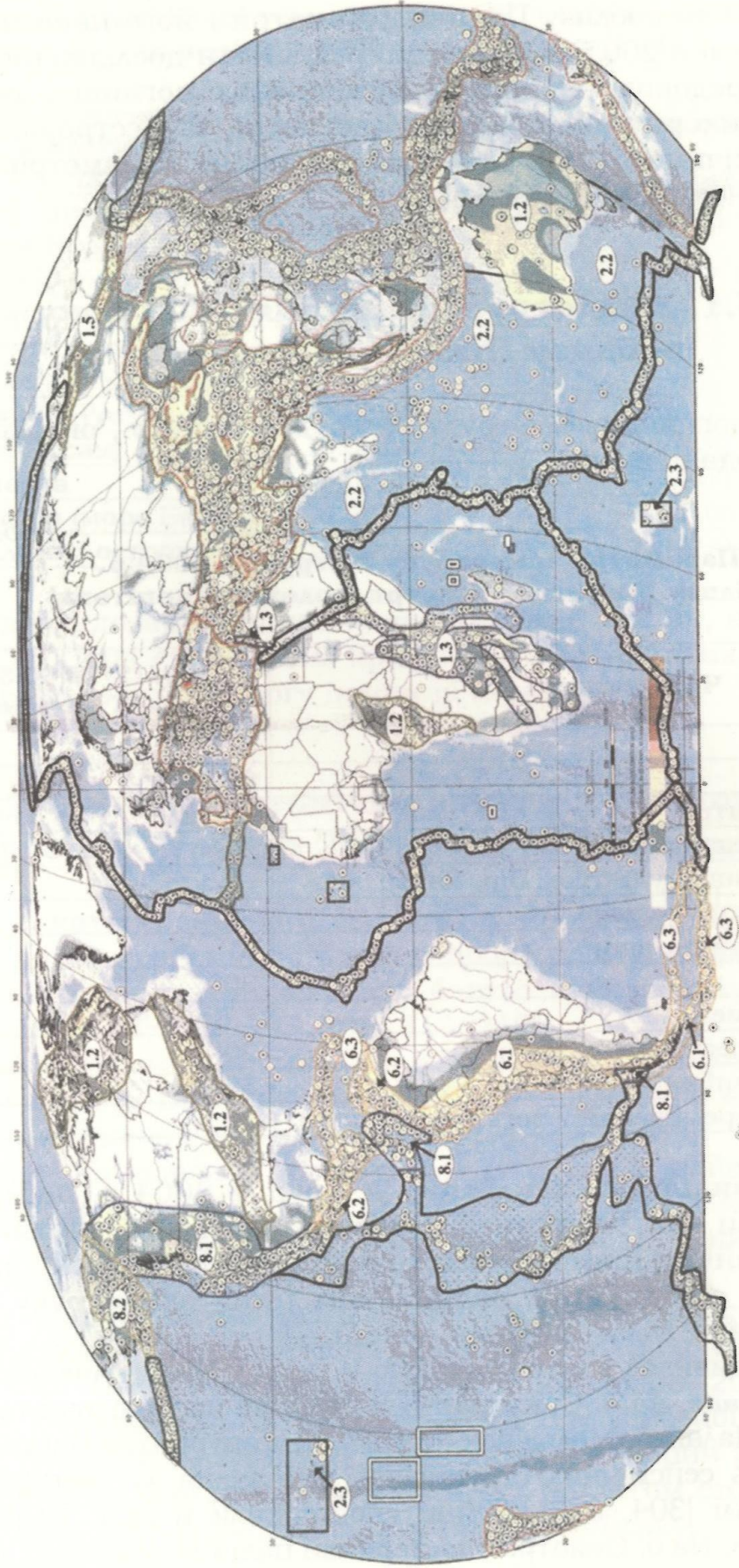


Рис. 2.17. Розподіл вогнищ сильних землетрусів на поверхні Землі [274]

Проаналізуємо інформацію про прояв катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 р. поблизу Північної Суматри і його найбільший афтершок 28 березня 2005 р. Наведемо результати дослідження глибинної будови середовища в районі виникнення вогнищ і результати практичного використання записів цих подій, зареєстрованих українськими сейсмічними станціями, для уточнення параметрів сейсмічної небезпеки Чорнобильської АЕС.

2.5.1. Землетрус 26 грудня 2004 року поблизу Північної Суматри

Параметри вогнища землетрусу 26 грудня 2004 р., опубліковано в роботі [280], подано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Параметри землетрусу 26 грудня 2004 р.
поблизу Північної Суматри (головний поштовх)

Час у вогнищі	04/12/26 00:58:51 (за Гринвічем)
Широта	3,251 °N
Довгота	95,799 °E
Глибина гіпоцентру	10 км
Магнітуда моментна M_w	9,0
Параметри механізму (Strike, Dip, Rake):	
напрямок проекції розриву	330°
падіння площини розриву	8°
напрямок руху	90°
Сейсмічний момент M_0	$1,8 \times 10^{22}$ Нм
Тривалість процесу у вогнищі	200 с
Максимальна глибина вогнища	32 км
Максимальні переміщення у вогнищі	19 м

З табл. 2.5 видно, що землетрус 26 грудня 2004 р. поблизу Північної Суматри за величиною займає четвертий-п'ятий рядок у переліку найсильніших землетрусів, які відбулися на Землі з 1900 р. Цей землетрус є найбільшим після землетрусу 1964 р. в Протоці Принца Вільгельма на Алясці.

Землетрус проявився з інтенсивністю 9 балів у Банда Ачех, 8 – у Меулабох, 6 – у Медане, на о. Суматра і 3–5 балів на частині території Бангладеш, в Індії, Малайзії, Мальдівах, М'янмі, Сінгапурі, Шрі-Ланці і Таїланді. Інтенсивність сейсмічних струшувань визначена за Модифікованою шкалою Меркаллі [304, 318]. Сейші спостерігали в Індії і Сполучених Штатах Америки. На о. Суматра спостерігали падіння каміння і зсуви.

Таблиця 2.5

**Найбільші землетруси (з $M > 8,5$) у світі
за період з 1900 р. за даними [314]**

№	Район вогнища землетрусу	Дата	Магнітуда	Широта	Довгота
1	Чилі	22.05.60	9,5	38,24 S	73,05 W
2	Аляска (протока принца Вільяма)	28.03.64	9,2	61,02 N	147,65 W
3	Аляска (о. Андреанова)	09.03.57	9,1	51,56 N	175,39 W
4	Камчатка	04.11.52	9,0	52,76 N	160,06 E
5	Північна Суматра	26.12.04	9,0	3,30 N	95,78 E
6	Узбережжя Екватору	31.01.06	8,8	1,00 N	81,50 W
7	Аляска (о. Рат)	04.02.65	8,7	51,21 N	178,50 E
8	Тибет (Ассам)	15.08.50	8,6	28,50 N	96,50 E
9	Камчатка	03.02.23	8,5	54,00 N	161,00 E
10	Індонезія (море Банда)	01.02.38	8,5	5,05 S	131,62 E
11	Курильські острови	13.10.63	8,5	44,90 N	149,60 E

Мільярдами доларів оцінюють економічний збиток, нанесений землетрусом 26.12.04 економікам країн, розташованим на берегах Індійського океану, у першу чергу Індонезії й Таїланду.

2.5.2. Сейсмотектонічна ситуація в районі вогнищ землетрусів 26 грудня 2004 року і 28 березня 2005 року

Вогнище катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 р. виникло в районі, висока сейсмічність якого добре відома сейсмологам. Сейсмічності цього району присвячено багато наукових публікацій [271–272, 278, 281, 286, 292, 295, 298, 313, 319].

Загальна тектонічна ситуація в районі виникнення землетрусу 26 грудня 2004 р. показана на рис. 2.18. Положення епіцентру цього землетрусу позначено червоною зірочкою.

Докладне обговорення тектонічної ситуації в районі о. Суматра можна знайти в роботах [248, 266, 286, 292, 294]. За даними [270, 279, 290, 299] Індо-Австралійська плита в районі вогнища землетрусу просувається в північно-північно-східному напрямку зі швидкістю близько 60 мм на рік. На рис. 2.18 зона основних афтершоків землетрусу 26 грудня 2004 р. відмічена фіолетовим штрихуванням.

За даними [299], руйнівний землетрус 26 грудня 2004 р. відбувся як скид на стику Індо-Австралійської та Євразійської плит у районі Північної Суматри. Приблизно за дві хвилини розрив реалізував пружну деформацію, що накопичувалася тут протягом сторіч за рахунок субдукції Індо-Австралійської плити під Євразійську.

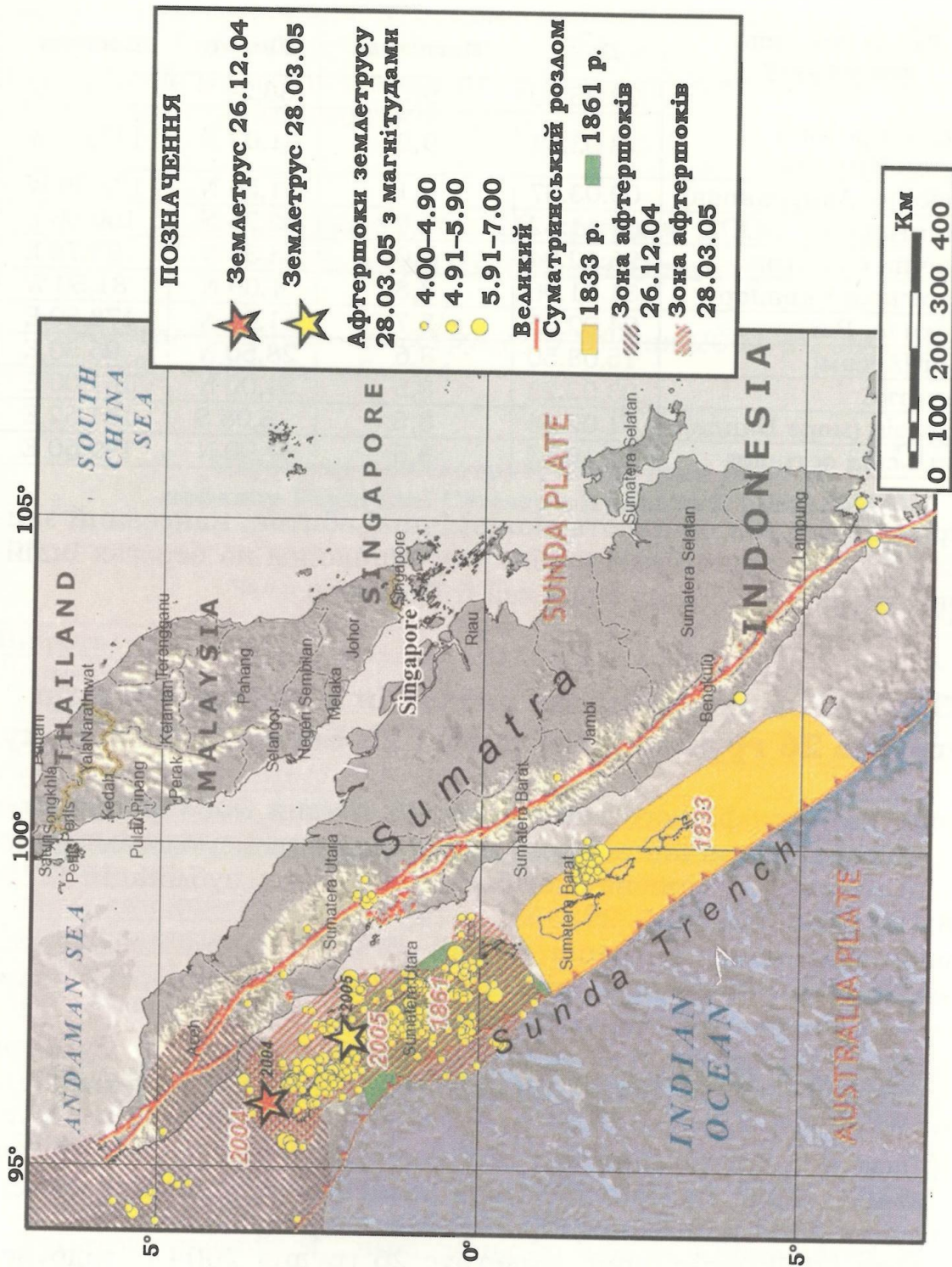


Рис. 2.18. Положення епіцентрів землетрусів 26.12.04 і 28.03.05 у районі Північної Суматри за даними [287]

Найпростіше тектонічні процеси, що відбуваються в районі вогнища землетрусу, можуть бути описані схемою, поданою на рис. 2.19.

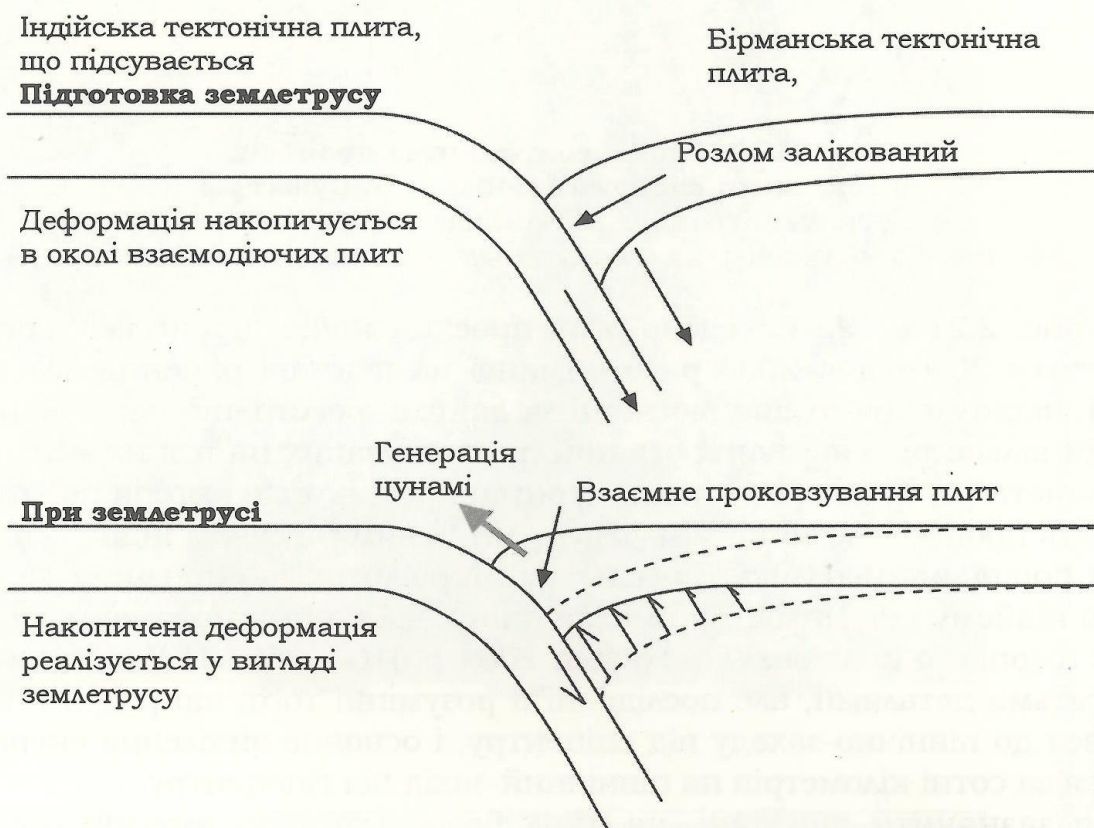


Рис. 2.19. Схема тектонічних процесів під час підготовки і реалізації землетрусу 26 грудня 2004 р. [311]. Вертикальний розріз зони субдукції

У районі Зондського жолоба тонка океанічна Індо-Австралійська плита, згинаючись, занурюється у мантію Землі під косим кутом. Наявність занурення Індо-Австралійської плити в мантії добре простежується за розташуванням вогнищ сильних землетрусів ($M > 4,5$) і за деякими іншими ознаками геологічної будови в районі основного поштовху, зазначеними в роботах [271, 278, 292–293]. Напрямок конвекції Індо-Австралійської плити щодо пластини, що насувається, у зоні субдукції орієнтовано похилий до осі прогину.

У роботах [276–277] показано, що в зоні косої субдукції деформація може відбуватися за двома способами (як показано на рис. 2.20).

Рух, що відбувається на стику між Індо-Австралійською та Євразійською плитами в цьому регіоні включає *підсув, спрямований під великим кутом до орієнтації жолоба*, і зрушення (Центрально-Суматринське), що включає ковзання, спрямоване субпаралельно Зондському жолобу.

Уперше можливість виникнення землетрусів з механізмом, показаним на рис. 2.20, у зоні субдукції поблизу о. Суматра, де майже чистий зсув відбувається уздовж міжплитного розлому, а задуте зрушення відбувається в плиті, що насувається, була описана в класичній роботі [281].

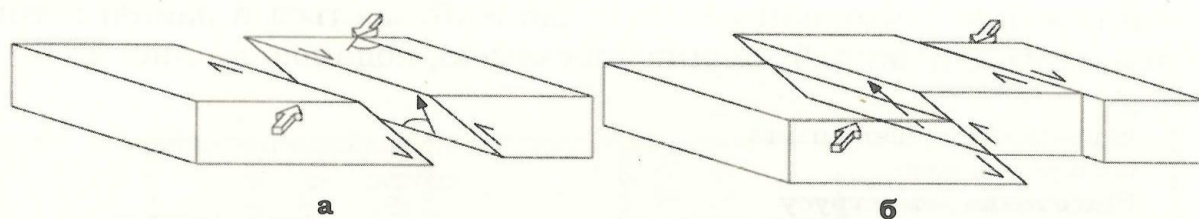


Рис. 2.20. Схеми тектонічних процесів у зоні косої субдукції поблизу о. Суматра:

а – діагональний розрив: зсув зсув (правосторонній);
б – подвійний розрив: чистий зсув і задугове зміщення по розлому

На рис. 2.21 і 2.22 наведено різні проекції моделі процесів у вогнищі землетрусу 26 грудня 2004 р., отриманої на підставі рішення оберненої задачі: відновлення рухів у вогнищі за даними реєстрації цугу *P*-хвилі на великій кількості сейсмічних станцій, розташованих на різних континентах планети [299]. Інтерпретуючи отримані результати, автори роботи пояснюють процес у вогнищі землетрусу миттєвим підсувом Індійської плити під порівняно невелику Бірманську мікроплиту, що призвело до часткового підйому останньої. Ця і низка інших доступних моделей руху у вогнищі головного поштовху 26 грудня 2004 р. [167, 265, 313] відрізняються багатьма деталями, але послідовні в розумінні того, що розрив поширювався до північно-заходу від епіцентру, і основне виділення енергії відбулося за сотні кілометрів на північний-захід від гіпоцентру.

Слід зазначити, що дані, на яких базується комп'ютерне моделювання [299], не дозволяють упевнено визначити довжину розриву більше ніж на 500 км на північний захід від епіцентру головного поштовху. Обмеження накладаються тривалістю цугу *P*-хвилі, не ускладненого вступом хвиль інших типів.

Зона афтершоків землетрусу 26 грудня має довжину понад 1300 км. Якщо припустити, що афтершоки відбувалися на площині (або дуже близько від площини) розриву головного поштовху, довжина зони афтершоків дозволяє зробити припущення, що головний розрив міг продовжуватися на північ від епіцентру на відстань істотно більшу, ніж 500 км. Однак варто враховувати, що великий землетрус може також бути пусковим механізмом для активізації землетрусів на розломах, відділених від площини головного розриву на десятки або навіть сотні кілометрів. У такій складно побудованій зоні важко визначити частину афтершокової активності, що під час землетрусу 26 грудня відповідала активності, пов'язаній з головним ударом.

Слід зазначити, що всі землетруси, наведені в табл. 2.5, подібно до землетрусу 26 грудня 2004 р., були подіями з надрозривами і відбувалися в місцях, де одна тектонічна плита підповзала під іншу.

З показаної на рис. 2.21 моделі розподілу зсувів морського дна в зоні вогнища видно, що ширина розриву під час землетрусу, виміряна перпендикулярно до Зондського жолоба, була близько 150 км.

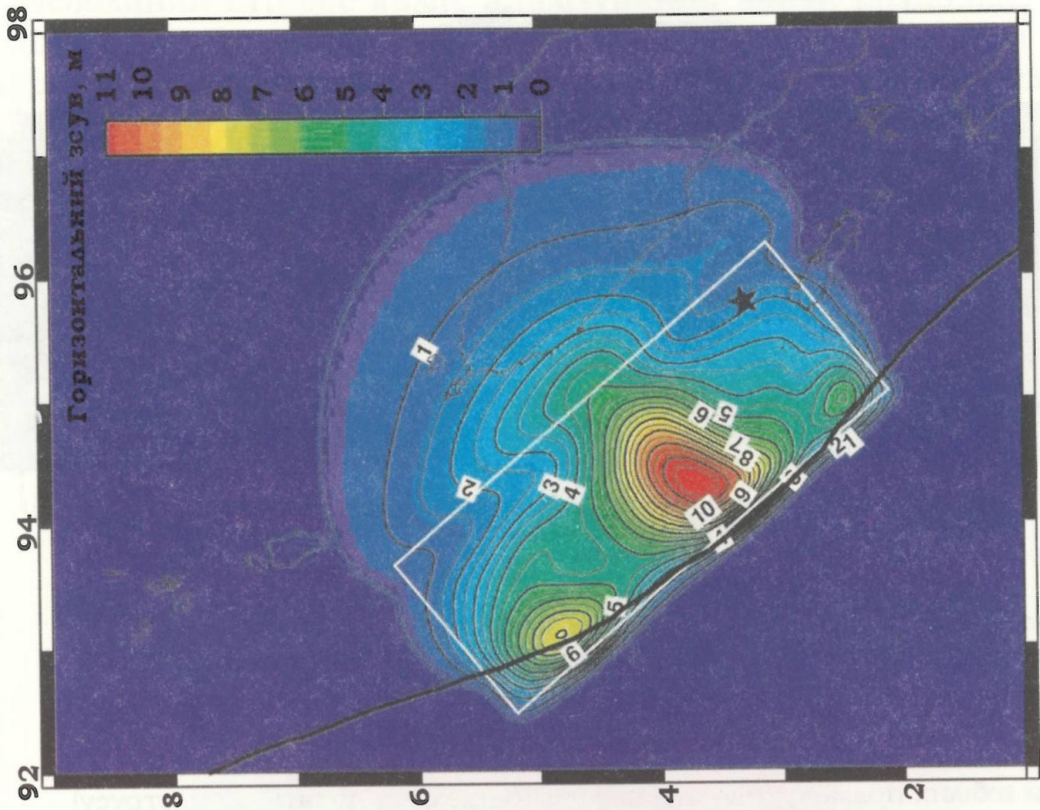
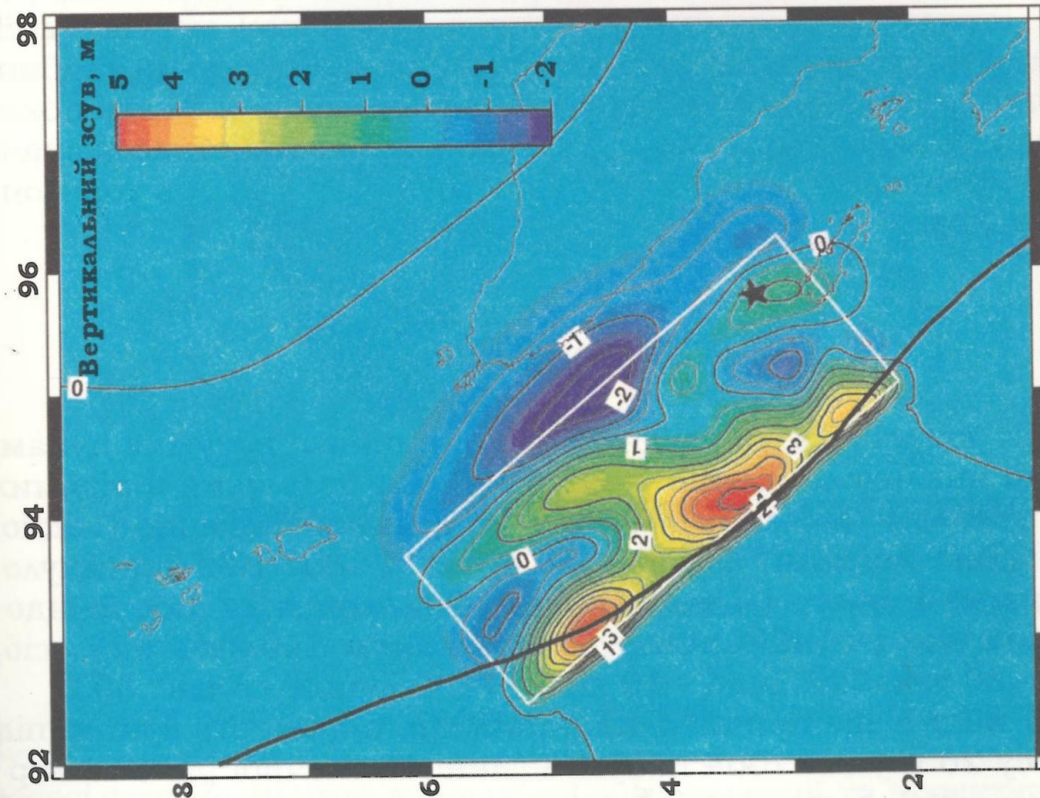


Рис. 2.21. Модель розподілу зсувів морського дна в зоні вогнища землетрусу 26.12.04 поблизу Північної Суматри за даними [268].

Ліворуч зображено вертикальні переміщення в метрах, праворуч – горизонтальні. Зірочкою показано положення епіцентру землетрусу

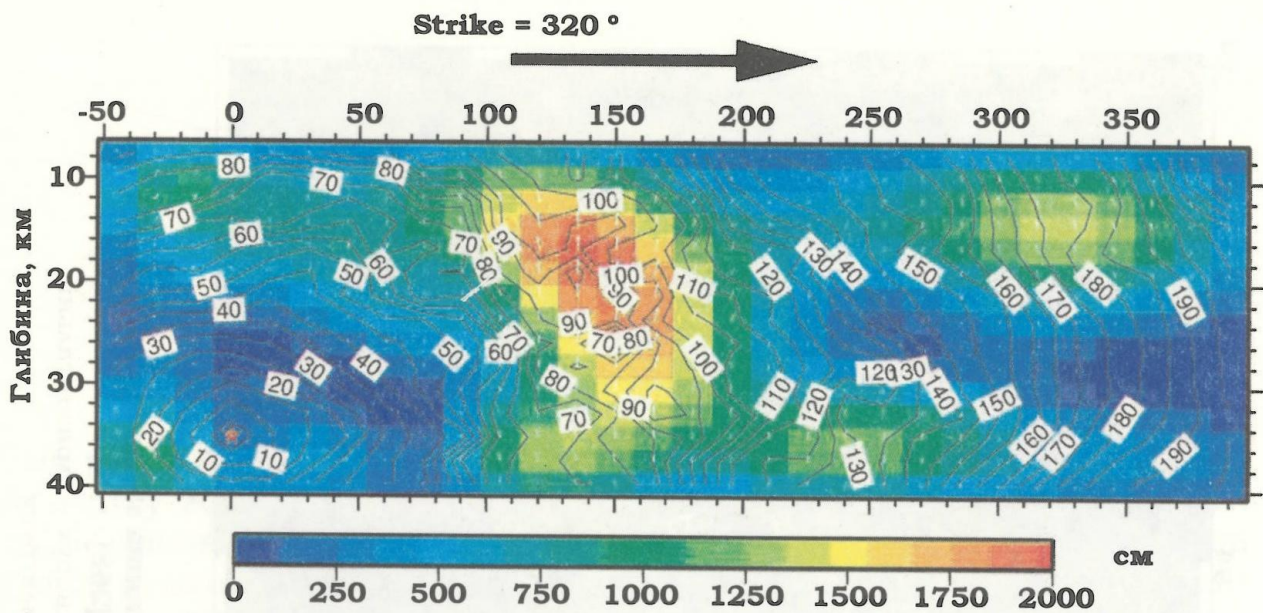


Рис. 2.22. Модель переміщень в зоні вогнища землетрусу 26 грудня 2004 р. поблизу Північної Суматри за даними [268].

(Показано проекцію максимальних переміщень на вертикальну площину з азимутом 320° , що відповідає довгій бічній грані білого прямокутника на рис. 2.21. Цифрами в білих прямокутниках – час у секундах від початку землетрусу)

Геодезичні виміри і комп'ютерні моделі, побудовані за даними реєстрації землетрусу на станціях усесвітньої сейсмічної мережі [268] показують, що максимальний підсув у районі землетрусу на глибині 18 км становив приблизно 20 м (див. рис. 2.22). З рис. 2.21, де показані переміщення морського дна, видно, що воно перемістилося значно менше: у вертикальному напрямку приблизно на 5 м, а в горизонтальному – на 11 м.

2.5.3. Цунамі

У результаті землетрусу 26 грудня 2004 р. виникло потужне цунамі [264, 285], що викликало більше руйнувань, ніж будь-який з відомих землетрусів в історії. За даними [314] у 10 країнах Південно-Східної Азії та Східної Африки більше 283 тис. 100 осіб загинуло, 141 тис. пропали безвісти і 1 млн 126 тис. 900 втратили дах. В Індонезії від землетрусу і цунамі загинуло як мінімум 110 тис. 229 осіб, у Шрі-Ланці – 30 тис. 922, Індії – 10 тис. 749, Таїланді – 5 тис. 303.

З рис. 2.21 видно, що причиною виникнення потужного цунамі під час землетрусу 26 грудня 2004 р. була наявність значної (до 5 м) вертикальної складової в практично миттєвому (як видно з рис. 2.22 – близько 2 хв) русі морського дна.

Особливий інтерес являє аналізування карти розподілу висоти підвищення рівня океану [267] (рис. 2.23). Видно, що біля узбережжя Африки і деяких країн Індокитаю рівень океану змінився всього на висоту від 5 до 30 см. Але навіть у цих умовах на її берегах (що впливає з інформації про кількість загиблих у різних країнах, яка подана на сайті [301]) у Сомалі загинуло 150 осіб, на Мальдівах – 81, у Малайзії – 68, М'янмі – 59, Танзанії – 10, Сейшелах – 3, Бангладеш – 2 і 1 особа в Кенії. Цунамі завдало шкоди на Мадагаскарі і Маврикії. Воно досягло Мозамбіку, Південної Африки, Австралії та Антарктиди, було зареєстровано на берегах Тихого та Атлантичного океану, у Новій Зеландії, Південній і Північній Америці.

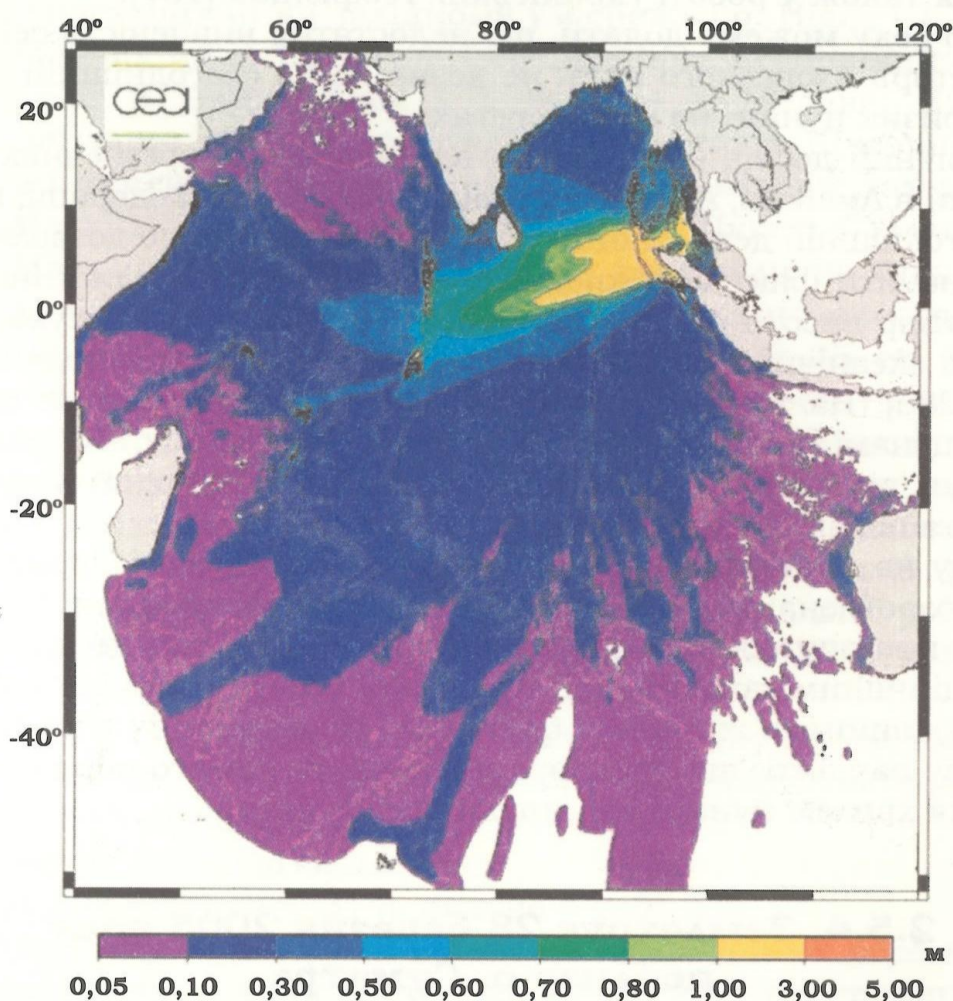


Рис. 2.23. Розподіл рівня підвищення поверхні океану під час цунамі, викликаного землетрусом 26 грудня 2004 р. за даними [267]

З огляду на те, що аналогічний рівень підвищення рівня моря може бути досягнутий під час сильних землетрусів в акваторії Чорного та Азовського морів, при плануванні зон рекреації та проектуванні важливих і потенційно небезпечних в екологічному відношенні об'єктів на берегах цих морів також варто враховувати загрозу виникнення цунамі.

Відомий російський учений М. Клячко, один із керівників Всесвітньої асоціації сейсмологів, у своєму листі від 26.02.05 до вчених світу у зв'язку з 10-річчям із дня землетрусу в м. Кобе (Японія) звертає увагу громадськості на те, що узбережжя Чорного і Каспійського морів є цунамі-небезпечними з позицій економічного ризику їхнього освоєння і забудови. Висота хвилі цунамі в цих місцях може досягати 7 м, що поки ніяк не враховано в будівельних нормах, планувальних стандартах, генпланах існуючих уже міст і промислових зон Російської Федерації, Азербайджану, Грузії, Казахстану, Туркменії та України.

Про наявність передумов до виникнення цунамі в акваторії Чорного моря та їхньої потенційної небезпеки для Південного берега Криму говориться також у роботі українських геофізиків [167].

Зі свого боку можемо додати, що недостатня вивченість сейсмічності в акваторії Азовського моря не дозволяє на сьогоднішній день виключити ризик цунамі на його берегах.

Багаторічний досвід контролю за виникненням небезпечних цунамі, вироблений в Америці, Австралії, Японії й Російській Федерації, показав, що на сьогоднішній день єдиним надійним методом, що дозволяє достовірно визначити факт виникнення цунамі, є безпосередній інструментальний вимір висоти і напрямку поширення хвилі, що насувається, за допомогою океанічних датчиків тиску і зміни параметрів водяних потоків [264, 285]. На жаль, в Індійському океані такої системи спостереження за цунамі на кінець 2004 р. не було. Проект системи розроблено японськими вченими і починає реалізуватися об'єднаними зусиллями країн, розташованих у басейні Індійського океану.

З огляду на обмежені розміри басейнів Азовського і Чорного морів типова, розроблена для Тихого та Індійського океанів, система попередження про виникнення цунамі навряд чи буде тут досить ефективною. Надійнішим захистом від цунамі на берегах України є проектування і будівництво житлових будинків і промислових споруд у сейсмостійкому варіанті, що враховує можливість їхнього короткочасного затоплення хвилею цунамі висотою в кілька метрів.

2.5.4. Землетрус 28 березня 2005 року поблизу о. Суматра

28 березня 2005 р. о 16 год 09 хв за Гринвічем поблизу Північної Суматри відбувся ще один землетрус з моментною магнітудою $M_w = 8,7$ [287]. Землетруси з такою магнітудою звичайно спричинюють розриви довжиною близько 500 км із зміщеннями, що досягають декількох метрів.

Епіцентр землетрусу 28 березня 2005 р. розташований приблизно за 200 км на південний схід від епіцентру землетрусу 26 грудня 2004 р. Положення вогнищ цих землетрусів показані на рис. 2.18.

Хоча землетрус 28 березня також відносять до дуже сильних, але виділена ним енергія у 10 разів менша, ніж під час події 26 грудня 2004 р. Незважаючи на неглибоке вогнище і розташування під морським дном, ця подія не викликала великого цунамі. І все-таки від нього також загинули люди. За даними [288] на о. Ніас загинуло як мінімум 1 тис. осіб, більше 300 – були поранені, зруйновано 300 будинків; на о. Сімеулуї загинуло 100 людей, була значна кількість поранених і багато будівель одержали ушкодження; у Кепулауан Баньяк загинуло 200 осіб; в області Меулабох на о. Суматра загинуло 3 людей і 40 одержали поранення. Цунамі висотою 3 м пошкодило порт і аеропорт на о. Сімеулуї. Цунамі висотою 2 м спостерігали на західному узбережжі о. Ніаса і 1 м – у Сингкіл і Меулабох на о. Суматра. Струшування інтенсивністю 6 балів спостерігали в Банда Ачех і 5 балів – у Медане. Як мінімум 10 осіб загинуло під час евакуації з узбережжя Шрі-Ланки. Струшування інтенсивністю 4 бали спостерігали вздовж західного узбережжя Малайзії та в Бангкоку, 3 бали – у Пукеті (Таїланд), Сінгапурі, у Малє на Мальдівах. Землетрус відчували на Андаманських островах, Нікобарі та в Шрі-Ланці. Максимальна висота хвилі цунамі досягала: 40 см на Панджанзі в Індонезії; 25 см у Коломбо, Шрі-Ланка; 40 см на Ханімаду; 18 см у Малє і 10 см у Гані на Мальдівах. На узбережжі Кепулауан Баньяк спостерігалось падіння рівня моря на 1 м, а на узбережжі о. Сімеулуї, навпаки, підвищення на 1 м. Сейші спостерігали на водоймах у Західній Бенгалії в Індії.

Останній землетрус з магнітудою, що перевищує 8,0, у цьому районі відбувся в 1861 р. Він викликав регіональне руйнівне цунамі. Ще один землетрус подібної величини відбувся трохи південніше в 1833 р.

Після землетрусу 28.03.05 спостерігали високу афтершокову активність. Протягом 14 год після головного поштовху були зареєстровані 23 поштовхи з магнітудами, що перевищують 5,0.

Параметри вогнища землетрусу 28 березня 2005 р., опубліковані в роботах [266, 288–289, 314], подано в табл. 2.6.

Хоча вогнища землетрусів 26 грудня 2004 р. і 28 березня 2005 р. розташовані поруч, вони приурочені до двох різних границь у моделі плитової тектоніки району о. Суматра. Землетрус 26 грудня відбувся на границі між Індійською плитою і Бірманською мікроплатою, а землетрус 28 березня – на границі між Австралійською плитою і субплатою Сунда. Він викликаний скиданням напружень, що накопичилися внаслідок зсуву Австралійської плити під субплату Сунда на північний схід зі швидкістю близько 5 см на рік.

**Параметри землетрусу 28 березня 2005 р.
поблизу Північної Суматри**

Час у вогнищі	05/03/28 16:09:36 (за Гринвічем)
Широта	2,074 °N
Довгота	97,013 °E
Глибина гіпоцентру	24,9 км
Магнітуда моментна M_w	8,7
Параметри механізму (Strike, Dip, Rake):	
напрямок проєкції розриву	329°
падіння площини розриву	7°
напрямок руху	109°
Сейсмічний момент M_0	1,43 x 10 ²² Нм
Тривалість процесу у вогнищі	129,5 с
Максимальна глибина вогнища	35 км
Максимальні переміщення у вогнищі	12 м

Косий підсув розділений на скид на стику плит, що включає ковзання, спрямоване перпендикулярно до жолоба, і скидозсув за декілька сотень кілометрів на північний схід від жолоба. У роботі [300] висловлено припущення, що землетрус 28 березня 2005 р., імовірно, був запущений змінами напружень, викликаних землетрусом 26 грудня 2004 р. Тектонічні процеси в Зондському жолобі дуже подібні у вогнищах обох землетрусів, як і орієнтація їхніх площин розривів.

У результаті аналізу телесеїсмічних записів землетрусу 28 березня 2005 р. поблизу о. Суматра, зареєстрованих у *P*-хвилях на 13 широкополосних цифрових сейсмічних станціях і в *S*-хвилях на 8 сейсмічних станціях мережі IRIS, була побудована модель процесів в його вогнищі [269]. На рис. 2.24 показано розподіл переміщень у вертикальному перерізі середовища через гіпоцентр землетрусу в напрямку, що відповідає азимуту 325° [269].

З моделі розподілу переміщень морського дна в зоні вогнища землетрусу, представленої на рис. 2.24, випливає, що максимальні вертикальні переміщення тут досягли 3 м, а горизонтальні – 4 м. Одночасно з рис. 2.25 видно, що найбільші переміщення у вогнищі (до 14 м) були на глибині більше 30 км.

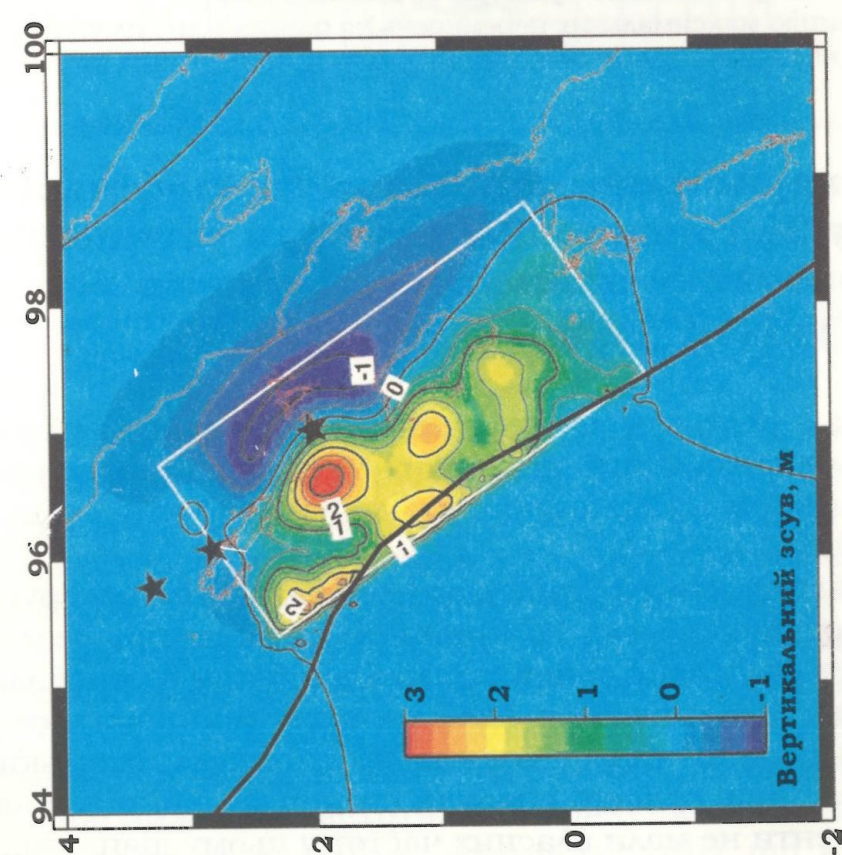
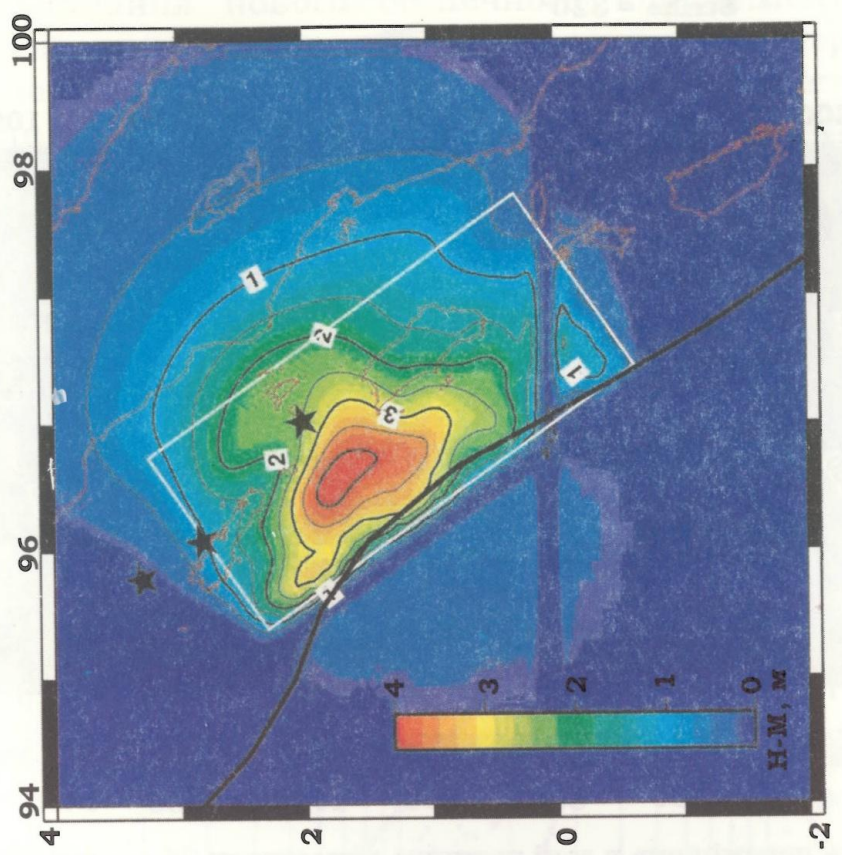


Рис. 2.24. Модель розподілу переміщень морського дна в зоні вогнища землетрусу 28.03.05 поблизу о. Суматра за даними [269].

Ліворуч зображено вертикальні переміщення, м; праворуч – горизонтальні.
Зірочкою показано положення епіцентру землетрусу

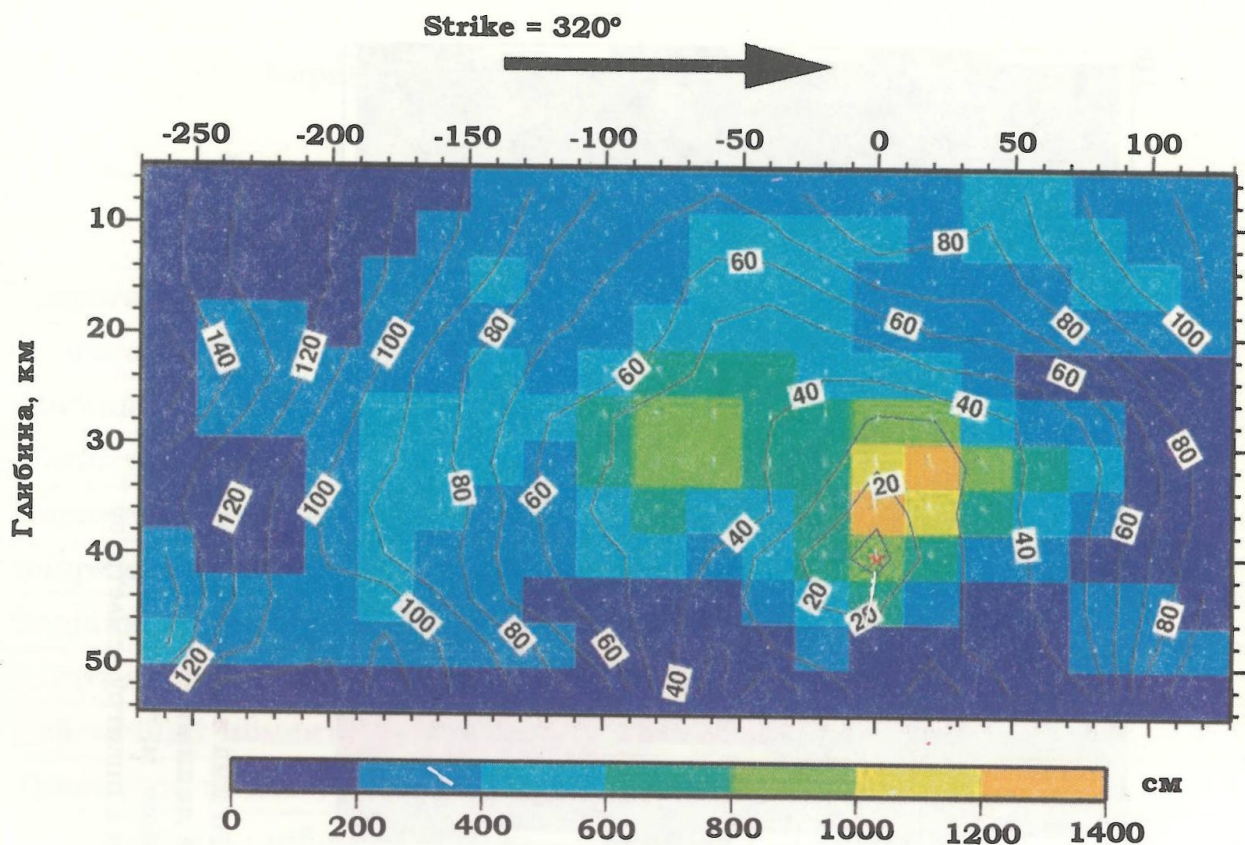


Рис. 2.25. Модель переміщень у зоні вогнища землетрусу 26 грудня 2004 р. поблизу Північної Суматри за даними [269].

Показано проекцію максимальних переміщень на вертикальну площину з азимутом 325° , що відповідає довгій бічній грані білого прямокутника на рис. 2.24.

2.5.5. Використання записів катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 року для уточнення резонансних властивостей ґрунтів у районі Чорнобильської АЕС

Записи слабких і середніх за величиною віддалених землетрусів використовують для визначення відносних частотних характеристик ґрунтів на промислових майданчиках як діючих об'єктів, так і тих, що проектують [162].

Під час проектування нового безпечного конфайменту для зруйнованого внаслідок аварії енергоблоку № 4 виникло питання про реальні резонансні властивості ґрунтової товщі під майданчиком Чорнобильської АЕС. Раніше, під час проектування АЕС, питання про рівень сейсмічних впливів у низькочастотному діапазоні не виникало, оскільки внаслідок невеликих розмірів основні споруди станції та їхні відповідальні конструктивні елементи не мали власних частот у цьому діапазоні.

Проектування нового безпечного конфайменту над об'єктом "Укриття", передбачає створення величезного переkritтя з власними частотами, приблизно зміщеними в область 0,3–0,5 Гц. Із графіка (рис. 2.26) спектра реакції одиничних осциляторів з власним загасанням 5 % від критичного, яким у 1997 р. рекомендували моделювати сейсмічні впливи при МРЗ на майданчику АЕС, видно, що ця область відповідає дуже низьким розрахунковим сейсмічним впливам.

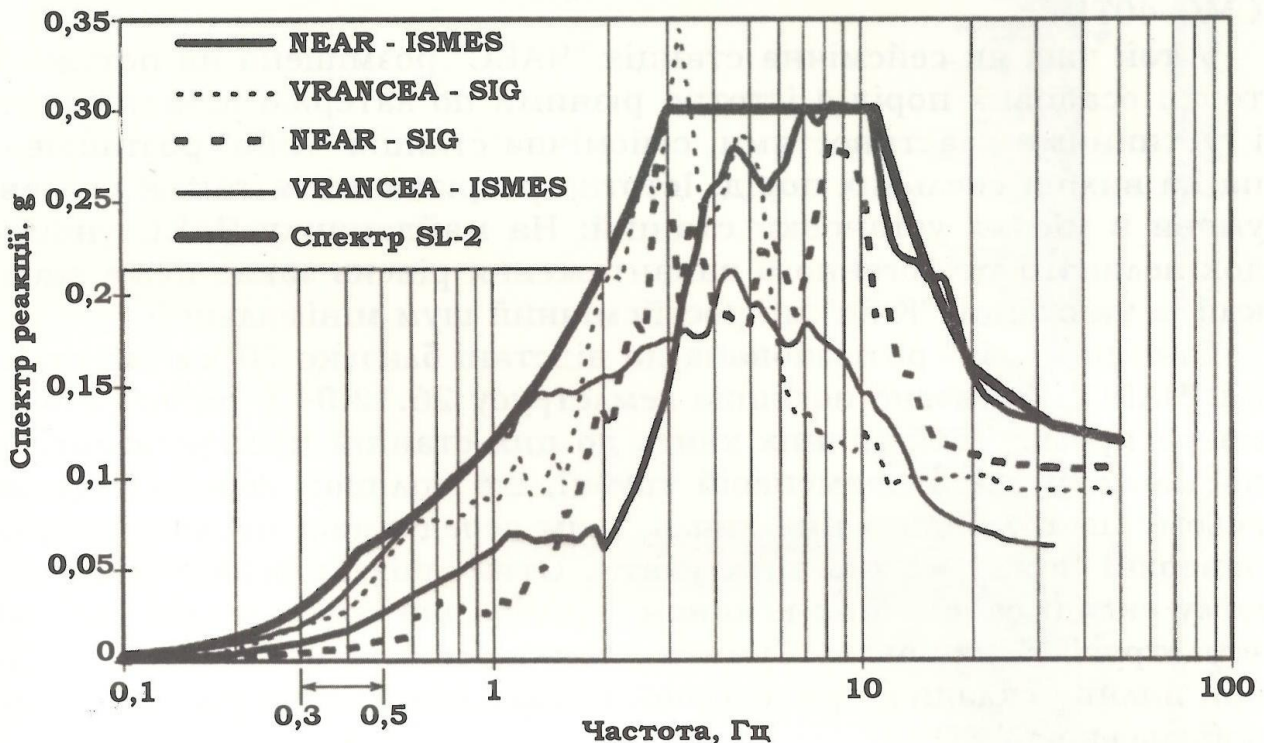


Рис. 2.26. Спектр реакції, що моделює максимальну горизонтальну компоненту сейсмічних впливів на майданчику Чорнобильської АЕС при МРЗ за даними ІГФ НАН України та ISMES на 1997 р.

Відсутність записів сильних (близьких до максимально можливого) підкорових землетрусів зони Вранча в Румунії, отриманих безпосередньо на майданчику АЕС, і неможливість скористатися даними світового досвіду внаслідок нетипової ситуації, коли небезпечні низькочастотні сейсмічні впливи можуть виникнути як за рахунок віддалених на відстані до 600 км сильних підкорових землетрусів із зони Вранча, так і за рахунок місцевих слабких, але мілкофокусних вогнищ, не дозволили однозначно відповісти на запитання, чи може виникнути значне посилення сейсмічних коливань на низьких частотах? Розрахункові методи також не дозволяли одержати надійну відповідь, тому що не було достатньої

кількості достовірних матеріалів геолого-геофізичного дослідження для створення адекватної латерально-неоднорідної тривимірної моделі середовища в районі ЧАЕС.

Питання вдалося вирішити за допомогою аналізу записів землетрусу 26 грудня 2004 р. в районі о. Суматра, отриманих широкосмуговими сейсмічними станціями, установленими безпосередньо на майданчику Чорнобильської АЕС і на сейсмічній станції "Київ", що входить до світової мережі станцій IRIS. Ці станції були обладнані ідентичною сейсмологічною апаратурою фірми GURALP CMG-40TD.

У той час, як сейсмічна станція "ЧАЕС" розміщена на потужній товщі осадових порід з істотно різними по латералі швидкісними і густинними властивостями, сейсмічна станція "Київ" розташована на виході скельних порід. Істотно розрізняються також шумові умови в місцях установки станцій. На майданчику ЧАЕС унаслідок великого техногенного навантаження рівень завад дуже високий, а на станції "Київ" мікросейсмічний шум мінімальний.

Станція "Київ" розташована на відстані близько 70 км від станції "ЧАЕС". Відносно вогнища землетрусу 26.12.04 у районі о. Суматра промені сейсмічних хвиль до цих станцій поширювалися в настільки вузькій променевій трубці, що впливом середовища на всьому шляху поширення хвиль, крім середовища поблизу вільної поверхні Землі, можна знехтувати. Отже, розходження в частотному складі сейсмічних коливань ґрунту, що спостерігали під час землетрусів з району о. Суматра, можна цілком віднести за рахунок впливу складної тривимірної будови осадового чохла під Чорнобильською АЕС.

На рис. 2.27 наведено амплітудні спектри Фур'є прискорення коливань ґрунту, що спостерігали на станціях "ЧАЕС" і "Київ". Видно, що осадовий шар під АЕС може істотно підсилювати амплітуди прискорень сейсмічних коливань під час землетрусів у діапазонах частот: 0,35–0,45 і 0,9–1,2 Гц. При цьому істотного збільшення коливань на вертикальній складовій у першому діапазоні не спостерігали. Отже, основне посилення коливань виникає за рахунок поперечних хвиль і хвиль Лява.

Урахування наведених вище результатів разом із даними про параметри максимальних землетрусів у небезпечних для майданчика АЕС сейсмоактивних зонах дозволило розробити новий (редакція 2005 р.) графік спектра реакції, що моделює максимальні горизонтальні компоненти сейсмічних впливів на майданчику ЧАЕС при МРЗ за даними ІГФ НАН України і фірми WESTEL (рис. 2.28).

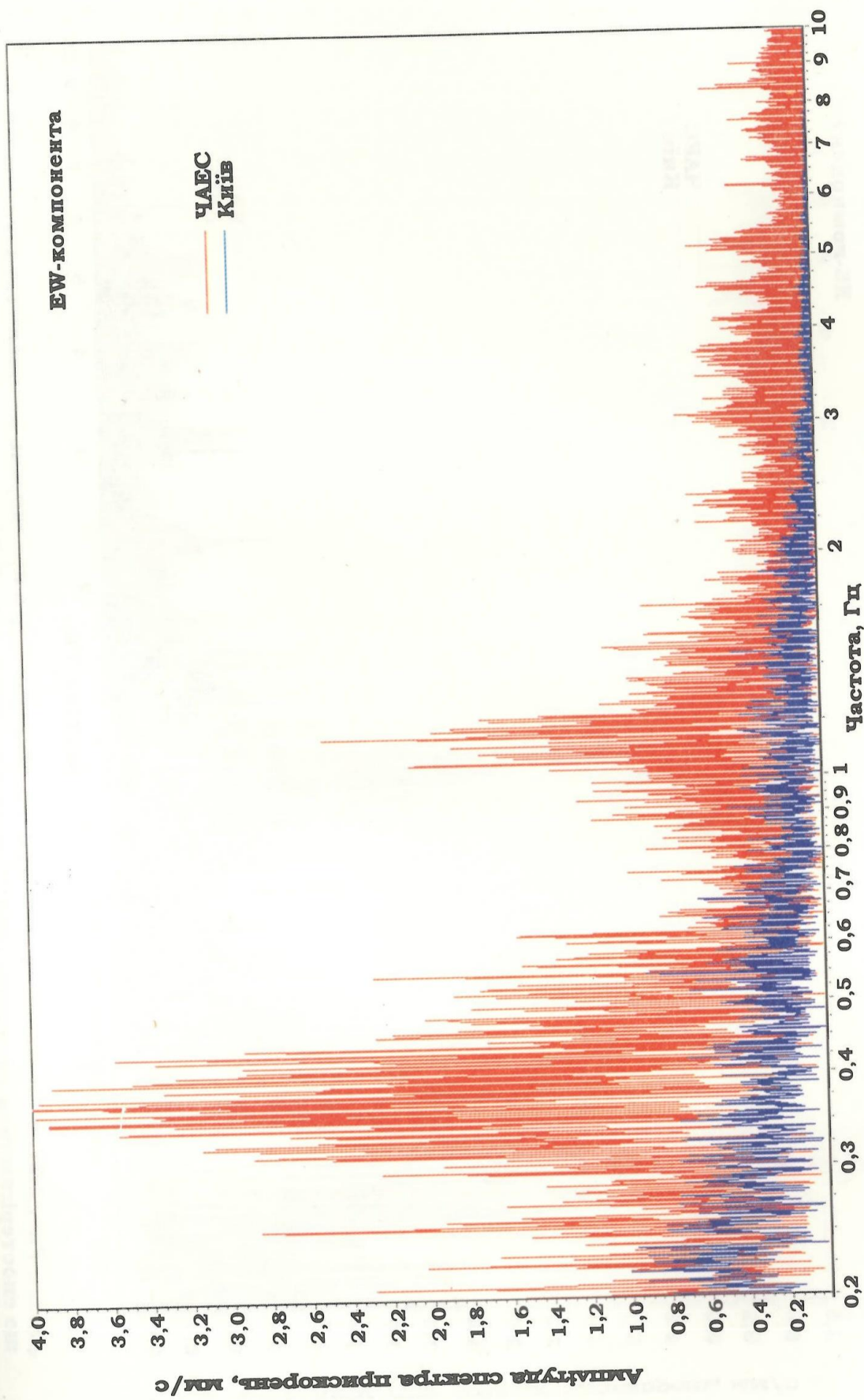


Рис. 2.27, а. Порівняння амплітудних спектрів фур'є прискорень коливань ґрунту, що спостерігаються на станції "ЧАЕС" (червона лінія) і станції "Київ" (синя лінія): EW-компонента

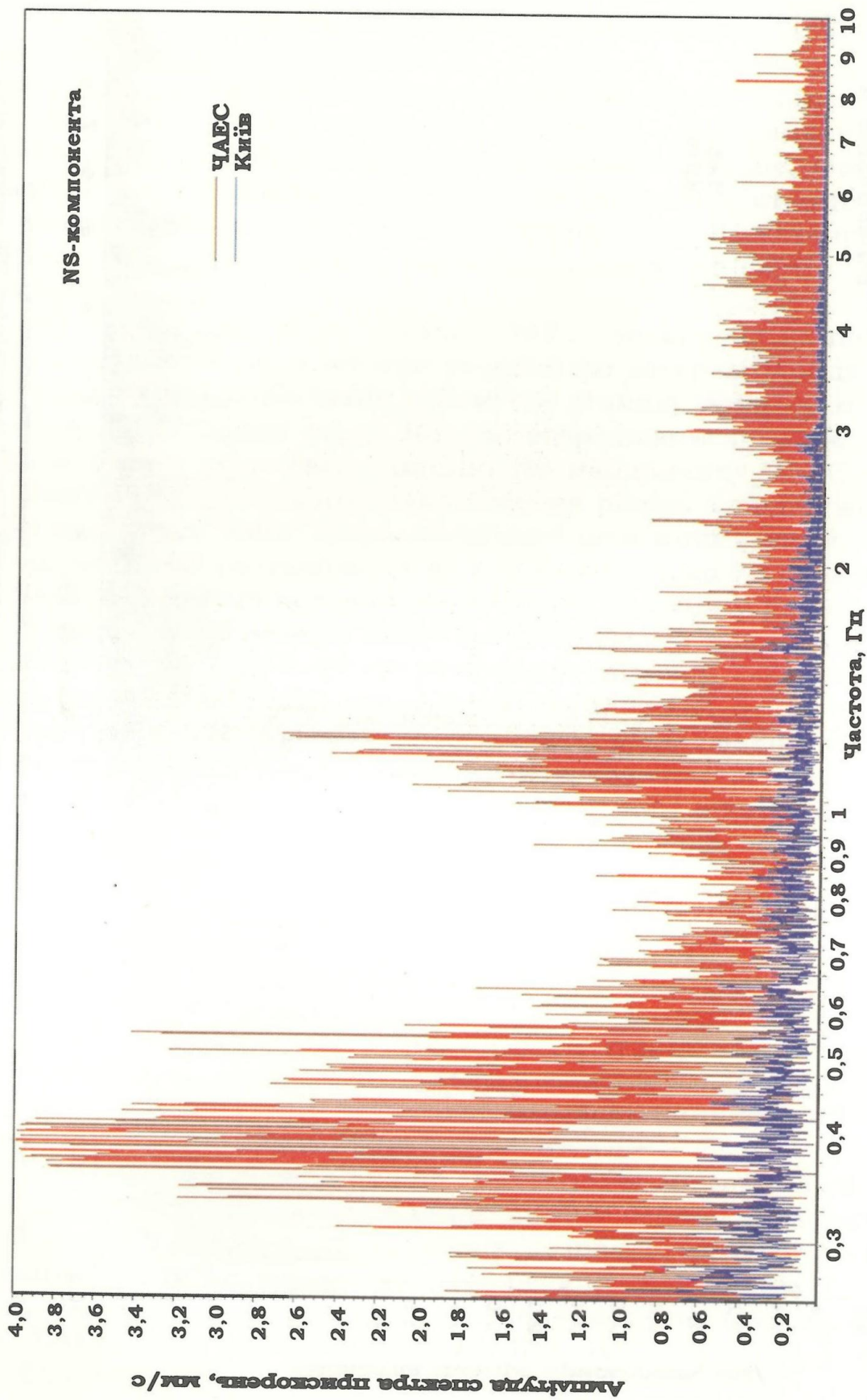


Рис. 2.27, б. Порівняння амплітудних спектрів фур'є прискорень коливань ґрунту, що спостерігаються на станції "ЧАЕС" (червона лінія) і станції "Київ" (синя лінія): NS-компонента

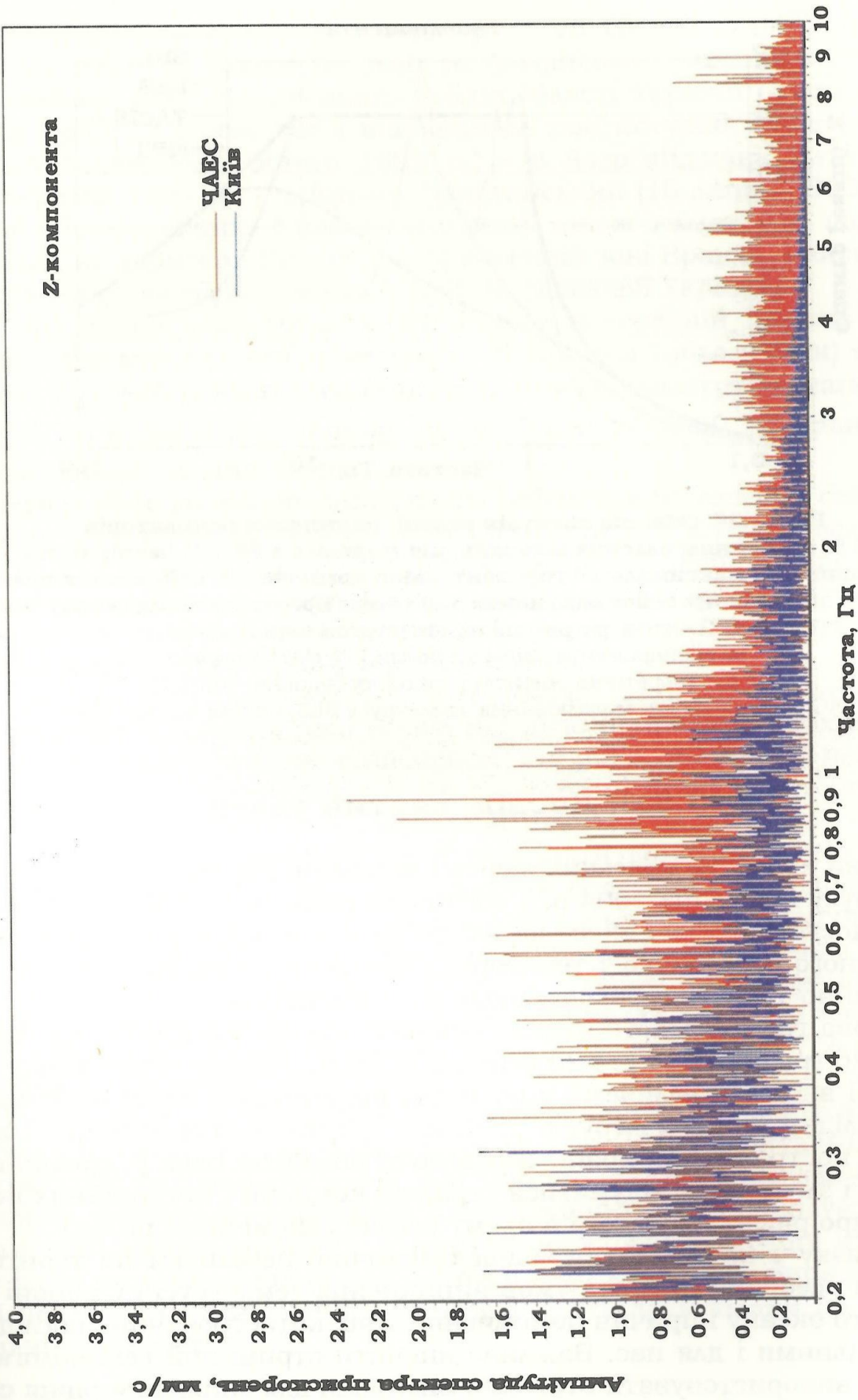


Рис. 2.27, с. Порівняння амплітудних спектрів фур'є прискореньь кодівань ґрунту, що спостерігаються на станції "ЧАЕС" (червона лінія) і станції "Київ" (синя лінія): Z-компонента

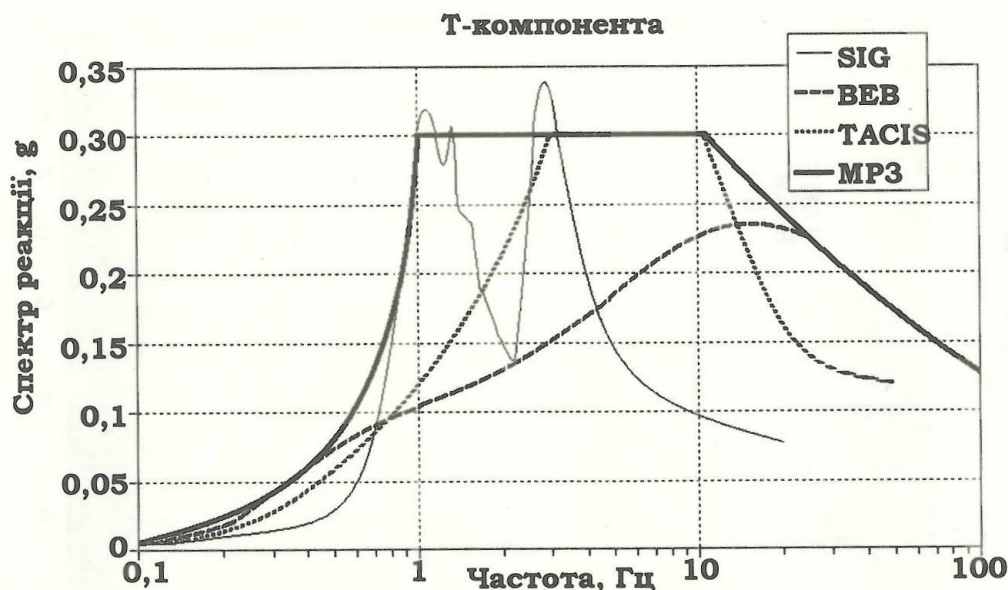


Рис. 2.28. Обвідна спектрів реакції одиничних осциляторів з 5 % значенням власних загасань, що моделює з 84,1 % імовірністю неперевищення максимальної горизонтальної компоненти сейсмічних впливів при МРЗ з локальних сейсмоактивних зон і зони Вранча на майданчику ЧАЕС.

SIG – спектри реакції на землетруси зони Вранча за експериментальними даними ІГФ НАН України;
 BEB – теоретичні спектри реакції, побудовані ВЕСТЕЛ;
 TACIS – результати моделювання землетрусу SL2, подані на рис. 2.26.

2.5.6. Досвід, вартий уваги

Велика кількість людських жертв і величезні матеріальні втрати від землетрусу 26 грудня 2004 р. з вогнищем поблизу о. Суматра свідчать про недостатню увагу місцевої влади до визначення рівня реального сейсмічного ризику своїх територій і виробленню на їхній основі організаційно-технічних заходів щодо його зниження.

Світова громадськість надала країнам, що постраждали від землетрусів 26 грудня 2004 р. і 28 березня 2005 р., істотну гуманітарну допомогу і виділила величезні кошти для відновлення їхньої економіки. Але наслідки цих землетрусів ще довго будуть позначатися на благополуччі постраждалих країн, стримуючи розвиток їхніх рекреаційних галузей і змушуючи задуматися страхові компанії і потенційних інвесторів про рівень існуючого в цьому регіоні сейсмічного ризику.

У зв'язку з наявністю реальної сейсмічної небезпеки на території України всебічний розгляд умов виникнення землетрусів у районі Індійського океану і причин виникнення їхніх катастрофічних наслідків є актуальними і для нас. Важливо вивчити отриманий сейсмологами досвід і використовувати отримані висновки для зниження рівня сейсмічного ризику на території своєї країни.

Вогнище катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 р. поблизу о. Суматра знаходиться на тому ж Альпійсько-Гімалайському поясі, що охоплює південні, південно-західні області України і території сусідніх країн. У цьому поясі відбувалися такі потужні землетруси, як Шемахинський (13 лютого 1902 р.) – в Азербайджані, Ялтинський (11 вересня 1927 р.) – у Криму, Чхалтинський (16 липня 1963 р.) – у Грузії і багато інших. З поясом пов'язані також землетруси, що відбуваються на території Румунії в сейсмогенній зоні Вранча, найсильніші з яких відчуваються практично на всій території України.

Найсильніші землетруси відбуваються в середній частині поясу. Прикладом може служити землетрус 20.06.90 в Табхазі (Іран) з магнітудою $M_w = 7,4$, коли загинуло 35 тис. осіб; землетрус з магнітудою $M_w = 7,5$ в Ізміті (Туреччина), що відбувся 17.08.99 і забрав життя 17 тис. людей, та інші події.

Неуважність до питань дослідження сейсмічної небезпеки і сейсмічного захисту на території України може призвести до трагічних наслідків.

З огляду на повільність геологічних процесів у першому наближенні сейсмічну небезпеку в межах декількох десятків років можуть розглядати як постійну для певної території величину, що залежить від геотектонічних та інженерно-геологічних умов.

З іншого боку, відомо, що геотектонічні та інженерно-геологічні умови можуть змінюватися в часі під дією природних і техногенних чинників. Звідси випливає висновок, що рівні сейсмічної небезпеки мають час від часу перевизначати на підставі даних моніторингу довкілля, що контролює стабільність (мінливість) її параметрів.

Важливо на державному рівні узаконити концепцію сейсмічного захисту, відповідно до якої оптимальним способом уникнення катастрофічних наслідків землетрусів є вивчення реальної сейсмічної небезпеки і спорудження на підставі цих знань житла і важливих споруд, здатних витримати майбутні сейсмічні впливи. Уроки катастрофічних землетрусів поблизу о. Суматра й останнього сильного землетрусу біля узбережжя Японії 16 серпня 2005 р. з магнітудою 7,2 підтверджують правильність такої концепції.

Захищатися від майбутніх землетрусів повинні власники (розпорядники) житла, промислових об'єктів і споруд, виконуючи вимоги Державних будівельних норм. Але основну інформацію для них про реальну сейсмічну небезпеку забудовуваних або експлуатованих територій може і повинна надавати держава. З досвіду випливає ще один важливий висновок: надійні дані для визначення сейсмічної небезпеки і сейсмічного ризику можуть дати тільки інструментальні спостереження.

РОЗДІЛ 3

УБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В АСПЕКТІ ЇХНЬОЇ СЕЙСМІЧНОЇ ВРАЗЛИВОСТІ

Об'єкти називають потенційно небезпечними тому, що за нормального режиму їхнього функціонування йдеться тільки про потенційну можливість спричинення шкоди. Реально ж техногенна небезпека, тобто чинники антропогенного походження, що згубно впливають на життєдіяльність людини і довкілля, проявляються під час пошкодження або аварії на цих об'єктах.

3.1. КОНТРОЛЬ ЗА СТАНОМ ЛІТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Геологічні процеси як природні, так і техногенні безперервно діють на поверхні землі та в приповерхневому шарі, проявляючись у різних формах руйнування гірських порід і рельєфу місцевості, деформаціях споруд та інженерних комунікацій. Завдання полягає в тому, щоб на підставі інформації про виникнення, розвиток і дію геологічних процесів та явищ перейти до управління ними з метою охорони життя населення, забезпечення надійності експлуатації об'єктів, раціонального використання територій, збереження будівель і споруд.

Функціонування потенційно небезпечних об'єктів безпосередньо впливає на стан літотехнічної системи (ЛТС) [102] – приповерхневої зони (верхня частина геологічного розрізу) в межах області взаємодії з потенційно небезпечним об'єктом, де відбуваються просторово-часові зміни на різних фазах існування об'єкта. Здебільшого це проявляється у вигляді постійного теплового впливу, часткового підтоплення промислових майданчиків, хімічного забруднення ґрунтів і підземних вод. За певних інженерно-геологічних умов це може викликати активізацію

суфозійно-карстових процесів, що, у свою чергу, призводить до зниження міцності та деформаційних властивостей ґрунтів [62, 219]. Вони можуть посилюватися унаслідок роботи водознижувального обладнання, запровадженого на деяких промислових об'єктах. За відсутності системи водозниження підйом рівня ґрунтової води (РГВ) і підтоплення майданчиків об'єктів, розміщених у сейсмонебезпечних районах, сприяє зниженню сейсмостійкості ґрунтової основи.

Виникнення і розвиток небезпечних геологічних процесів на території України визначаються геологічною будовою і гідрогеологічним режимом територій, геоморфологічними умовами, фізико-механічними властивостями ґрунтів та їхньою зміною внаслідок обводнення або осушення та перерозподілу напружень у межах ґрунтових масивів, а також від характеру зовнішніх і внутрішніх навантажень і впливів, їхньої інтенсивності, величини, періодичності прояву тощо [106]. Наприклад, відповідно до карстологічного районування території України Рівненська АЕС розташована в межах Центрального району Поліської карстової області. Для усунення негативного впливу суфозійно-карстових процесів на споруди РАЕС проведено комплекс протикарстових заходів. Однак специфіка інженерно-геологічних умов промислового майданчика та особливі вимоги до забезпечення стійкості будівель і споруд АЕС зумовляють потребу стаціонарних спостережень за розвитком негативних процесів, у першу чергу за суфозійно-карстовими. Це пов'язано зі змінами в режимі підземних вод, зокрема з підвищенням їхнього рівня, що неодноразово зафіксовано під час експлуатації АЕС. На деяких ділянках і сьогодні відбувається підвищення РГВ через інфільтрацію виробничої води.

Доказом складності та неоднозначності процесів, що відбуваються в ЛТС майданчиків розміщення АЕС, є той факт, що обводнення майданчика справедливо вважають негативним, зокрема потенційно небезпечним інженерно-геологічним процесом, який викликає зважений ефект, що особливо впливає на заглиблені конструкції споруди (зокрема реакторне відділення, машинний зал і блочні насосні станції) [20, 57, 62–63].

На АЕС України здійснюють перший етап робіт щодо підвищення сейсмостійкості – додаткові дослідження сейсмічності майданчиків АЕС, що перебувають в експлуатації. Попередні оцінки, отримані за допомогою сучасних комп'ютерних програм, показали, що за умови реалістичного підходу до аналізування сейсмостійкості, урахування наявних консервативних запасів, демфувальних властивостей ґрунтів, реальних коефіцієнтів загасання, важливі для безпеки будівельні конструкції можуть витримати сейсмічні навантаження, характерні для промислових майданчиків АЕС України [38, 45–46].

Слід зазначити, що потреба у впровадженні нових заходів щодо геоecологічної безпеки АЕС України та інших потенційно небезпечних об'єктів пов'язана зі:

➤ змінами стану ЛТС, що сталися за період після проектування об'єкта, та виявленням тенденцій її розвитку, і які потрібно враховувати при можливій майбутній добудові, експлуатації, виведенні з експлуатації, консервації та можливості подальшої розконсервації об'єкта;

➤ імовірною загрозою при досягненні характеристиками ЛТС критичних значень;

➤ змінами вимог до складу та обсягів вхідних даних про стан ЛТС, закладених у проект об'єкта.

Відповідно, вирішення питання полягає в адекватному інженерно-геологічному інформаційному забезпеченні проекту об'єкта, що має включати детальний робочий план додаткового дослідження та організації моніторингу відповідної ЛТС, а також розробку програми якості запланованих робіт, оскільки головним пріоритетом є забезпечення потенційно небезпечного об'єкта [49].

Землетруси впливають на інженерні споруди та мережі безпосередньо через сейсмодислокації в епіцентральных зонах (деформації, прогинання, розриви, зміщення порід і ґрунтів) і знакозмінні віброхвильові навантаження великої амплітуди та викликані ними напруження, деформації й вібраційні прискорення в різних елементах споруд і конструкцій [51, 199]. Динамічні параметри (частота власних коливань і декремент загасання) містять об'єктивну інформацію про фізичні властивості споруд; очікуваним є й те, що на них накладається інформація про стан об'єкта і в результаті його старіння, вплив на нього вібрацій від промислових установок, транспортних засобів і особливо після землетрусу. Локальна втрата жорсткості викликає зниження частот власних коливань споруд і конструкцій, що фіксують експериментально, а спостереження за формою коливань дозволяють визначити місцезнаходження дефекту.

Не менш небезпечними є непрямі сейсмічні ефекти: спровоковані землетрусами зсуви, обвали, карстові явища, розущільнення і розповзання тіл гребель, дамб і насипів тощо. Особливо вразливими для прямих і непрямих сейсмічних і сейсмотектонічних впливів є транспортно-комунікаційні інженерні мережі – шляхи, трубопроводи, лінії електропередач і наземного зв'язку, що в силу своєї природи і великої займаної території не можуть бути розміщені тільки в окремих сейсмобезпечних місцях.

Проблема розрахунку надійності експлуатації потенційно небезпечних об'єктів є надзвичайно важливою у зв'язку з постійним розши-

ренням технологічного втручання людини в природний статистично збалансований стан складних екосистем. Ще недавно моніторинг довкілля регламентувався у вигляді окремих систем контролю природних і природно-техногенних процесів у різних середовищах і сферах [127, 171, 174–175, 199, 214, 260, 302]. Метою моніторингу АТС є отримання надійних даних про стан системи "потенційно небезпечний об'єкт – область взаємодії з літосферою".

Чорнобильська АЕС розміщена на східній окраїні Коростенського па-леокуполу (на межі двох регіональних структур СЄП – Українського щита та Дніпровсько-Донецького авлакогену) [59, 151–154, 217, 254].

Ілюстрацією відносної стабільності глибинної будови регіону може бути сейсмічний розріз за профілем глибинного сейсмічного зондування Чоповичі – Озаричі (рис. 3.1), за яким земна кора в межах 30-кілометрової зони ЧАЕС майже монотонна, потужністю біля 40 км. Базальтовий шар товщиною більше 25 км, гранітний – 15–17 км.

Значних неоднорідностей (ділянок і зон аномальної густини) не зафіксовано. Кристалічні породи фундаменту платформи залягають на глибині 300–400 м, по системі розломів вони заглиблюються у північно-східному напрямку під Дніпровсько-Донецький авлакоген і під малопотужні мезо-кайнозойські відклади на південний захід у межах Українського щита.

Різке занурення поверхні кристалічного фундаменту, збільшення потужності і зміна нахилу поверхні крейдяних, юрських, тріасових і пермських відкладів побічно вказують на наявність великого розлому вздовж заплави р. Прип'ять.

Аналіз матеріалів стаціонарних спостережень за РГВ дозволяє констатувати, що введення в експлуатацію гідротехнічних споруд ЧАЕС призвело до суттєвого техногенного впливу на режим ґрунтових вод. Створення ставка-охолоджувача з РГВ 111 м викликало зміну положення РГВ на промисловому майданчику через перерізання потоку ґрунтових вод. Глибина залягання РГВ на промисловому майданчику ЧАЕС залежить від рівня води в ставку-охолоджувачі, а також від впливу техногенних чинників – інфільтрації виробничої води та роботи дренажних споруд. У післяаварійний період РГВ підвищився. Так, рівні 1992 р. на 2,5–3,0 м вищі, ніж у 1982 р. (відмітки 109,5–110,0 та 107–108 м відповідно) за практично незначних коливань відміток урізу води у ставку-охолоджувачі. Підвищення рівня пов'язано з перебоями в роботі дренажу промислового майданчика, що може стати причиною загрози підвищення РГВ у майбутньому.

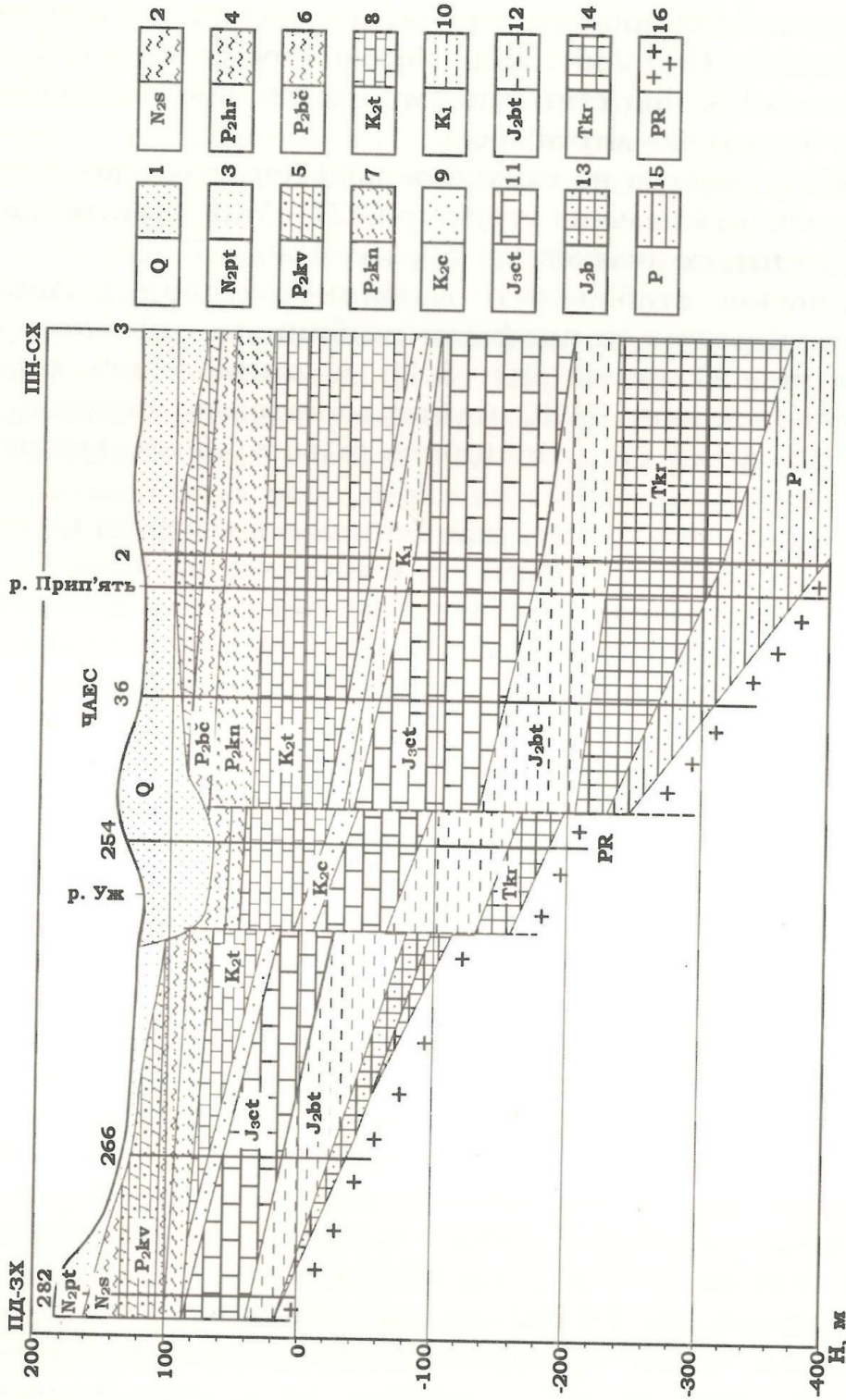


Рис. 3.1. Сейсмичний розріз за профілем ГСЗ Чоловичі – Озаричі в районі розміщення ЧАЭС (за даними ІГФ НАН України):

1 – піски, моренні суглинки, глини; 2 – товща строкагих глин; 3 – піски, пісковики, глини каоліністі; 4 – глини піскуваті, піски глауконітові; 5 – мергель, алевроліт, піски глауконітові; 6 – піски глауконітові, глинисті пісковики; 7 – піски, пісковики, алевроліт, глини вуллісті; 8 – крейда, мергель; 9 – піски глауконітові, кремені, пісковики, рідше мергелі, вапняки; 10 – алевроліт, глини, пісковики глинисті; 11 – вапняки, мергелі, вапняковисті алевроліт; 12 – алевроліт, глини, пісковики, піски; 13 – пісковики, глинисті піски; 14 – піски, гравеліт, конгломерати, строкатоколірні глини; 15 – алевроліт, піски, пісковики; 16 – кристалічні породи фундаменту

У геологічній будові верхньої частини розрізу промислового майданчика ЧАЕС виділено потужну товщу піщано-глинистих порід неогенового та четвертинного віку з практично тотожними фізико-механічними властивостями. Інженерно-геологічним районуванням території за чинником "рівень ґрунтових вод", що впливає на сейсмічні властивості ґрунтів, виділені три ділянки: А – з РГВ менше 5 м, Б та В – більше 5 м. У межах ділянки Б РГВ підтримують штучно за допомогою дренажу. Кількісна оцінка збільшення сейсмічної інтенсивності для ґрунтових умов майданчика АЕС визначена комплексом методів: інженерно-геологічних аналогій, сейсмічних жорсткостей та реєстрації мікросейсм. Установлено, що збільшення сейсмічної інтенсивності для всіх виділених інженерно-геологічних ділянок становить 0 балів відносно початкової сейсмічності. Уся територія майданчика ЧАЕС віднесена до однієї зони бальності, що становить для ПЗ = 5 балів, для МРЗ = 6 балів [59, 151–154].

Рівненська і Хмельницька АЕС розташовані в південно-західній частині СЄП, в основному в межах Подільської плити західної частини Українського щита і частково Прип'ятського прогину [209–210].

За геолого-геофізичними даними структуру фундаменту району цих АЕС характеризують чітко вираженою блоковою будовою (рис. 3.2). Геологічний розріз складений потужною товщею (до 1000 м) осадових, метаморфізованих і вулканогенних порід, що залягають на кристалічному фундаменті. Товща порід платформного чохла складена з верхньопротерозойських, мезозойських і кайнозойських відкладів.

Четвертинні відклади поширені повсюдно, вони є різними за генезисом, віком, літологічним складом і мають потужність від 5 до 25–30 м.

Практичний інтерес щодо оцінки категорії ґрунтів за сейсмічними властивостями мають ґрунтові води – водоносні горизонти, приурочені до верхньочетвертинних відкладів різного віку та генезису. У межах ближньої зони глибина залягання РГВ різко змінюється від 1 до 32 м (абсолютні відмітки 182–161 м); максимальні глибини РГВ – на кінцево-моренних грядках з високими відмітками рельєфу. На території ближньої зони РАЕС на площі до 50 км² закартовано близько 150 поверхневих форм: провальних та осадових карстових воронок, плоских карстових западин тощо.

Під впливом техногенного навантаження активізувалися: процес карстоутворення, "техногенний карст" та різні за інтенсивністю формування. Збільшенню інтенсивності процесу сприяла зміна гідрогеологічного режиму на майданчику, переважно підвищення РГВ. Підси-

лення живлення верхньокрейдяного водоносного горизонту відбулося через "вікна" в роздільному шарі та частково через роздільний шар безпосередньо. Наслідком цього стали локальні зміни напрямку та швидкості циркуляції води вздовж тріщин у крейдяному шарі, тобто зміна гідродинамічних умов.

Інженерно-геологічні умови в межах промислового майданчика відрізняються геолого-гідрологічними умовами та властивостями ґрунтів на різних ділянках. Верхня частина геологічного розрізу складена середньочетвертинними флювіогляціальними та кінцево-моренними відкладами.

На промисловому майданчику виділено ділянки II і III категорій ґрунтів за сейсмічними властивостями. За результатами дослідження КІВД "Енергопроект" та Інституту геофізики НАН України можна зробити висновок, що за існуючих інженерно-геологічних і гідрологічних умов і сейсмічного впливу до 0,1 g, залишкові зміщення ґрунту у вигляді зниження поверхні, осідання або обвалення ґрунту не повинні відбуватися [209–210, 219].

Головне завдання моніторингу АЕС – контроль параметрів і характеристик, що мають граничні умови відповідно до вимог, прийнятих для етапів життєвого циклу потенційно небезпечного об'єкта (напр., перевищення РГВ на 4–5 м у сейсмонебезпечному районі може викликати підвищення сили сейсмічного впливу на один бал).

Такий моніторинг має включати:

- сейсмічний моніторинг майданчика та території розміщення АЕС (частково реалізований в радіусі 25 км для Рівненської АЕС і Хмельницької АЕС);
- моніторинг режиму підземної води (перші від поверхні водоносні горизонти) з метою забезпечення стабільності гідрологічних умов, що зумовляють стійкість геологічного середовища;
- інженерно-геологічний моніторинг для отримання інформації щодо екзогенних геологічних процесів та явищ з метою контролю геотехнічних параметрів ґрунтів в основі споруд і конструкцій АЕС;
- контроль технічного стану споруд, будівель, комунікацій;
- контроль радіаційного стану підземної води на промислових майданчиках АЕС;
- контроль радіаційного стану води водозаборів господарського та питного водопостачання АЕС і навколишніх населених пунктів;
- моніторинг інших забруднювальних речовин у ґрунті та підземних водах.

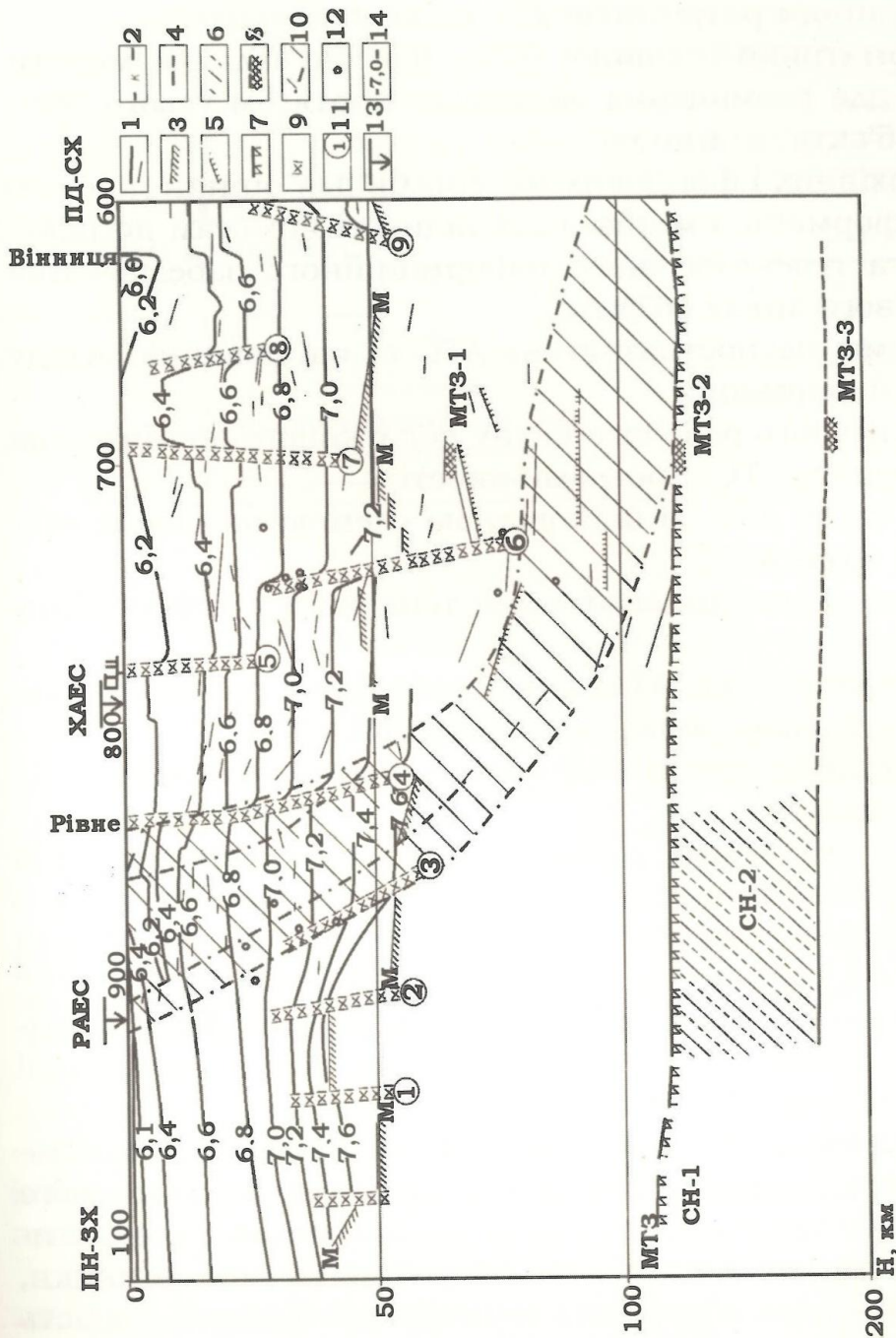


Рис. 3.2. Глибинна будова району розміщення Рівненської і Хмельницької АЕС
(за даними ІГФ НАН України):

- 1 – сейсмічні границі в земній корі; 2 – поверхня консолидованої кори (дорифейський фундамент); 3 – поверхня Мохоровичича; 4 – сейсмічні границі у верхній мантії; 5 – відбиваючі майданчики, розраховані за наступними вступами "дугів" хвиль; 6 – сейсмічні неоднорідності; 7 – поверхня астеносфери за сейсмічними даними; 8 – поверхня астеносфери за даними магнітотелуричного зондування (МТЗ); 9 – глибинні розломи за даними глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ); 10 – нахилені розломи зони; 11 – номер розломної зони; 12 – точки дифракції; 13 – АЕС; 14 – ізолінії швидкостей, км/с.

Схема моніторингу за станом ЛТС майданчика потенційно небезпечного об'єкта, розроблена на основі результатів [20, 57], для достовірного аналізу основних параметрів об'єкта та прийняття відповідних рішень щодо екологічної та економічної доцільності його функціонування з використанням результатів [63] може включати:

- порівняння нормативно-технічної бази, що існувала на момент вибору майданчика для розміщення об'єкта та протягом усього життєвого циклу цього об'єкта, з чинною;
- аналізування архівних і фондкових матеріалів для оцінки повноти та якості наявної інформації з метою відповідності вимогам до інженерно-геологічного та геоекологічного інформаційного забезпечення певного етапу життєвого циклу об'єкта;
- розроблення схеми діагностики стану ЛТС та оцінювання складу й обсягів додаткової інформації;
- розроблення детального робочого плану додаткового дослідження та організації моніторингу ЛТС, програми якості;
- діагностування стану ЛТС за відповідною схемою на різних етапах життєвого циклу об'єкта;
- визначення причин і викликаних ними тенденцій у змінах стану ЛТС за минулий період;
- визначення характеристик ЛТС, що мають бути проконтрольовані, їхніх критичних порогів, рівнів, концентрацій тощо;
- визначення принципів організації моніторингу в конкретних інженерно-геологічних умовах;
- розроблення або уточнення рекомендацій щодо раціонального використання та охорони літосфери і безпечної експлуатації об'єкта.

Указана вище модель знайшла відображення на блок-схемі (рис. 3.3), побудованій на основі процесного підходу [247].

До АЕС як до потенційно небезпечних об'єктів енергетичного комплексу приділяють особливу увагу як вітчизняні, так і закордонні вчені [1, 28–29, 60, 96, 139].

Надійне функціонування АЕС безпосередньо залежить від стабільності геологічного середовища території розміщення промислового майданчика АЕС. Важливе значення мають фізико-механічні властивості ґрунтів, РГВ, наявність тектонічних порушень та інші чинники, серед яких не останню роль відіграють конструкції будівель і якість будівельних матеріалів, використаних під час їхнього зведення.

Проведення моніторингу ЛТС майданчиків АЕС дозволяє своєчасно аналізувати всі аспекти змін природних і природно-техногенних умов. Схему реалізації моніторингу ЛТС зображено на рис. 3.4.

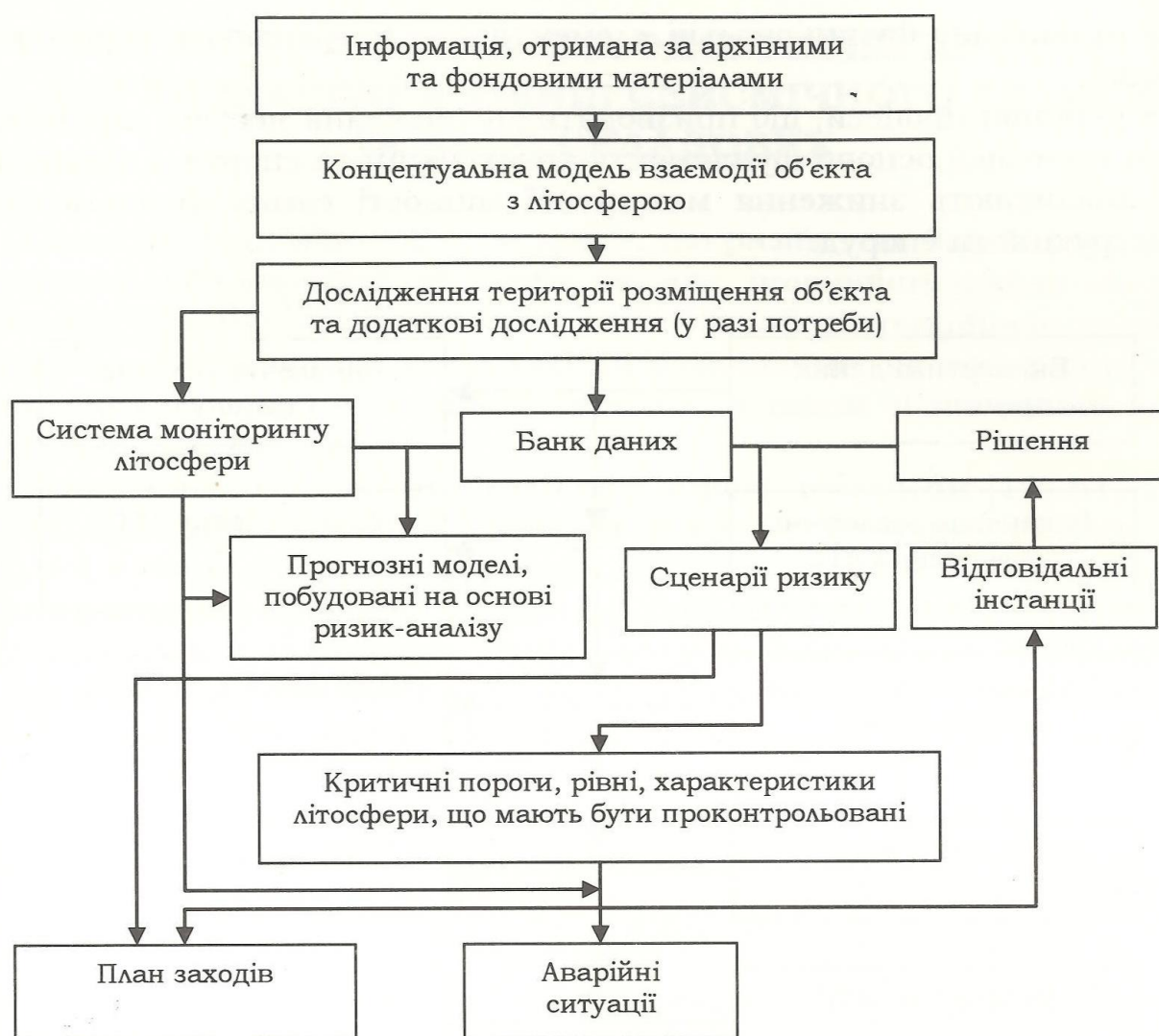


Рис. 3.3. Блок-схема послідовності виконання операцій та проходження інформації для розробки інженерно-геологічних та геоекологічних рекомендацій, обґрунтування інженерних заходів і прийняття відповідних рішень щодо зв'язку "потенційно небезпечний об'єкт - область взаємодії з геологічним середовищем"

Проведення експертизи даних для побудови ефективної багаторівневої системи зниження невизначеності ризиків по областях простору, часових інтервалах і можливих типах аварійних подій, пов'язаних з розвитком певних негативних інженерно геологічних процесів, дозволяє визначити:

- зони, де вже виявлено знижену несучу спроможність ґрунту та зони, де відбуваються взаємопов'язані або взаємозумовлені гідрогеологічні процеси, що знижують власну механічну міцність основ конструкцій та споруд і цим впливають на роботу технологічного обладнання об'єкта ("взаємодія природного середовища з промисловим об'єктом");

- "ділянки ризику", пов'язані з конкретною специфікою негативних інженерно-геологічних процесів на майданчику об'єкта або безпосередньо поблизу нього;

- структурно-функціональні елементи, що потрапляють у ділянки ризику;
- руйнівні процеси, що призводять до зниження несучої спроможності ґрунтової основи фундаменту конструкцій та споруд, і процеси, що викликають зниження механічної міцності самих фундаментів конструкцій та споруд.



Рис. 3.4. Схема реалізації моніторингу стану ЛТС майданчика АЕС

Системне застосування цих заходів вирішує основне завдання – контроль області взаємодії літосфери з потенційно небезпечним об'єктом, що забезпечує експлуатаційну надійність і безпеку і дозволяє своєчасно попередити можливий негативний вплив АЕС на геологічне середовище.

3.2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РИЗИК-АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ТА ЙОГО СКЛАДОВИХ

Стандарт МАГАТЕ [308] стверджує, що ризик – це багатофакторна величина, яка виражає небезпеку, загрозу, імовірність шкоди або негативних наслідків, пов'язаних з існуючою або потенційною незахищеністю. Ризик пов'язаний з такими величинами, як імовірність виникнення особливо негативних наслідків, а також зі значенням і характером цих наслідків.

Ризик можна вважати кількісною мірою небезпеки [16, 61, 131–132, 221, 233, 275, 306]. Отже, як кількісну величину ризику доцільно використовувати показник, що одночасно враховує дві характеристики небажаної події – імовірність її настання та величину завданих нею збитків. Існує математичний опис – визначена функціональна залежність деяких ризиків (напр., техногенного, сейсмічного) від зовнішніх параметрів, що підтверджує можливість управління ризиками.

Найбільш розповсюдженим значенням ризику є показник середнього ризику [132]

$$R = \sum_{i=1}^n P_i X_i, \quad (3.1)$$

де P_i – імовірність отримання збитків обсягом X_i у результаті виникнення будь-якої небажаної (небезпечної) події (групи подій); R – кількісна величина ризику (вимірюють в одиницях оцінювання збитків); n – кількість можливих варіантів збитків, що можуть бути завдані небажаною подією.

Передбачаючи, що є неперервна залежність імовірності P_i від значення збитків x , отримаємо: $P_i = P(x)$.

І формула (3.1) набуде вигляду

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} xP(x)dx. \quad (3.2)$$

Коли збитки можуть настати внаслідок різних небезпечних і незалежних подій, середній ризик може бути визначений за формулою

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} \cdot X_i, \quad (3.3)$$

де P_{ij} – імовірність отримання збитків X_i у випадку події j -го типу.

Відповідно до класифікації небезпек і ризиків [1, 29, 56, 73–74] за джерелами їхнього виникнення та визначення основних категорій ризик-аналізу:

- небезпека природна – це процес, властивість або стан відповідних частин літосфери, гідросфери, атмосфери або космосу, що становлять загрозу для людей, промислово-господарських об'єктів і природного середовища;
- ризик природний – імовірнісна міра відповідної природної небезпеки (сукупності небезпек), що встановлена для відповідного об'єкта у вигляді можливих втрат за визначений час;
- уразливість – властивість матеріального об'єкта втрачати здатність виконання своїх природних або заданих функцій у результаті впливу небезпечного процесу.

Оцінювання ризику – це процес, що використовують під час визначення рівня небезпеки для здоров'я людини, майна або довкілля [132, 163, 241]. Оцінювання ризику включає аналіз частоти (імовірності) виникнення небезпеки (небажаної події), її можливих наслідків та їхній взаємозв'язок.

Відзначимо, що формули (3.1)–(3.3) визначають величину середнього ризику незалежно від діяльності об'єкта, що підпадає під певну небезпеку. Загалом можна зазначити, що такі потенційно небезпечні об'єкти, як АЕС, мають застосовувати заходи для зменшення витрат від небажаних подій (захисні заходи). Для кожного конкретного об'єкта з урахуванням видів його діяльності та відповідних їм множин ситуацій, небажаних подій і можливих збитків може бути уточнена формула

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}(V) P_i P_j(j, z_j) X_i, \quad (3.4)$$

де V – чинник ризику, $g_{ij}(V)$ – імовірність вибору об'єктом ситуації, яку характеризують імовірністю настання небезпечної події P_i та законом розподілу збитків $P_j(j, z_j)$, що залежить від прийнятих заходів безпеки z_j .

Таким чином, для конкретного об'єкта імовірність збитків від порушення умов його функціонування може бути пов'язана із силою порушення, вираженою величиною відхилення стану довкілля від нормального. У цьому випадку величину середнього ризику можна подати у вигляді

$$R = \sum_k \sum_i \sum_j P_j(\Delta S_j) P_{kij}(i, z_{kj}, \Delta S_j) X_i, \quad (3.5)$$

де $P_{kij}(i, z_{kj}, \Delta S_j)$ – умовна імовірність k -го об'єкта отримати збитки X_i , виражені в грошовій формі в результаті відхилення стану довкілля від

нормального на величину ΔS_j і проведення захисних заходів від впливу події обсягом z_{kj} ; j – індекс, що визначає характер порушення стану довкілля; $(P_j(\Delta S_j))$ – імовірність порушення довкілля обсягом ΔS_j .

Аналізування ризику – процес ідентифікації небезпеки та оцінювання ризику для окремих осіб і населення, майна або довкілля. Аналізування ризику полягає у використанні всієї наявної інформації для виявлення і вивчення джерел небезпеки та визначення оцінки ризику певного явища, зумовленого цими джерелами небезпеки. На всіх етапах життєвого циклу потенційно небезпечного об'єкта визначають мету аналізування ризику [131–132]. Зазначимо, що етапи ризик-аналізу в різних галузях діяльності (на об'єктах різного рівня) є схожими, оскільки визначені базовою формулою (3.5), і визначаються етапами ризик-аналізу (рис. 3.5).

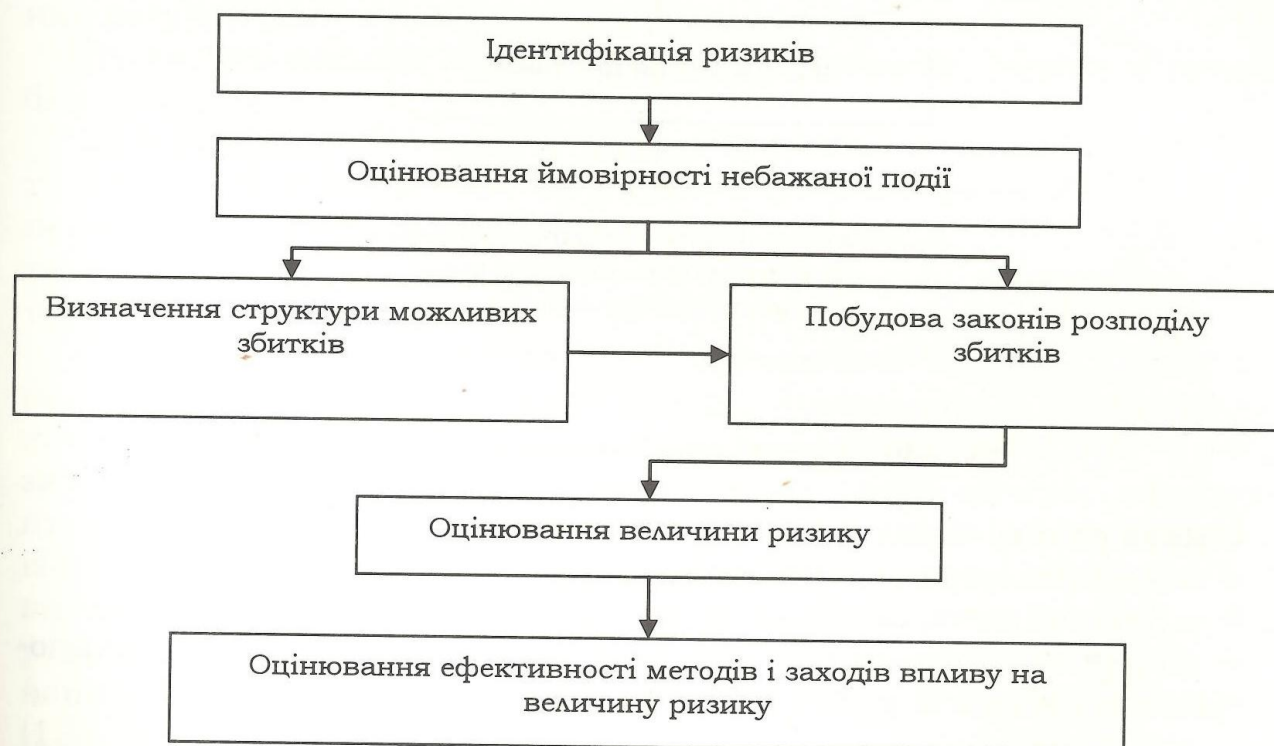


Рис. 3.5. Блок-схема етапів ризик-аналізу [131–132]

Оскільки ризик є неминучим супутнім чинником промислової діяльності потенційно небезпечних об'єктів, то мета управління ризиком – запобігання або зменшення руйнування матеріальних об'єктів, втрат майна та згубного впливу на довкілля. Для управління ризиком його потрібно проаналізувати та оцінити [291, 302, 305, 310].

Аналізування ризику є раціональним засобом у тому випадку, коли маємо визначити джерела небезпеки, рівні ризиків певних неба-

жаних подій (ризикового явища) за частотою та наслідками і реалізувати заходи щодо зменшення ризику до його допустимого рівня.

У закордонній практиці, зокрема США, ризик аналізують за допомогою системного підходу щодо організації цього процесу з логічним завершенням у вигляді державного механізму управління ризиком [6, 96] (рис. 3.6).

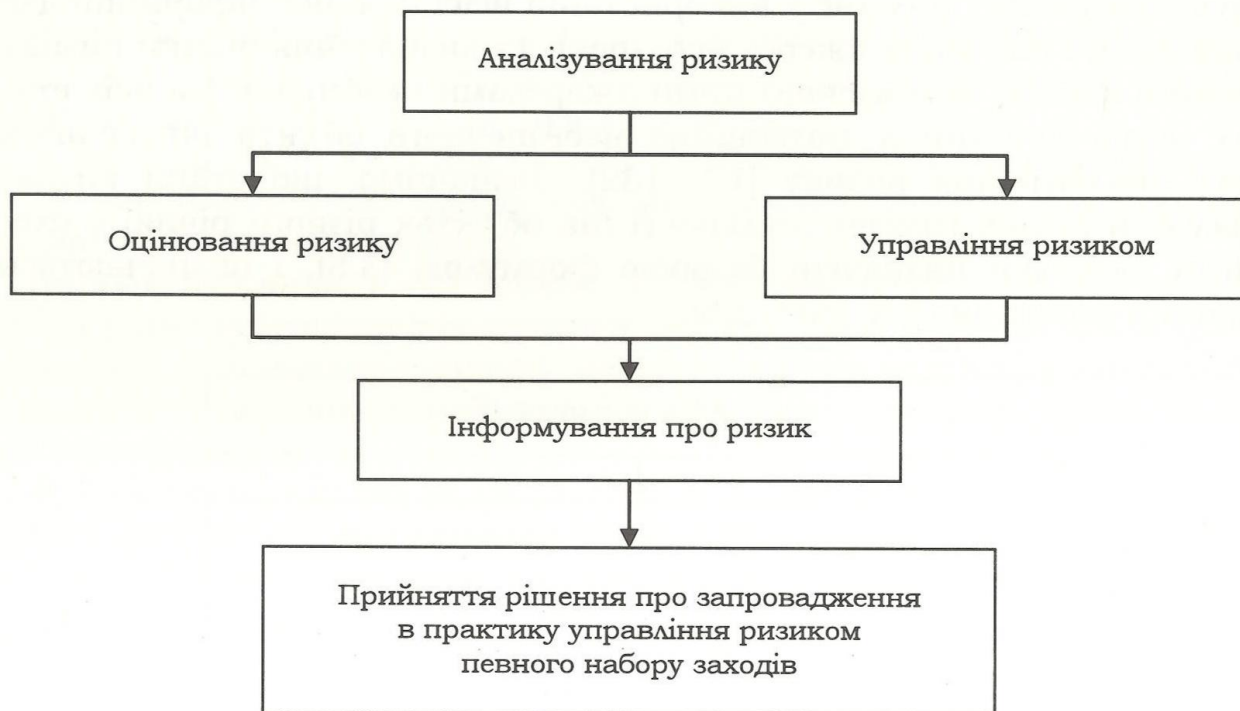


Рис. 3.6. Складові аналізування ризику [6, 96]

Оцінка ризику складається із трьох частин:

- оцінки джерела негативного впливу;
- оцінки об'єктів, що зазнали впливу від негативного чинника;
- оцінки наслідків впливу (причинно-наслідкові зв'язки та встановлення кількісного вираження) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Складові оцінки ризику [6, 96]

Об'єктивні	Суб'єктивні
Оцінка джерела ризику Оцінка впливу Оцінка наслідків впливу	Політика оцінки ризику
Характеристика ризику	

Управління ризиком полягає в тому, щоб визначити обсяг ризику, визначити ефективні заходи щодо зменшення його обсягу, а потім упевнитися, що ризик знаходиться в межах прийнятності (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Складові управління ризиком [6, 96]

Об'єктивні	Суб'єктивні
Охарактеризований ризик	Сприйняття ризику
Порівняльна оцінка ризику	Політична та юридична дія
Оцінка вартості	
Управлінське рішення	

Таким чином, аналізування ризику включає встановлення характеристик ризику та вибір ефективних і економічно вигідних захисних регуляторів.

Процес управління сейсмічним ризиком можна подати у вигляді блок-схеми (рис. 3.7).

Застосування системного підходу [38, 306] дозволяє організувати єдину схему контролю та управління ризиком для потенційно небезпечних об'єктів для оперативної профілактики небезпечних техногенно-природних процесів за результатами поетапного моніторингу (рис. 3.8).

Масштаб катастрофічної події, зумовлений загибеллю людей у результаті впливу ризикового явища, пов'язаного з погіршенням якості довкілля, характеризує соціальний ризик. Показник ризику залежить від імовірності настання ризикового явища, людських втрат і кількості груп людей, які зазнали впливу такої події. Одним із варіантів соціального ризику є сейсмічний ризик, величину якого визначають за кількістю людей, життю яких загрожує небезпека у випадку землетрусу. Ризик визначається математичним очікуванням екологічних збитків для територій у випадку землетрусу [132, 233, 241, 262–263].

Величина сейсмічного ризику в різні інтервали часу в населеному пункті з N кількістю населення може бути визначена за формулою [132]

$$R(t) = N \sum_{I=5}^J \sum_{j=1}^K P_I P_{Ijk} q_{jk} \left[d_1(t) \eta_j^{(1)} + d_2(t) \eta_j^{(2)} \right], \quad (3.6)$$

де P_I – імовірність землетрусу I -ї інтенсивності (на практиці $I = 5, 6, \dots, 10$ балів); P_{Ijk} – імовірність отримання пошкоджень k -го ступеня для будівель з j -ю сейсмостійкістю при землетрусі I -ї інтенсивності;

q_{jk} – імовірність смерті для людини, яка перебуває в будівлі j -го типу з пошкодженням k -го ступеня тяжкості; $\eta_j^{(1)}$ – частина населення, яке проживає в будинках j -го типу; $\eta_j^{(2)}$ – середня кількість частини населення, яке перебуває у виробничих та інших будівлях j -го типу; $d_1(t)$ і $d_2(t)$ – відносна кількість людей у різний час доби.

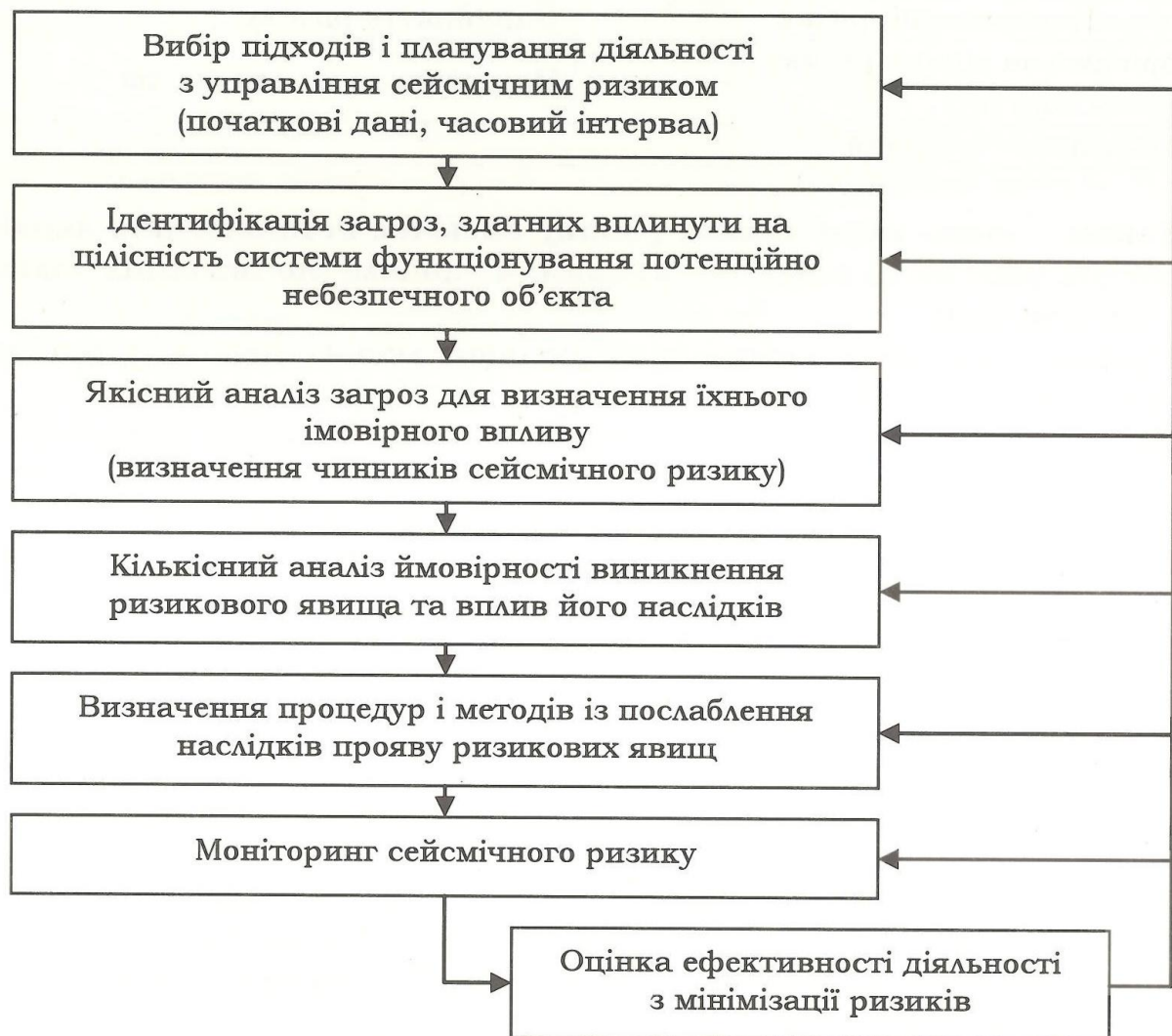


Рис. 3.7. Блок-схема процесу управління сейсмічним ризиком

Наприклад, у США визначення небезпеки від землетрусу проводять шляхом складення карт "ризик". Такі карти довели доцільність свого використання у будівництві і запровадженні нових стандартів для проектування та страхування у районах з високим рівнем ризику. Карты сейсмічного ризику складені на основі показників імовірності певних сейсмічних подій на певній території та часі [257–258].

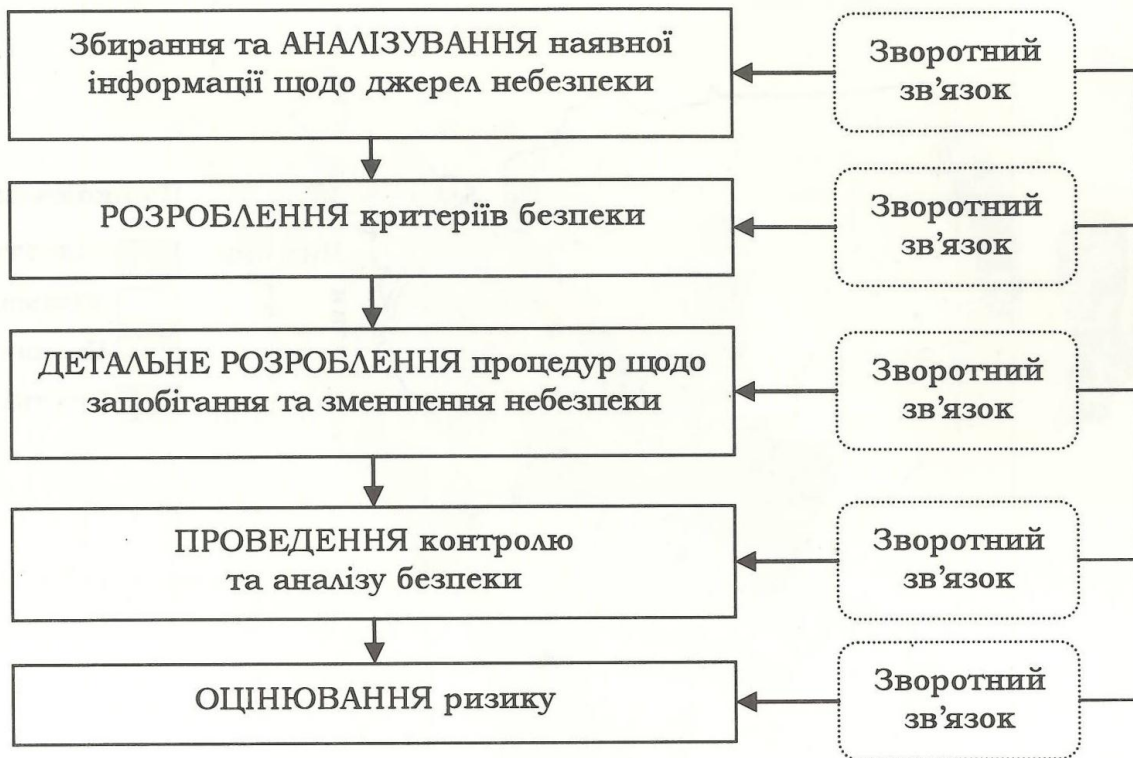
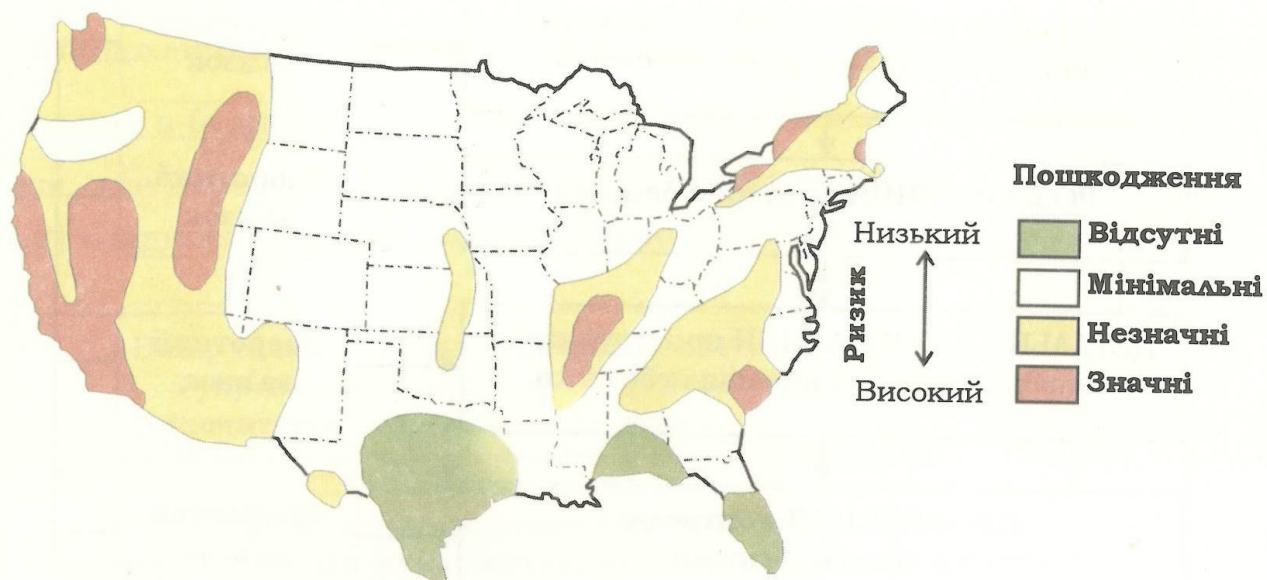


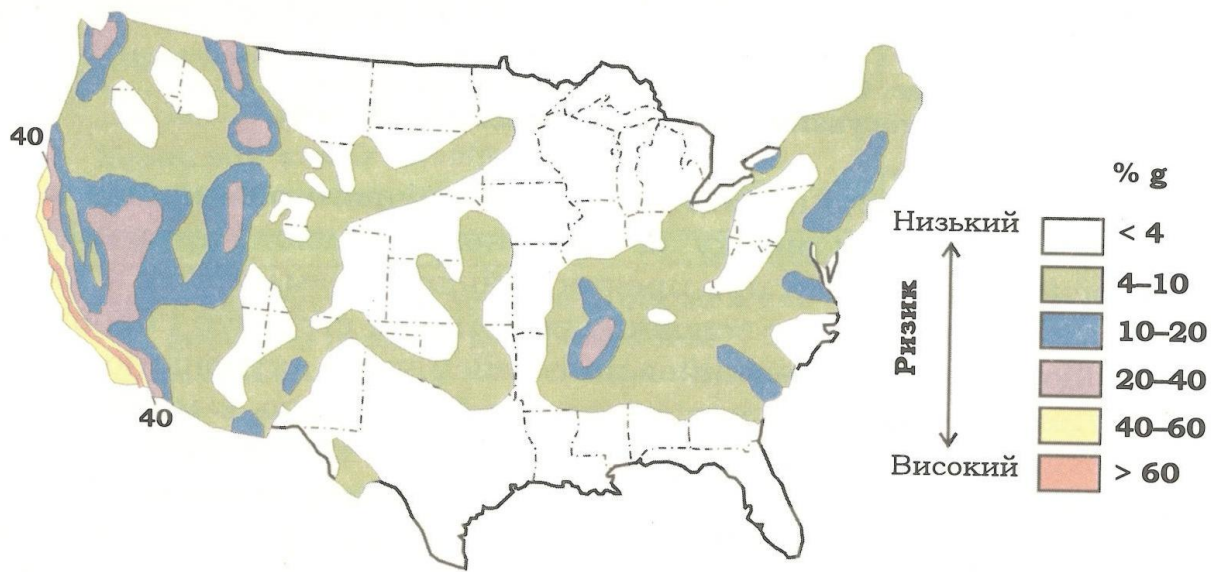
Рис. 3.8. Схеми аналізу ризику на основі застосування системного підходу [38, 306]

На рис. 3.9 наведено приклади карт сейсмічного ризику, що відображають чотири зони ризику за відносною шкалою. Карти побудовані на основі відомостей про прояви руйнівних землетрусів у минулому та результатів аналізу основних геологічних структур і провінцій доменів, що можуть бути асоційовані із сейсмічною активністю.

Коллективом учених під керівництвом В.Г. Алказа в межах програми розвитку наукових і методичних основ кількісного прогнозування сейсмічного впливу, небезпеки та ризику території Республіки Молдова з урахуванням сейсмогеологічних умов регіону запропоновано певні процедури для оцінювання сейсмічного ризику на локальному рівні. Проведені розрахунки дозволили оцінити ймовірні пошкодження будівель і споруд, і втрати серед населення від прояву різних землетрусів (сценарійних або історичних) [259]. Ефективність запропонованих способів підтверджена реальними даними про пошкодження будівель і споруд під час сильних карпатських землетрусів. У результаті було побудовано карту, що ілюструє розподіл відносного сейсмічного ризику на території Республіки Молдова (рис. 3.10).



а



б

Рис. 3.9. Карты сейсмического риска в США:
 а – относительный риск повреждений, определенный на основе исторических данных про землетрусы [257];
 б – карта вероятного риска, щодо 90 % неперевикнення максимальних значень пікових ґрунтових прискорень протягом 50 років [258]

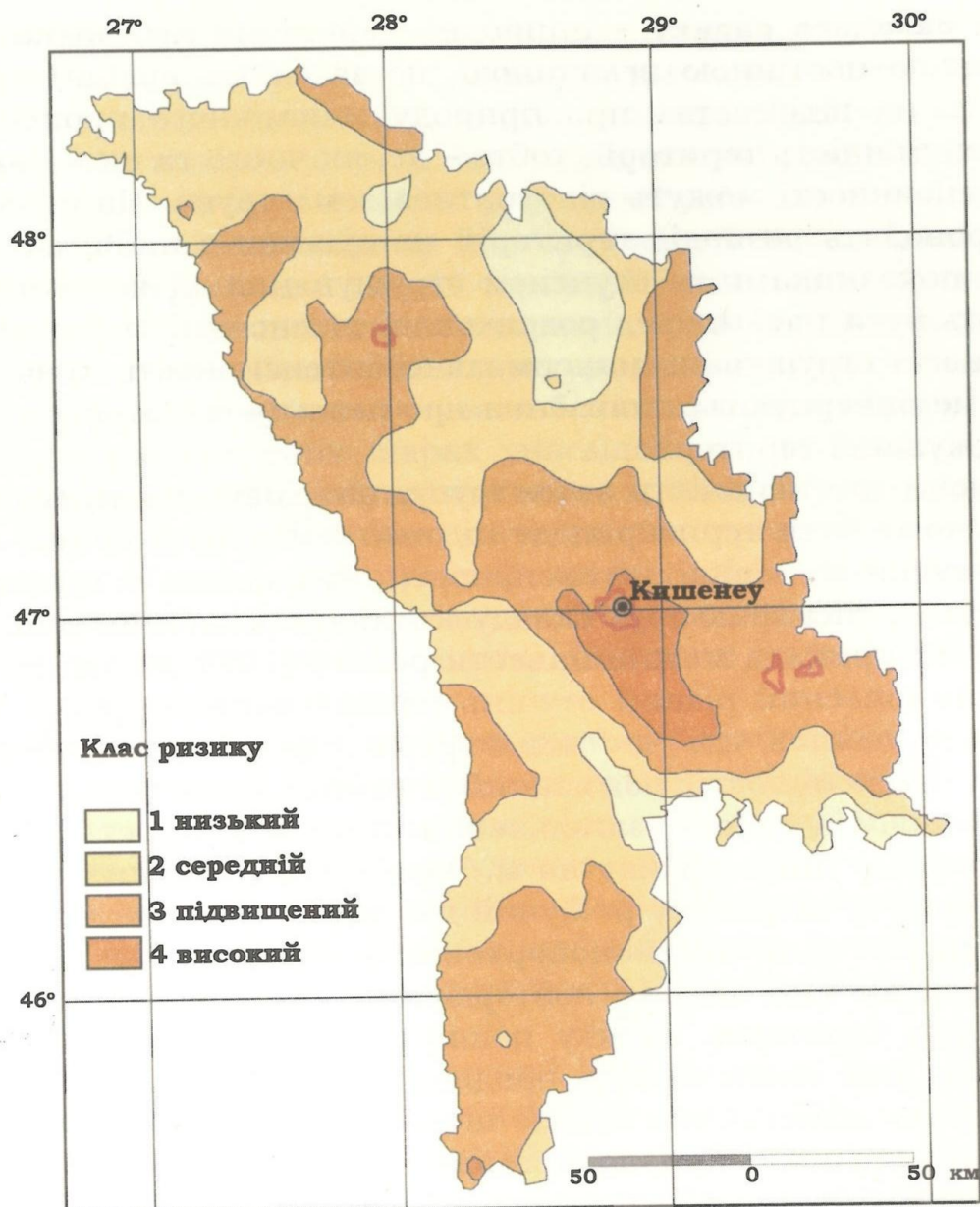


Рис. 3.10. Розподіл відносного сейсмічного ризику на території Республіки Молдова [259]

Сейсмічний ризик є імовірнісною мірою сейсмічної небезпеки і відповідних збитків від можливих землетрусів для конкретного об'єкта (території) за визначений період часу [97, 200, 310].

У результаті проведеного дослідження встановлено, що сучасне поняття про сейсмічний ризик поєднує такі складові [38]:

- природну сейсмічну небезпеку;
- техногенну надійність середовища існування;
- можливість попередження про землетрус;
- готовність населення та офіційних органів влади до сейсмічних впливів.

Перша складова ризику – природна сейсмічна небезпека, виражена деякою постійною величиною, не залежить від дій людини. Базуючись на відомостях про природу сейсмічного процесу, оцінюють сейсмічність території, тобто – де, як часто та якої максимальної інтенсивності можуть відбуватися землетруси. На основі цих даних проводять розподіл територій на ділянки з найбільш небезпечними показниками за ступенем струшування. Для кожної ділянки мають бути насамперед розраховані інтенсивність і період повторюваності струшувань максимальної інтенсивності, хоча зазвичай цим не вичерпуються уявлення про реальну сейсмічну небезпеку досліджуваної території.

Оцінюючи інтенсивність землетрусу, важливо знати, наскільки великою може бути територія, де під час землетрусу будуть відчутні струшування певної інтенсивності. Важливим є визначення тривалості та спектрального складу коливань максимальної інтенсивності. Як приклад можна навести роботу [197], де для м. Ізмаїла був установлений різний ступінь пошкоджень споруд у межах конкретних ділянок під час землетрусів однакової магнітуди та середньої інтенсивності, пов'язаний з різним спектральним складом коливань. На основі узагальнення великої кількості статистичного матеріалу щодо впливу на м. Ізмаїл найсильніших землетрусів зони Вранча та району р. Дунай для міста була побудована карта вразливості одно- та двоповерхових будинків.

Очевидно, що чим частіше повторюються найсильніші землетруси і чим більша територія, на яку поширюється вплив найсильніших струшувань, чим довше можуть продовжуватися коливання з максимальною інтенсивністю, тим більше значення сейсмічної небезпеки.

Головним чинником природної сейсмічної небезпеки є струшування ґрунту, що, у свою чергу, призводить до струшувань будівель і споруд. Коливання ґрунту є причиною також руйнування поверхневих гірських порід і матеріалу основ (фундаменту) під спорудами. Тому значна частина збитків від землетрусів є наслідком втрати міцності ґрунту. Деякі однотипні споруди порівняно з іншими можуть бути сильніше пошкодженими через їхнє розташування в зоні активного розлому. Підсилення сейсмічної активності в Передкарпатті та її прояви на південно-західній частині СЄП пов'язані з техногенним чинником – порушенням цілності гірських масивів під час розроблення родовищ корисних копалин, будівництва ГЕС у місцях, де існують тектонічні розломи у верхній частині земної кори.

Для вирішення питань про ступінь струшування окремих ділянок земної поверхні на сьогоднішній день побудовано карти ізосейст сильних землетрусів зони Вранча [217].

Зазначимо, що важливим є врахування і таких джерел небезпеки, як зсуви, обвали, грязьові потоки. Важливо також оцінити і рівень небезпеки, пов'язаний з можливими локальними ефектами опускання, нахилів і перекосів поверхні ґрунту, його розрідження і різкого просідання.

Отже, визначення величини природної сейсмічної небезпеки зводять до встановлення періоду повторюваності максимальних і більш слабких землетрусів для певної території і вивчення характеру сейсмічних проявів. Не виключена можливість, що в районах підвищеної активності деякі сейсмогенні структури можуть бути не встановлені через те, що вони можуть існувати без помітних проявів у поверхневих або підповерхневих шарах унаслідок впливу часу. Наприклад, зсувні явища можуть відбуватися через тривалі інтервали часу, що не збігаються з періодами сейсмологічного спостереження.

Пожежі, повені в разі прориву дамб, гребель та інших захисних споруд уже не відносимо до чинників природної сейсмічної небезпеки, тому що цей ризик є наслідком діяльності людини – техногенний ризик середовища існування.

Другою складовою сейсмічного ризику є техногенна надійність середовища існування. Насамперед, це ступінь сейсмічної безпеки будівель і споруд у сейсмонебезпечних зонах. Зазвичай ми маємо справу з історично сформованою забудовою міст і селищ, тому завдання зменшення ризику є складнішим. Для сейсмостійкого будівництва критерієм оцінки ступеня сейсмічної небезпеки, є карти СМР, побудовані на основі існуючого історичного матеріалу та результатів геолого-геофізичного дослідження.

На сейсмонебезпечній території України розміщені об'єкти (важливі для нормальної життєдіяльності), що можуть являти собою цілком реальну небезпеку для населення та персоналу у випадку порушення їхнього нормального функціонування унаслідок землетрусу, який перевищує максимально розрахований рівень для цих об'єктів (АЕС, хімічні підприємства, лінії електропередач, трубопроводи, транспортні магістралі тощо). До чинників вторинної небезпеки відносять також пожежі, вибухи небезпечних хімічних речовин у разі прояву можливих землетрусів [131]. Певна частина житлових і соціальних об'єктів розташована в зонах максимально го ризику від вторинної небезпеки. Як приклад можуть бути розглянуті вже згадані Південноукраїнська АЕС, Чорнобильська АЕС (об'єкт "Укриття") і Рівненська АЕС.

Третя складова сейсмічного ризику – можливість попередження про землетрус, так званий "превентивний" ризик, що лише частково залежить від самої людини, а більшою мірою – від учених, адміністративних структур, які взяли на себе відповідальність за сейс-

мічну безпеку; від засобів масової інформації та їхньої готовності вчасно донести до населення попередження про небезпеку. Величину цієї складової визначають за сейсмічним прогнозом [8]. Дані довгострокового прогнозування входять здебільшого до визначення величини сейсмічної небезпеки і не можуть дати величину сейсмічного ризику в короткий проміжок часу. Найбільш важливими з практичної точки зору є короткостроковий і оперативний прогнози. Прогноз землетрусів будують на реальних комплексних спостереженнях, що мають широке застосування в США, Японії та інших країнах світу [284]:

- режимні спостереження за варіаціями дебіту, температури, хімічного стану води і розчинних газів у свердловинах;
- реєстрація вертикальної складової напруженості електричного поля E в приземному шарі атмосфери і напружень земної кори в спеціально обладнаних свердловинах;
- свердловинні геомеханічні спостереження за провісниками, пов'язані зі зміною деформаційного стану середовища;
- спостереження за електротелуричними потенціалами;
- цифрова телеметрія, що дозволяє одержувати дані в режимі реального часу.

Четверта складова сейсмічного ризику – готовність населення та адміністративних органів влади до сейсмічних впливів. Вона залежить від людини, тому є регульованим компонентом. Кожна людина, яка живе в сейсмонебезпечній зоні, повинна мати достатній обсяг інформації як про саме явище землетрусу, так і про небезпеку, яку ця природна катастрофа має для неї як жителя певної території, і про способи захисту від небезпеки [233, 262, 312].

Для успішного вирішення завдань з оцінювання та зниження рівня сейсмічного ризику будинків і споруд, а також зменшення ризику людських втрат потрібно мати банк даних з фактичних фізико-механічних характеристик конструкцій будинків, споруд і ґрунтів, де вони розміщені. Також необхідні дані про сейсмічність майданчиків існуючої забудови і рівень сейсмічного впливу, на який були розраховані ці об'єкти. Якісний та кількісний аналіз чинників, що впливають на ґрунтові умови та фактичний стан об'єктів, дозволить створити картину очікуваних людських і матеріальних втрат у випадку сильного землетрусу, що, у свою чергу, дасть можливість правильно встановити черговість заходів зі зниження рівня сейсмічного ризику території України.

Подібний аналіз можливий за наявності системи інформаційних карт, наприклад, щодо ґрунтових умов, очікуваних прискорень, забудови, кількості населення, комунікації тощо. Підсумкова карта сейсмічного ризику може бути отримана при синтезі вихідних карт, що містять усю накопичену інформацію.

Актуальні способи зниження рівня сейсмічного ризику:

- підвищення рівня інформативного забезпечення щодо сейсмічності території й ведення сейсмостійкого будівництва, включаючи нормативне забезпечення;
- адекватна паспортизація територій, будівель і споруд;
- посилення сейсмостійкості будівель і споруд;
- збереження та розвиток інженерно-сейсмометричної мережі;
- уточнення даних із сейсмічності та сейсмічного мікрорайонування територій.

Заходи щодо забезпечення сейсмостійкості об'єктів:

- інженерно-технічні заходи щодо підготовки до землетрусу, спрямовані на зменшення збитків від його впливу, і передбачення вторинних і техногенних надзвичайних ситуацій;
- аналізування та організація моніторингу комплексного ризику на сейсмонебезпечних територіях, розроблення заходів щодо попередження небезпечних наслідків землетрусів і пом'якшення їхнього впливу, уточнення сейсмічної небезпеки з урахуванням локальних ефектів;
- організаційно-технічні заходи щодо підготовки до землетрусу, спрямовані на організацію рятувальних робіт, життєзабезпечення населення та ліквідацію надзвичайних ситуацій.

Базуючись на розробках теорії ризику, зокрема методології дослідження – ризик-аналізу, діяльність у сфері аналізування та управління ризиками характеризують і певною специфікою, зумовленою, у першу чергу, особливостями об'єкта вивчення.

3.3. ЗАСТОСУВАННЯ ІМОВІРНІСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ

Для оцінювання сейсмічного ризику територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів сьогодні застосовують методологію з урахуванням сучасних знань про сейсмічний процес з використанням імовірнісних методів, що допомагає здолати ряд недоліків традиційного детермінованого підходу. Вони дозволяють установлювати рівні безпеки об'єктів і порівнювати їх з урахуванням економічних, соціальних та екологічних ризиків на основі єдиного критерію – прийнятності ризику. Дослідження ризиків для визначення оцінки безпеки важливих енергетичних об'єктів на основі концепції прийняттого ризику мають 10–15-річний досвід. Найбільші досягнення в цій галузі належать Канаді, Австралії та США [30, 275, 291, 307, 310].

За методикою, що викладена в [194], оцінювання сейсмічного ефекту на земній поверхні проводять у декілька етапів:

➤ виділення зон ВВЗ. На основі уявлень про дискретну шарувато-блокову структуру земних надр будують модель сейсмічних областей у вигляді сейсмолінеаментів і доменів. Для кожної з цих областей шляхом використання експертних оцінок на основі комплексного аналізу інформації (сейсмогеологічної, геолого-геофізичної, геоморфологічної, тектонічної тощо) оцінюють магнітуди максимально можливих землетрусів;

➤ побудова прогнозу моделі сейсмічного режиму. Використовуючи інформацію про сейсмічний режим виділених зон та оцінку магнітуди максимально можливих землетрусів, методом статистичного моделювання складають модель сейсмічного режиму;

➤ за даними про затухання сейсмічної інтенсивності від вогнища до пункту спостереження розраховують імовірний інтегральний сейсмічний вплив на територію або об'єкт дослідження від усіх модельних землетрусів.

Результатом цих робіт став комплект карт загального сейсмічного районування території України [193], зображений у вигляді прогнозу моделі довгострокової сейсмічної небезпеки. Модель складена з комплекту карт ЗСР Автономної Республіки Крим у масштабі 1 : 1 000 000 трьох рівнів, які відображають розрахункову інтенсивність (I) сейсмічних впливів (у балах шкали MSK-64), очікуваних на певній площі із заданою імовірністю P (%) протягом визначеного інтервалу часу (t).

Умови геологічного середовища виражають у кількісній або якісній формі в одиницях вимірювань, прийнятих у геологічній науці, тоді як небезпеку вимірюють в одиницях сейсмічної інтенсивності, або в одиницях прискорення коливань, що можуть виникати із заданою імовірністю.

Сильні землетруси в статистичному вираженні відбуваються рідко, а режим генерації таких сейсмічних подій наближається до розподілу Пуассона, що дає підставу застосовувати модель Пуассона для їхньої апроксимації. Для розрахунку оцінки ймовірності виникнення землетрусу застосовують формулу (3.7)

$$P(n) = \frac{\lambda^{(n)}}{n!} e^{-\lambda}, \quad (3.7)$$

де $P(n)$ – імовірність того, що n сильних землетрусів відбудеться протягом певної одиниці часу. Параметр λ – середня кількість сильних землетрусів в одиницю часу, що залежить від регіону та рівня магнітуди або інтенсивності землетрусу, обраної для вирішення певної задачі.

Звичайним засобом переведення даних природничих наук у кількісні співвідношення є методи статистики, на основі яких визначають статистичні залежності, потрібні для визначення імовірнісної оцінки настання очікуваних подій, у тому числі небезпечних. На жаль, на етапі вибору майданчиків для розміщення потенційно небезпечних об'єктів (розглянутих у цій роботі) не було отримано чисельних значень для імовірності виникнення негативних подій. По-перше, це пов'язано з тим, що початкові геологічні дані мають узагальнений характер. По-друге, більшість геологічних явищ, за якими має бути визначена імовірнісна оцінка безпеки їхнього прояву, відбуваються настільки рідко, що виключають можливість формування достовірних статистичних вибірок, на основі яких виводяться закони розподілу подій. Для прогнозування розвитку геологічного середовища під час вибору місць розташування потенційно небезпечних об'єктів потрібно звертатися до методів експертної оцінки [102], що широко використовуються при складанні карт природної безпеки та визначенні різних умов, що формують потенційну небезпеку. Наприклад, предметом оцінки за методикою експертної оцінки придатності територій для розміщення АЕС [221] є можливість забруднення довкілля радіонуклідами у випадку прояву негативних подій на АЕС, викликаних природними явищами. В основу методики покладено сукупність критеріїв оцінки природних умов, ранжованих за значенням їхнього впливу на масштаби можливого забруднення біосфери. Придатність району виражена сумою балів, виставлених експертами кожному з районів за окремими критеріями.

Існуючі загальні підходи до вибору місць для розміщення потенційно небезпечних в екологічному відношенні об'єктів базуються на розгляді блоків земної кори, розміщених у тектонічно слабоактивних районах, що мають малу проникність, тектонічну активність і сейсмічність [86, 133]. Як критерії оцінювання використовують описові характеристики масиву (геологічний тип порід, морфологія та потужність товщ водотривів, глибина їхнього залягання тощо). Розглядають також ділянки, розміщені тільки в межах щитів і платформ [58]. При цьому в більшості випадків під час регіонального вибору місця для розміщення, наприклад, могильників екологічно небезпечних відходів, не враховують таку важливу властивість геологічного середовища, як неоднорідність розподілу властивостей і процесів, що там відбуваються.

Для визначення рівня сейсмічного ризику всі джерела безпеки мають бути оцінені з точки зору їхньої відповідності критеріям прийняттого ризику [37, 306, 315]. Оцінювання ризику включає в себе аналіз частоти прояву ризикового явища, його наслідків та невизначеностей результатів (рис. 3.11).

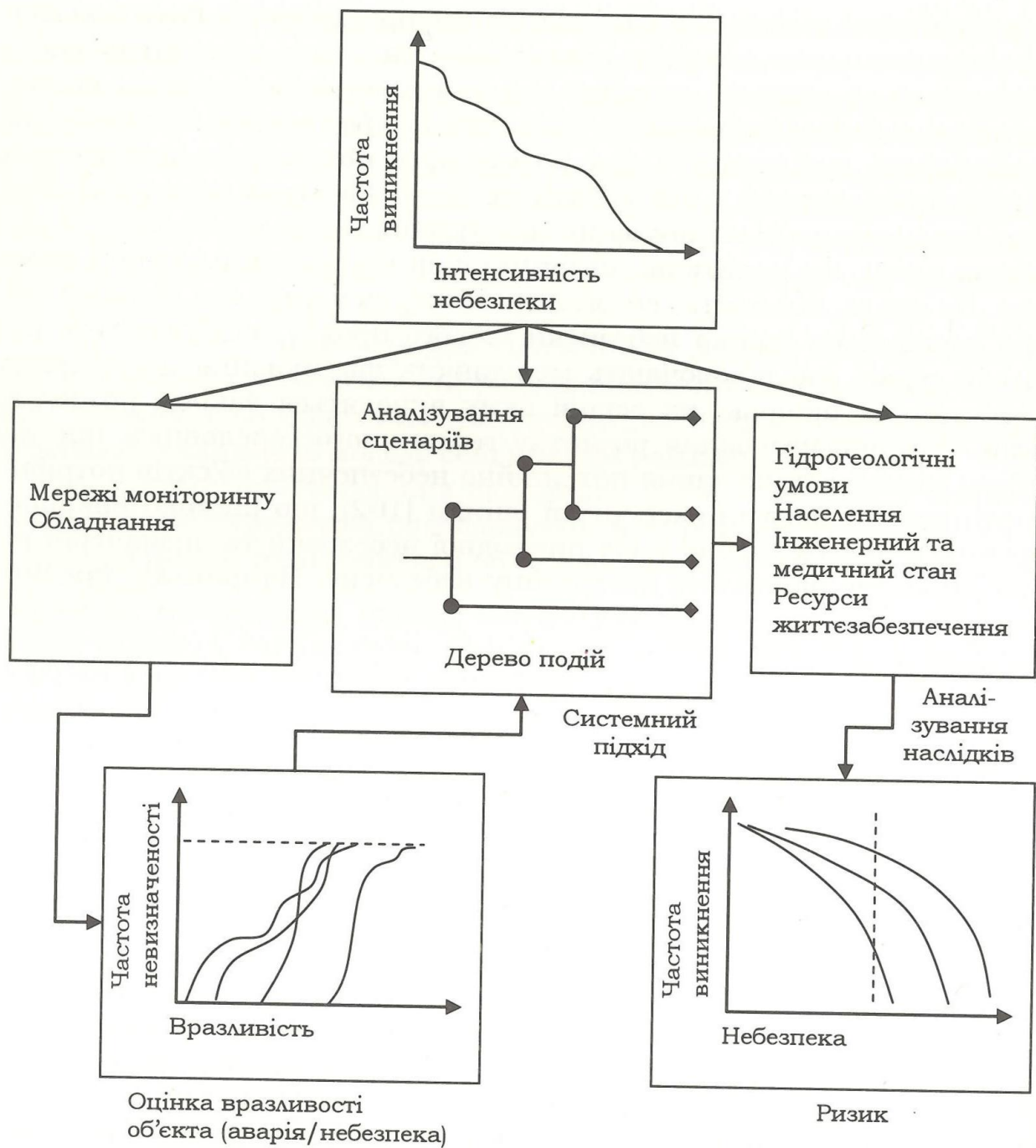


Рис. 3.11. Ключові елементи визначення рівня сейсмічного ризику [37, 306]

Урахування цих даних дає змогу побудувати карти відчутних землетрусів, де на основу, складену за архівними даними та матеріалами інструментальних спостережень, наносять ізолінії соціально-економічних збитків. Застосування геоінформаційних систем допомагає проводити обробку вхідних даних для графіків повторюваності землетрусів, діапазону глибин, де можуть відбутися землетруси, інформації про за-

тухання енергії, про розміщення джерел землетрусів різної магнітуди. Також стає можливим проведення аналізу взаємного розміщення зон дослідження з метою дотримання граничних умов і розрахунку потрібних додаткових параметрів.

Використання системної моделі ймовірнісної взаємодії потенційно небезпечного об'єкта з природним середовищем у випадку землетрусу (рис. 3.12) відповідає реальним інженерно-геологічним умовам зі складною, унікальною будовою та розвитком сценаріїв небезпечних процесів [37, 50, 84]. Системний підхід в імовірнісному аналізі безпеки взаємодії потенційно небезпечного об'єкта з геологічним середовищем полягає у визначенні більш складних і численних техногенно-природних систем і всіх можливих зовнішніх і внутрішніх чинників, що діють у різних поєднаннях і послідовності протягом усього періоду існування об'єкта.

Сценарії ризиків розробляють, виходячи з можливих небезпечних геологічних процесів, що можуть бути загрозою для об'єкта у вигляді можливих гіпотетичних аварій та аварійних ситуацій, виникнення та розвиток яких може призвести до порушення умов безпечної експлуатації об'єкта і забруднення літосфери й довкілля [50, 84, 259]. Можливість їхньої реалізації зумовлена поєднанням геолого-тектонічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов промислового майданчика об'єкта і прилеглої території, а також техногенного навантаження від об'єкта: перерозподілу навантажень за рахунок вертикального планування промислового майданчика, статистичних навантажень на товщу порід від ваги споруд і будівель, динамічних навантажень, викликаних роботою машин, механізмів, турбогенераторів, зміни РГВ, теплового гідрохімічного та радіаційного забруднення підземних вод, наведених електромагнітних полів тощо. Поєднання конкретних умов визначає відповідну організацію різних процесів у часі та просторі.

Імовірнісний підхід сприяє кращому розумінню фактичного рівня безпеки потенційно небезпечних об'єктів для всіх етапів їхнього життєвого циклу при реалізації можливого землетрусу. Це підтверджується й тим, що в сучасних геофізичних дослідженнях усе більшого застосування набувають геоінформаційні системи, які використовують для проведення розрахунків з визначення оцінки сейсмічної небезпеки та реагування на руйнівні землетруси, ведення баз даних каталогів землетрусів, розломів, карт сейсмічного районування, векторизованих планів міст, збору інформації про промисловий та житловий фонди, відомості про характер забудівель і кількість населення тощо.



Рис. 3.12. Системна модель ймовірності взаємодії потенційно небезпечного об'єкта з природним середовищем у випадку землетрусу

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

Останнім часом відзначають збільшення кількості природних катастроф у світі, пов'язаних з низкою глобальних процесів у соціальній, природній та техногенній сферах, що призводять до розвитку небезпечних природних явищ і зниження рівня захищеності людей. Це зумовлює нагальну потребу поступового реформування системи охорони довкілля, створення механізмів використання природних ресурсів, реалізації національних програм, що сприятиме захисту прав нинішнього і прийдешніх поколінь жити в безпечному середовищі, сприятливому для їхнього здоров'я і добробуту, підвищенню рівня екологічної свідомості населення, подоланню екологічної кризи.

Катастрофи, промислові аварії, що відбуваються в різних частинах земної кулі, їхні негативні наслідки, пов'язані з викидами забруднюючих і радіоактивних речовин у разі пошкодження та/або руйнування систем захисту потенційно небезпечних об'єктів хімічної й енергетичної промисловості, зокрема АЕС, позначаються не тільки в місцях розміщення таких об'єктів, але проявляються і в інших регіонах земної кулі, випадаючи кислотними дощами, утворенням озонових дір, радіоактивним забрудненням територій. Джерела та чинники ризику виникають як в окремих елементах регіональних систем, так і характеризують інтегральний показник території країни в цілому, і виражаються ймовірністю людських жертв, небезпечних наслідків для майбутніх поколінь, шкідливих екологічних змін [223].

Функціонування потенційно небезпечних об'єктів без достатнього вивчення або уточнення геолого-геофізичних характеристик територій їхнього розміщення позначається на підвищенні рівня регіональної безпеки, що може значно перевищувати встановлені прийнятні норми. Питання локальної безпеки окремих підприємств як джерел екологічного ризику переростають у проблеми регіональної безпеки, оскільки безпеку окремих елементів уже не можна розглядати без урахування ефе-

кту системи і пов'язаного з цим ефекту підвищення рівня ризику. Імовірність виникнення техногенних надзвичайних ситуацій, спричинених природними ризиковими явищами, зростає внаслідок високого рівня зношеності основних фондів, що для промисловості перевищує 48 % (для машин і обладнання – 60 %) [28]. При цьому кошти, що виділяють на заходи з попередження та ліквідації наслідків впливу ризикових явищ, дуже обмежені у зв'язку з відсутністю системного підходу до розв'язання цієї проблеми. Ефективне управління розміщенням виробничих потужностей неможливе без проведення дослідження на основі реальної інформації про стан довкілля та його зміни.

Відсоткове відношення населення України, яке проживає в зоні можливого ураження від хімічно-небезпечних об'єктів, становить 9 %, вибухо- і пожежонебезпечних – 1 %, у зоні АЕС – 61,7 %, загалом по Україні – 71,7 % [81, 320].

Територію України, її окремі регіони, де функціонують потенційно небезпечні об'єкти, треба розглядати як інтегральну систему з класифікованими ризиками. Класифікація ризиків – це систематизація множини ризиків на основі певних особливостей і критеріїв, що дозволяють провести об'єднання підмножин ризиків (рис. 4.1) [84, 156–159].



Рис. 4.1. Класифікація ризиків за В.І. Осиповим

Умовні позначення: R – ризик в економічному вираженні;

$P(I)$ – імовірність виникнення події з інтенсивністю I ;

$Y(I)$ – очікувані збитки; S – площа території розрахунку ризику

Складовою природного ризику для території України є сейсмічний ризик, джерелом якого є можливі землетруси. Як було зазначено в розд. 2.2, сучасне поняття про сейсмічний ризик поєднує природну

сейсмічну небезпеку, техногенну надійність середовища існування, можливість попередження про землетрус і готовність населення та офіційних органів влади на випадок прояву сейсмічних впливів.

Ефективне розв'язання проблеми сейсмічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів, таких як АЕС і прилеглі населені пункти, може базуватися як на прогнозі параметрів очікуваного сейсмічного впливу (інтенсивність і повторюваність землетрусів, спектральні характеристики сейсмічних коливань тощо), так і на оцінці вразливості будівель, споруд і людей в районі розміщення об'єкта.

Під **сейсмічним ризиком** ми розуміємо ймовірнісну міру сейсмічної небезпеки та відповідних збитків від прогнозованих землетрусів для певного об'єкта (території) за певний час.

Отже, сейсмічний ризик пов'язаний як з можливістю виникнення на певній території землетрусу максимальної сили, так і з наявністю на ній будівель, споруд і населення, яким у результаті дії цього ризикового явища може бути завдано шкоди.

Сейсмічну небезпеку визначають за можливою інтенсивністю та повторюваністю прогнозованих сейсмічних впливів на об'єкт ризику.

Збитки щодо руйнування будівель і споруд розраховують як витрати на повну їхню відбудову після землетрусу. Це визначення стосується лише прямих економічних збитків і не враховує втрати від пошкодження комунікацій, збитки від зупинення виробництва тощо. Коли ж під об'єктом ризику розуміють людину, то використовують поняття *індивідуального сейсмічного ризику*.

Величина економічних і соціальних збитків пов'язана з реакцією будівель і споруд на сейсмічний вплив, тобто з їхньою сейсмічною уразливістю. **Економічну сейсмічну уразливість** визначають як відношення вартості відбудови будівель і споруд після сейсмічного впливу до їхньої повної вартості до землетрусу. **Соціальна сейсмічна уразливість** визначає частку загиблих відносно населення на певній території. Отже, уразливість пов'язана з інтенсивністю землетрусу і сейсмостійкістю будівель і споруд [97].

4.1. АНАЛІЗУВАННЯ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ

Розглянемо етапи аналізування сейсмічного ризику детально. Його можна поділити на виконання таких завдань [47–48]:

- 1) вибір об'єктів для аналізування та методу оцінювання ризику;
- 2) ідентифікація загроз;
- 3) аналізування загроз та їхніх наслідків, визначення слабких місць у захисній системі;
- 4) оцінювання ризику;
- 5) вибір захисних заходів;

б) реалізація та перевірка вибраних заходів;

7) установлення оцінки остаточного ризику (інтегрального або диференціального), моніторинг ризику.

Етапи 5 та 6 відносять до вибору захисних регуляторів, інші – до оцінювання ризиків.

Перерахування етапів указує на те, що аналізування ризику – це процес циклічний. По суті, останній етап – це оператор кінця циклу, що вказує на повернення до початку. Ризики потрібно постійно контролювати, періодично їх переоцінюючи, це так званий "процесний підхід", у якому вихідні дані попереднього етапу є вхідними даними для наступного.

4.1.1. Вибір об'єктів для аналізування та методу оцінювання ризику

Ряд потенційно небезпечних промислових об'єктів, що експлуатують на території України, були запроектовані згідно з чинною на той час нормативною документацією без детального вивчення відповідних геолого-геофізичних характеристик територій їхнього розміщення. За даними МАГАТЕ таку ситуацію спостерігають також і на деяких енергетичних об'єктах країн Східної Європи [275, 307]. Як **об'єкт для аналізування** розглянемо АЕС, для них взята до уваги інформація щодо:

➤ результатів проведеного дослідження (на момент проектування і будівництва; додаткової вивченості та уточнення під час функціонування і майбутнього виведення з експлуатації) за такими напрямками: сейсмотектонічні та сейсмогеологічні дослідження; сейсмічне мікрорайонування за методами сейсмічних жорсткостей, реєстрації мікросейсм і вибухів, інженерно-геологічних аналогій; геоморфологічні та неотектонічні дослідження; тектономагнітні дослідження; ізотопно-гідрохімічні та геодезичні дослідження;

➤ зони сейсмічності, до якої відносять територію розміщення майданчика АЕС на основі дослідження з детального сейсмічного районування та сейсмічного мікрорайонування;

➤ класифікації стану будівель і споруд АЕС (наявність тріщин, деформацій, підтоплення). За відсутності паспортизованих даних використаємо умовні моделі.

Результати робіт з вибору та аналізування **об'єкта** подано в [27, 29, 37–38, 45–49, 65, 98, 154, 193–194, 196, 217, 254], на прикладі АЕС розглянуто вимоги до оцінки сейсмічної небезпеки територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів; питання сейсмічного райо-

нування території України та питання щодо сейсмотектонічної активності СЄП як території, де розташована значна кількість об'єктів ядерно-паливного циклу.

Визначено, що такі методи для оцінки сейсмічного ризику потенційно небезпечних об'єктів [1, 29, 60, 71, 78, 85, 200], як **інженерний, модельний, експертний та соціологічний** доцільно застосовувати в комплексі.

Інженерний метод базується на статистиці, розрахунку частот, імовірнісному аналізі безпеки, побудові "дерев подій/відмов", тобто кількісно оцінюють ризик. Основа підходу – побудова множини сценаріїв з наступним оцінюванням частоти реалізації кожного сценарію та визначенням масштабів наслідків впливів ризикових явищ. Як показує досвід, основними перевагами є інформативність, наочність і можливість декомпозиції, однозначність розуміння і зручність комп'ютерної обробки, можливість наступної формалізації аж до застосування математичних моделей.

Модельний метод базується на побудові моделей взаємодії чинників ризику на окрему людину, соціальні, професійні групи тощо. При подальшому аналізі для одержання потрібних кількісних показників застосовують правила додавання і множення ймовірностей подій. Імовірність P суми подій A_1 і A_2 (на прикладі двох подій) виражена формулою:

$$P\{A_1 + A_2\} = P\{A_1\} + P\{A_2\} - P\{A_1 A_2\}. \quad (4.1)$$

В окремому випадку, коли систему подій A_1, A_2, \dots, A_k складають лише із несумісних подій (тобто ніякі дві з них не можуть настати одночасно), використовують формулу

$$P\{\sum_{i=1}^k A_i\} = \sum_{i=1}^k P\{A_i\}, \quad (4.2)$$

Імовірність добутку подій (на прикладі двох подій)

$$P\{AB\} = P\{A | B\} \cdot P\{B\}, \quad (4.3)$$

де $P\{A | B\}$ – умовна ймовірність події A (за умови, що подія B уже має місце).

В окремому випадку, коли події A_1, A_2, \dots, A_k взаємно незалежні, справедлива формула

$$P\{A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_k\} = P\{A_1\} \cdot P\{A_2\} \cdot \dots \cdot P\{A_k\}. \quad (4.4)$$

Під час вирішення багатьох практичних задач трапляються випадки, коли обчислити ймовірність події A прямим шляхом важко або неможливо, у той час як обчислення умовних ймовірностей цієї події є цілком реальним. У випадку, якщо умови B_1, B_2, \dots, B_k , коли відомі

(або легко обчислюються) умовні ймовірності події A , становлять повну систему подій, для розрахунку ймовірності $P\{A\}$ можна використовувати співвідношення – формулу повної ймовірності:

$$P\{A\} = \sum_{i=1}^k P\{A | B_i\} \cdot P\{B_i\}. \quad (4.5)$$

Експертний метод визначає ймовірність різних подій на основі опитування досвідчених фахівців-експертів. Отже, беручи до уваги значну кількість чинників, що впливають на ризик людського життя в результаті прояву землетрусу, необхідно зібрати дані, що охоплюють широкий спектр проблем. Експертна думка є обов'язковою щодо таких питань:

- частота виникнення та сила впливу ймовірних землетрусів;
- стан ґрунтів;
- сплановане використання територій під будівництво з урахуванням їхньої сейсмічної уразливості;
- виробничі системи та їхня сейсмічна уразливість;
- громадські та соціальні системи;
- загальна здатність реагування на надзвичайні ситуації;
- здатність реагування на надзвичайні ситуації медичного обслуговування;
- забезпечення пожежними бригадами;
- імовірність пожежі в післяземлетрусний період;
- імовірність зсувів у післяземлетрусний період.

Соціологічний метод базується на опитуванні населення.

4.1.2. Ідентифікація загроз

Основними природними чинниками, що впливають на безпеку АЕС, як було зазначено в розд. 2.2, є географічні, кліматичні, гідрологічні, гідрогеологічні, геологічні та сейсмотектонічні умови.

Перший крок в аналізуванні загроз – їхня ідентифікація. Доцільно виявити не тільки загрози, але й джерела їхнього виникнення – це допоможе вибрати додаткові захисні заходи.

Отже, під час визначення рівнів природного ризику для потенційно небезпечних об'єктів України реальними загрозами можна вважати:

- повені та підтоплення, що спричиняють аварійні і надзвичайні ситуації, які можуть уразити елементи потенційно небезпечних об'єктів, розміщених у долинах річок або на низьких терасах;
- ерозійні та руслові процеси, що спричиняють руйнування елементів, у першу чергу лінійних споруд: доріг, трубопроводів, підвідних переходів, штучних насипів доріг, фундаментів будівель і споруд;

- схиліві процеси, у першу чергу зсуви, обвальні та обвальньо-обсипні, що загрожують лінійним спорудам і площинним елементам інфраструктури – промисловим майданчикам і резервуарним паркам;
- карстові процеси, просідання та провали, деформація фундаментів та основ, спровокована прискорена ерозія.

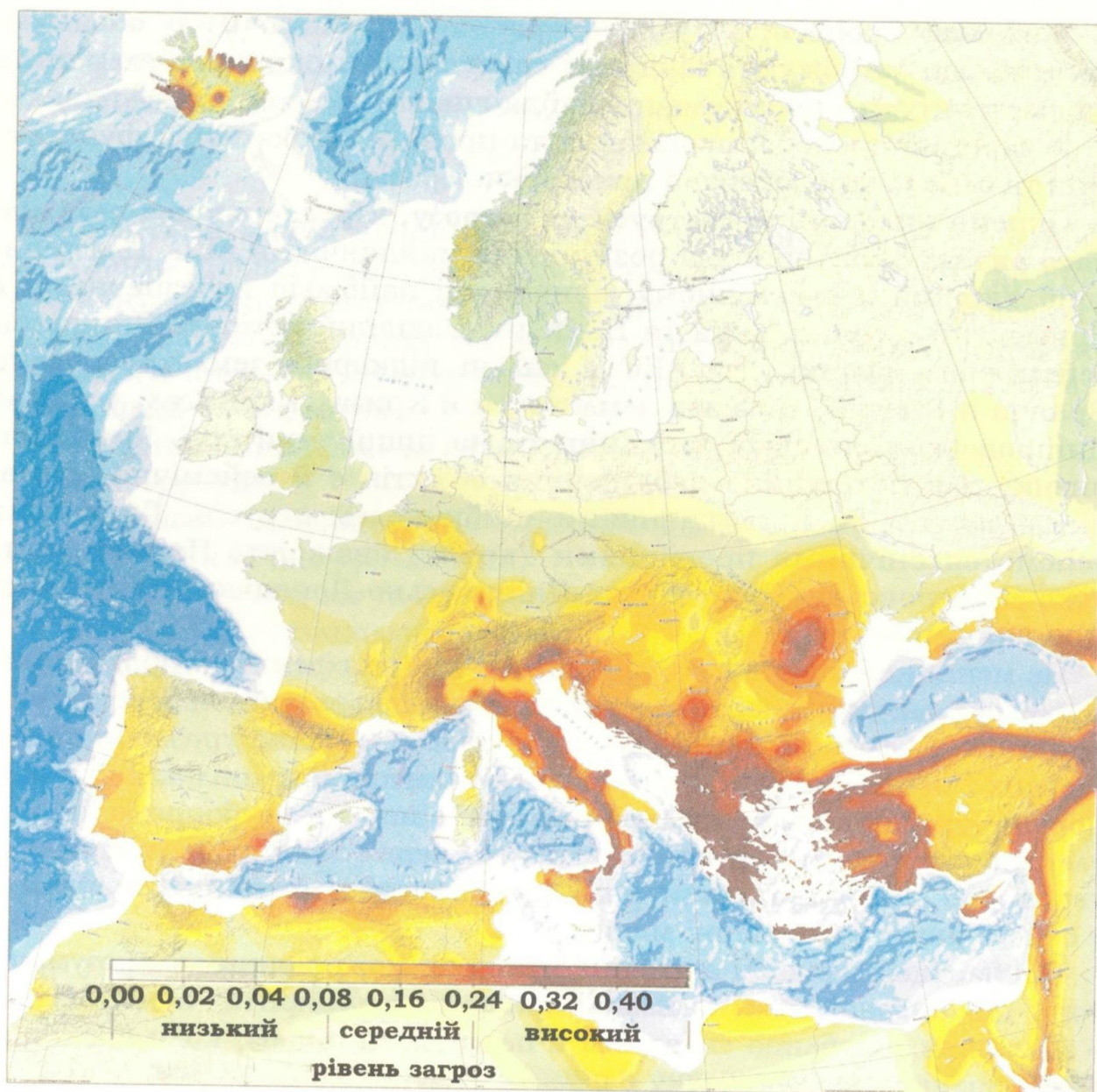
Окремо виділимо **землетруси як загрозу, характерну для сейсмічного ризику** територій для розміщення майданчиків АЕС. Для території України в сейсмічному відношенні найбільш небезпечними є Кримський, Карпатський та Південно-Західний регіони. Чинником сейсмічного ризику для АЕС є сильні підкорові землетруси зони Вранча в Румунії, локальні землетруси в Криму, Карпатах, у межах Дніпровсько-Донецької западини та на іншій території. Чинником ризику для потенційно небезпечних об'єктів є й сейсмічна активність, пов'язана зі скупченнями слабких землетрусів. Головними сейсмотектонічними провінціями України вважають Передкарпатсько-Дністровську, Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецьку та Північно-Причорноморську.

Не менш небезпечними є непрямі сейсмічні ефекти – спровоковані землетрусами зсуви, обвали, карстові явища, розущільнення та розповзання тіл гребель, дамб і насипів тощо. Особливо уразливими для прямих і непрямих сейсмічних і сейсмотектонічних впливів є транспортно-комунікаційні інженерні мережі – шляхи, трубопроводи, лінії електропередач і наземного зв'язку, що через свою природу і велику територію не можуть бути розміщені тільки в окремих, безпечних у сейсмічному відношенні місцях.

Під час ідентифікації активних чинників може виникнути розуміння того, що вибрані межі аналізування треба розширити, а деталізацію – збільшити. Особливо складним є первинний аналіз, коли багаторазове повернення до початку є неминучим.

4.1.3. Аналізування загроз та їхніх наслідків, визначення "слабких" місць у захисній системі

Результатом виконання програми Європейської сейсмологічної комісії за проектом 382 SESAME стала карта сейсмічної небезпеки територій Європейсько-Середземноморського регіону, фрагмент якої подано на рис. 4.2. Але не виключена можливість, що в районах підвищеної активності деякі сейсмогенні структури можуть бути не виявлені, оскільки можуть існувати без помітних проявів у поверхневих або підповерхневих шарах унаслідок впливу чинника часу.



**Рис. 4.2. Карта сейсмічної небезпеки територій
Європейсько-Середземноморського регіону за даними ESC 2000.**
(Кольорами показані прискорення в m/s^2 ,
які з імовірністю 90 % не будуть перевищені)

Для розробки сценаріїв небезпечних процесів застосуємо системний підхід до визначення рівнів сейсмічного ризику території розміщення АЕС України [37, 47, 49–50, 275, 306]. Для цього потрібні відомості про:

- ідентифікацію джерел локальних землетрусів (джерела енергії, розломи, що є в радіусі до 300 км);
- тривимірні моделі (карти глибинної будови території, сегментація ділянок);

- урахування землетрусів максимальної дії (історичні відомості про землетруси, сегментацію території на ділянки з тріщинами та розломами, схожість тектонічної будови територій);
- періодичність землетрусів на певних ділянках (бальність, струшуваність території, специфікація розломів);
- приріст сейсмічної бальності з урахуванням конкретних інженерно-геологічних умов (РГВ, властивості ґрунтів і резонансні явища);
- специфікації ґрунтових переміщень (зсувів) щодо проектних критеріїв (багатофакторний зв'язок між місцем локалізації, джерелом та магнітудою, емпіричний та кількісний підходи до оцінювання ґрунтових переміщень, урахування спектрального складу коливань ґрунту).

4.1.4 Оцінювання ризику

Оцінку сейсмічної уразливості базують на розкритті змісту сейсмічного балу через 12-бальну сейсмічну шкалу MSK-64, до якої були додані експертні оцінки реакції будівель і споруд з антисейсмічним підсиленням на землетруси різної інтенсивності [97, 165, 200, 241, 262–263]. Відповідно виділено сім категорій за сейсмостійкістю (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Категорії сейсмостійкості [97]

Категорія	Тип споруд
А	Споруди з глинобитними стінами, стінами із цегли-сирцю або порваного каменя на глиняному розчині без дерев'яного каркасу
Б	З глиняної обпеченої цегли чи каменя правильної форми на розчині марки 10 і нижче; споруди групи А, укріплені дерев'яним каркасом
В	Дерев'яні щитові, каркасні зі щитовим заповненням споруди з несучими стінами із цегли або каменя правильної форми на розчині марки 25
Г	Великоблочні та каркасні споруди, що мають неповне антисейсмічне підсилення, дерев'яні будинки
Д	Великопанельні будинки, спроектовані з розрахунку на 7 балів
Е, Ж	Будинки та споруди, спроектовані на 8 і 9 балів відповідно

Оцінюючи величину збитків, потрібно враховувати не тільки безпосередні витрати на заміну обладнання та систем потенційно небезпечного об'єкта. Потрібно оцінити так зване "накладання впливу", спричиненого техногенними чинниками, на "цінність" природного фону – реципієнта впливу, та накласти витрати, пов'язані з відселенням і облаштуваністю людей, із транспортною доставкою медикаментів, продуктів харчування, витрати на роботу сил порятунку і життєзабезпечення. В Україні в зоні можливого несприятливого впливу в разі аварії на потенційно небезпечному об'єкті розміщується велика кількість реципієнтів соціального, природного та культурного значення: населені пункти, ділянки залізниць, автомагістралі; озера та річки, що мають природно-господарське значення; інші об'єкти.

Отже, для розрахунку рівнів сейсмічного ризику використовують дані щодо фізичних ефектів небезпечних явищ (напр., наслідків землетрусів) [37, 97, 200]:

- медичного стану – **соціальний ризик** (кількість населення в розрахунковому регіоні, загальні збитки, незворотні втрати, санітарні збитки);
- інженерного стану – сейсмічна уразливість будинків і споруд, розрахована за їхньою сейсмостійкістю відносно MSK-64 (інформація про кількість ушкоджених будинків і споруд, кількість пожеж, аварій, протяжність заблокованих проїздів);
- необхідних ресурсів життєзабезпечення (рятувальних механізмів, санітарних дружин, медичної допомоги та невідкладних робіт пожежників, аварійно-технічних бригад, забезпечення охорони громадського порядку та комендантна служба).

Сейсмічний ризик щодо потенційно небезпечних об'єктів (напр., АЕС) може визначатися такими складовими, як:

- ризик людського здоров'я на довгому та короткому проміжках часу;
- ризик природного середовища (флора і фауна);
- ризик в екосистемі в цілому;
- ризик майна (активів);
- ризик надрокористування.

Оцінювання ризику дає можливість отримати відповіді на два питання: чи прийнятні існуючі ризики, а якщо ні, то які захисні заходи потрібно та економічно вигідно запровадити. Оцінка має бути кількісною, що припускає порівняння з раніше вибраними границями прийнятності та витратами на реалізацію нових регуляторів безпеки. Можливим для розрахунку сейсмічного ризику є показник, що визначають множенням ймовірності існування загрози на передбачені збитки [97, 103]. Сейсмічний ризик в економічному вираженні визначають як сумарні збитки (в грошовій формі) від землетрусів різної інтенсивності, що відбуваються на певній території.

При цьому мінімальна інтенсивність струшувань I , а максимальна I_{\max} дорівнює максимальному сейсмічному ефекту, що визначають за даними СМР. Може бути використана формула (4.6) [97, 103]

$$R = \sum_I^I P(I) \cdot Y(I) / S, \quad (4.6)$$

де R – сейсмічний ризик в економічному вираженні; $P(I)$ – імовірність виникнення землетрусу з інтенсивністю I балів за рік; $Y(I)$ – очікувані збитки від землетрусу з інтенсивністю I , визначені за формулою (4.7); S – площа території розрахунку сейсмічного ризику, км²:

$$Y(I) = \sum_i [N(i) \cdot N(i) \cdot E(i)], \quad (4.7)$$

де $N(i)$ – кількість будівель категорії i ($i = 1, 2, \dots, 7$); $E(i)$ – середня вартість будівель i -ї категорії.

Для оцінювання соціальних наслідків використовують поняття індивідуального сейсмічного ризику, розрахованого за аналогією з індивідуальним ризиком від негативного впливу небезпечних природних і техногенних процесів, і може бути використана формула [97, 103]

$$R_{in} = \sum_I^{I_{MP3}} P(I) \cdot L(I) / P_H, \quad (4.8)$$

де $L(I)$ – соціальні збитки при бальності I , що можуть бути визначені за формулою (4.9); P_H – густина населення.

$$L(I) = \sum_I P(H) \cdot \sum_k N_k \cdot C(k, I), \quad (4.9)$$

де N_k – кількість людей, які мешкають у будівлях типу k ; $P(H)$ – усереднена ймовірність перебування людини в будівлях (житлових і виробничих); $C(k, I)$ – ступінь уразливості.

Г.Л. Коффом у [103] встановлено, що через 1 год після землетрусу 40 % загальної кількості загиблих і тих, хто отримав тяжкі травматичні ушкодження, відносять до безповоротних втрат, а через 6 год – 95 %. Ці цифри свідчать про актуальність розроблення превентивного плану з метою зменшення кількості жертв від можливих землетрусів. Основою для розроблення такого плану має бути оцінка можливих людських втрат від землетрусу і характеру можливих травм залежно від землетрусу.

Одним із методів прогнозування можливих людських втрат є оцінювання на основі розробки карти життєнебезпечного ризику, запропонованої А.В. Товмасяном [233], кожна частина якої характеризується оцінкою можливих людських втрат за такими складовими:

- безповоротні людські втрати (U^{BB});
 - унаслідок запізнення потрібної допомоги людям, що перебувають під уламками зруйнованих будівель і споруд (U^3);
 - унаслідок незабезпечення невідкладної евакуації (U^E);
 - унаслідок незабезпечення потрібними засобами захисту (U^{33});
 - унаслідок відсутності невідкладної медичної допомоги (U^M).
- Територію дослідження характеризують матрицею [107]

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i = \overline{1, I}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (4.10)$$

де a_{ij} є елементом території з координатами центру (i, j) .

Позначимо через P_c , де $c = \overline{1, C}$, (C – кількість сейсмічних зон землетрусів) – імовірність виникнення землетрусу в c -й зоні, через $U_c^{\mathcal{J}}$ (i, j), $c = \overline{1, C}$, $j = \overline{1, J}$ – кількість людських втрат від можливого землетрусу в c -й зоні на частині території з координатами центру (i, j) .

Позначимо через $U_c^{BB}(i, j)$, $U_c^3(i, j)$, $U_c^E(i, j)$, $U_c^{33}(i, j)$, $U_c^M(i, j)$ можливу кількість людських втрат унаслідок згаданих вище чинників від можливого землетрусу в c -й зоні на частині території з координатами її центру (i, j) .

Застосувавши ці позначення, оцінка життєнебезпечного ризику на частині території з координатами центру (i, j) матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} R^{\mathcal{J}}(i, j) &= \sum_{c=1}^c P_c U_c^{\mathcal{J}}(i, j) = \\ &= \sum_{c=1}^c P_c \left[U_c^{BB}(i, j) \cdot U_c^3(i, j) \cdot U_c^E(i, j) \cdot U_c^{33}(i, j) \cdot U_c^M(i, j) \right]. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Оцінка життєнебезпечного ризику для об'єкта, що займає певну компактну частину території та характеризується певною підмножиною точок охоплення території $A'B \subset A$, $A'B = \|a_{ij}\|$, розраховують за формулою

$$\begin{aligned} R_{(i,j) \in A}^{\mathcal{J}} &= \sum_{(i,j) \in A} \sum_{c=1}^c P_c U_c^{\mathcal{J}}(i, j) = \\ &= \sum_{(i,j) \in A} \sum_{c=1}^c P_c \left[U_c^{BB}(i, j) \cdot U_c^3(i, j) \cdot U_c^E(i, j) \cdot U_c^{33}(i, j) \cdot U_c^M(i, j) \right]. \end{aligned} \quad (4.12)$$

Залежно від кількості розрахункових варіантів для ймовірності існування загрози та збитків ризику слід класифікувати на прийнятний, середній та високий рівень ризику.

Для показників високого рівня ризику потрібні додаткові захисні заходи.

Визначення рівнів сейсмічного ризику включає як заходи оцінювання фактичної сейсмостійкості існуючої забудови, так і здійснення антисейсмічного захисту. Якісне виконання проектів сейсмopідсилення можливе за умови наявності повної інформації про технічний стан потенційно небезпечного об'єкта в цілому та окремих його конструктивних елементів. Прийняття проектних рішень без достовірних і повних даних про фактичний стан будівельних конструкцій в одному випадку може суттєво перевищувати обсяги капіталовкладень, а в іншому – призвести до катастрофічних наслідків з численними людськими втратами.

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ МАЙДАНЧИКІВ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Питання безпеки на всіх етапах життєвого циклу потенційно небезпечних в екологічному відношенні об'єктів є темою дослідження як за кордоном, так і в Україні [6, 29, 139, 275, 302, 305–307, 309]. Результати цього дослідження дозволять підвищити рівень культури безпеки, захистити персонал, населення і довкілля від потенційної небезпеки, що може виникнути під час експлуатації таких об'єктів. Вирішення питання забезпечення сейсмостійкості обладнання АЕС на сучасному етапі полягає у визначенні сейсмічності майданчиків і сейсмостійкості споруд, підвищенні, у разі потреби, рівня сейсмостійкості обладнання на основі нових знань, досягнень науки і техніки, нормативного регулювання і ліцензування діяльності в галузі використання атомної енергії. Усе це потребує диференційованого підходу до аналізу і забезпечення сейсмостійкості АЕС, що експлуатують, з урахуванням старіння, відмов і зношування їхнього обладнання та трубопроводів, і АЕС, що проектують, відповідно до вимог регулюючих документів.

Під час такого дослідження будують формальні математичні моделі, що відображають особливості процесів виникнення та усунення відмов систем, проводять якісний та кількісний аналіз ризику, визначають критичні елементи, відмови яких найбільше впливають на надійність систем, здійснюють перевірку виконання вимог до показників надійності та безпеки систем і визначають заходи для підвищення надійності, якщо вимоги не виконуються [75].

На усунення існуючих видів небезпеки як природного, так і техногенного походження, потрібна певна частка матеріальних ресурсів суспільства. Їхньому раціональному використанню, як було вже зазначено у попередніх розділах, сприяє аналізування ризиків, що враховує взаємозв'язок економічних, соціальних, екологічних і демографічних чинників, які характеризують рівень розвитку суспільства.

Матеріали, присвячені розгляду основних теоретичних підходів до розробки методики аналізу сейсмічного ризику, зокрема для територій розміщення АЕС, були подані на наукових конференціях та описані в роботах [37, 47–50, 84]. Як відмічено в розд. 3, для аналізування та оцінювання сейсмічного ризику територій розміщення майданчиків потенційно небезпечних об'єктів було запропоновано використовувати системний підхід і комплексне застосування імовірнісного аналізу безпеки, ризик-аналізу і теоретичних основ створення моніторингу АТС. На основі цього була проведена спроба кількісно та якісно наповнити теоретичну модель "забезпечення безпеки" як варіанта практичної реалізації методики аналізу сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти в аспекті сейсмічної безпеки територій їхнього розміщення.

Технології оцінювання сейсмічної безпеки ділянок земних надр залишаються поки що недостатньо розробленими [163]. Критерії безпеки, з погляду сучасних сейсмологів на цей предмет, різноманітні. У першу чергу, оцінки базуються на історії сейсмічних подій – каталозі землетрусів району. Крім того, застосовують методи виділення та оцінювання безпеки локальних зон ВВЗ і оцінки максимальних магнітуд M_{MAX} землетрусів у межах платформної території. Установлюють критерії виділення локальних зон ВВЗ і оцінювання M_{MAX} за геодинамічними даними в умовах дефіциту сейсмологічної інформації. Визначають склад дослідження геодинамічних зон і обґрунтування розміщення майданчика АЕС у межах блока земної кори, не порушеного активними розломами.

Як було зазначено в розд. 4, аналізування сейсмічного ризику полягає в послідовному виконанні таких етапів: вибір об'єкта для аналізу і методу оцінювання ризику; ідентифікація загроз; аналіз загроз та їхніх наслідків шляхом використання сценаріїв і алгоритмів для визначення слабких місць у захисній системі; одержання попередньої оцінки ризику та розробка на її основі нових захисних засобів; реалізація і перевірка обраних захисних засобів; установлення оцінки ризику (диференціального або інтегрального), моніторинг ризику [47]. У цій ситуації аналізування сейсмічного ризику включає оцінку джерела безпеки і визначення цієї безпеки за рівнем наслідків впливу на потенційно небезпечні об'єкти, населення і довкілля.

Для розуміння принципів підходів до аналізування сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів у цій роботі застосовані терміни: **сценарій** та **алгоритм**, що взаємозалежні, і розгляд яких становить один з етапів дослідницької стадії аналізу безпеки у випадку прояву ризикового явища [37, 49, 84, 259]. За допомогою

цих визначень можливим є вивчення більшої кількості чинників та їхньої взаємодії з певним об'єктом у випадку ймовірного землетрусу. Це вхідна інформація для етапів оцінювання, а потім аналізування сейсмічного ризику, що безпосередньо пов'язано з аварійністю об'єктів і загрозою персоналу і населенню. "Сценарій" описує теоретичну або емпіричну модель розвитку "аварійної" ситуації в глобальному або локальному масштабі, це деяка нормована відносна модель процесу. "Алгоритм" допускає застосування певного сценарію, що за умови насичення реальною вимірювальною інформацією може бути замінений на інший з наступною адаптацією алгоритму (рис. 5.1).

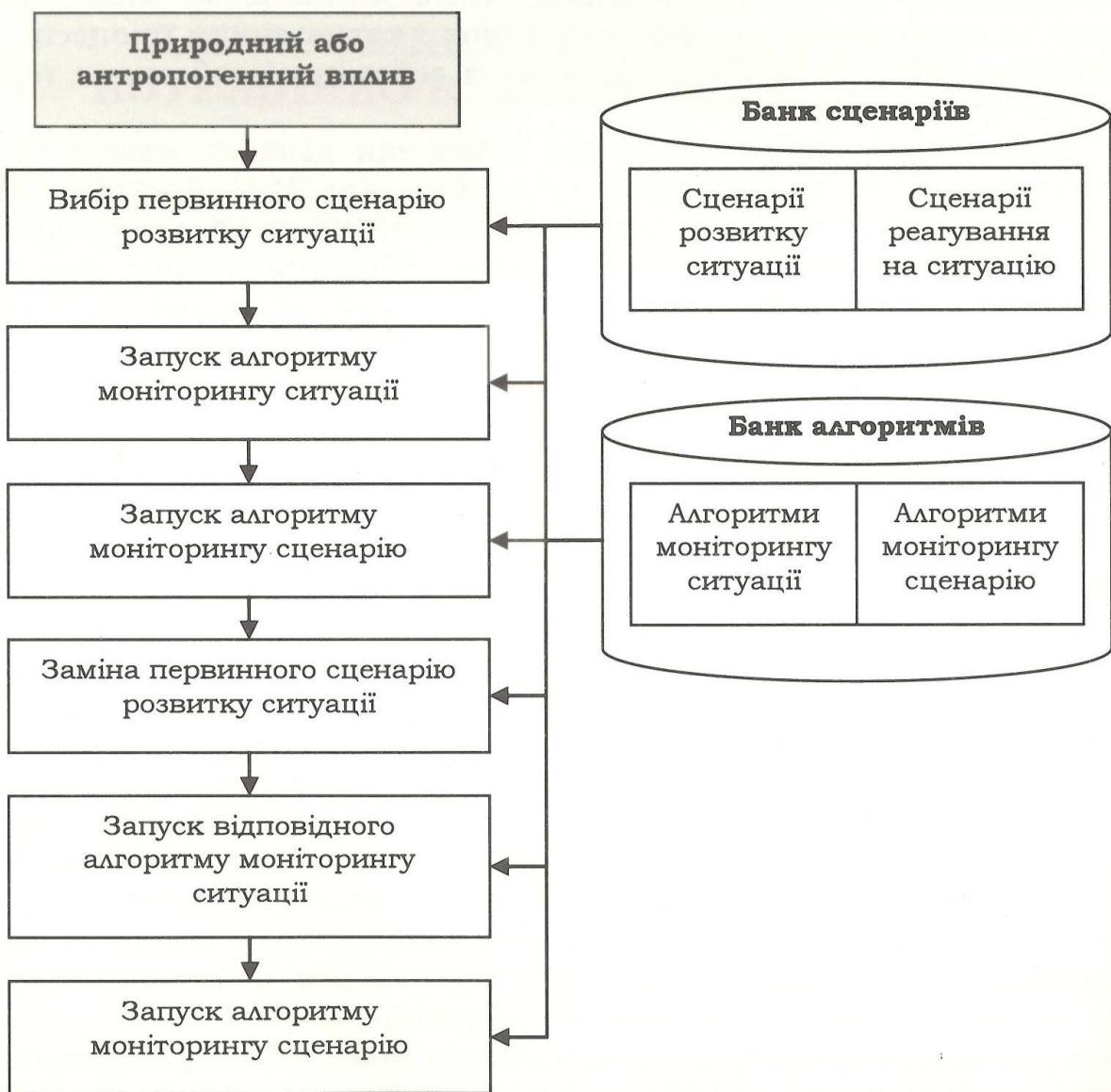


Рис. 5.1. Алгоритм роботи системи контролю за небезпечною ситуацією (принцип аналізування ситуації та оцінювання наслідків впливу ризикових явищ на потенційно небезпечні об'єкти) [50, 84]

Аналізуючи сучасні підходи до розв'язання проблем безпеки населення і країни в разі ймовірного негативного впливу з боку антропогенних і природних джерел небезпеки (впливу ризикових явищ) відмічено, що пріоритетний розвиток має напрямок розробки сценаріїв, а питання алгоритмів виконання цих сценаріїв недостатньо розроблені.

Варто враховувати, що величина можливого впливу землетрусів на АЕС та інші об'єкти різна, але може виявлятися достатньою для створення потенційно небезпечних умов експлуатації. Аналіз чинників, які впливають на рівень сейсмічного ризику, підтверджує, що значний внесок у можливі негативні наслідки землетрусів роблять: сейсмічна небезпека, густина населення та вразливість об'єктів.

Перейдемо до оцінки сумарного ефекту, викликаного впливом землетрусу на об'єкт за певний період часу T . Під ефектом розуміємо кількісну величину збитків від землетрусів, а під об'єктом – сукупність цінностей, розміщених і розподілених у сейсмічній зоні [215–216]. Ефект розглянемо як випадкову величину з уявленням про стохастичну природу землетрусів та їхній вплив за такими елементами:

- місце виникнення;
- тип, магнітуда, глибина джерела тощо;
- частота виникнення;
- площа впливу.

Розрахувати сейсмічний ризик можна через функцію сумарного ефекту $F_T(x)$, при цьому ризик $R_T(x)$ визначає ймовірність того, що ефект перевищить прийнятний рівень x . Для цього може бути використана формула [216]

$$R_T(x) = 1 - F_T(x). \quad (5.1)$$

Одним із підходів до вирішення завдання сейсмічного убезпечення є сейсмічне районування території країни в цілому і відповідно "контрольованих" територій, де вже розміщені або заплановано розміщення потенційно небезпечних об'єктів. Ці роботи є обов'язковим елементом вивчення сейсмічного режиму території. Оцінювання сейсмічної небезпеки території – це оцінювання параметрів розподілу ймовірності сейсмічного впливу за його інтенсивністю у просторі і часі, а їхнє відображення на карті забезпечує розуміння сейсмічного районування. Також для оцінювання можливості активізації геодинамічних процесів на майданчиках АЕС розглядають результати моніторингових спостережень за тектонічними рухами, інформацію з локальних мереж сейсмостанцій та інших мереж (геофізичних, гідрогеологічних і геохімічних спостережень), а також спеціалізованих геодинамічних полігонів.

З погляду на той факт, що структуру сейсмічної небезпеки визначають внеском двох складових – первинної і вторинної небезпеки, значимо, що первинна небезпека зумовлена впливом чинників, пов'язаних із землетрусом, а вторинна – процесами та явищами, спричиненими первинними чинниками.

Традиційно як шкалу, за якою вимірюють (прогнозують) інтенсивність землетрусів, використовують MSK-64, у деяких країнах застосовують свої шкали інтенсивності землетрусів. На жаль, існує складність розрахунків кількісної оцінки прояву землетрусу, пов'язана з різноманітністю типів забудови, відмінностями характеру коливань залежно від енергії, глибини та механізму вогнища, відстанню від епіцентру та будови середовища. Важливим є врахування (шляхом моніторингу та управління) стану ЛТС потенційно небезпечного об'єкта. На сьогоднішній день складність виникла під час порівняння інструментальних і макросейсмічних даних через брак інформації [50, 84].

З іншого боку, як один з елементів оцінки сейсмічної небезпеки поставлено завдання оперативного кількісного оцінювання сейсмічного впливу на контрольовану територію та об'єкти. Для вирішення цього завдання розроблено механізм оперативної оцінки "сейсмічної ситуації" для контрольованих територій і об'єктів у режимі обробки сейсмічних даних про землетрус. Результати оцінювання можуть бути використані для складання оперативного прогнозу стану певного об'єкта безпосередньо після сейсмічного впливу для реалізації, за потреби, адекватних заходів з ліквідації або запобігання негативних наслідків.

Розглянемо регіон як єдину територіально розподілену систему, що складається з n , $n \in N = \{1, \dots, n^*\}$ районів (частин регіону). У районах регіону розташовані об'єкти різних категорій (типів) з позиції небезпеки (джерела ризику), наприклад джерела радіоактивної небезпеки (антропогенного впливу), що у випадку відмови або аварії можуть призвести до небезпечних (катастрофічно небезпечних) наслідків не тільки для району їхнього розміщення, але й для регіону в цілому [75].

Такими елементами різних категорій можуть виступати поодинокі джерела ризику: потенційно небезпечні об'єкти, а також небезпечні події, що можуть виникнути під час транспортування, видобутку, переробки і захоронення радіоактивних відходів. Джерела ризику з позиції регіону являють собою систему об'єктів, що впливають один на одного і на загальний рівень небезпеки в регіоні.

Розглянемо узагальнений підхід до розв'язання задачі забезпечення населення і країни від імовірного прояву ризикового явища. На рис. 5.2 виділено основні елементи системи "забезпечення безпеки" [50, 84]:

➤ "апріорний час" – поєднує в собі комплекс попередніх робіт щодо створення теоретичних моделей безпеки для різних типів контрольованих об'єктів і набір розрахованих сценаріїв розвитку ситуації. Кількість сценаріїв залежить від об'єктивних і суб'єктивних початкових даних і постановки завдання;

➤ "режим реального масштабу часу" (РЧ) – забезпечує "систему" оперативними кількісними даними для адаптації сценарію до реальних умов розвитку ситуації й первинної кількісної оцінки ситуації (інформація рівня РЧ);

➤ "режим оперативного масштабу часу" (ОЧ) – забезпечує одно- або багаторівневе уточнення даних шляхом проведення додаткових вимірів, залучення більш удосконалених алгоритмів обробки даних, додаткової інформації з різних джерел;

➤ "інтерфейс..." – схематично являє собою порядок взаємодії з користувачами інформації та джерелами додаткових даних.

5.1. МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ

Для визначення рівнів сейсмічного ризику використовують:

- модель розподілу землетрусів за часом, простором і магнітудою;
- модель сейсмічного впливу;
- модель, що характеризує опір об'єктів впливові ризикового явища.

Комплексне застосування цих моделей дає можливість оцінити наслідки первинного і вторинного впливу ризикових явищ, включаючи медичний, інженерний, пожежний та радіаційний стан, а також спрогнозувати рівень індивідуального ризику для населення.

5.1.1. Модель розподілу землетрусів за часом, простором і магнітудою

– Як модель розподілу землетрусів за часом, простором і магнітудою використаємо карти ЗСР, що прогнозують рівень сейсмічної небезпеки на встановлений період часу для певної території, карту ізосейст землетрусу 1940 р. зони Вранча (рис. 5.3) та графік розподілу землетрусів зони Вранча (рис. 5.4) [215].

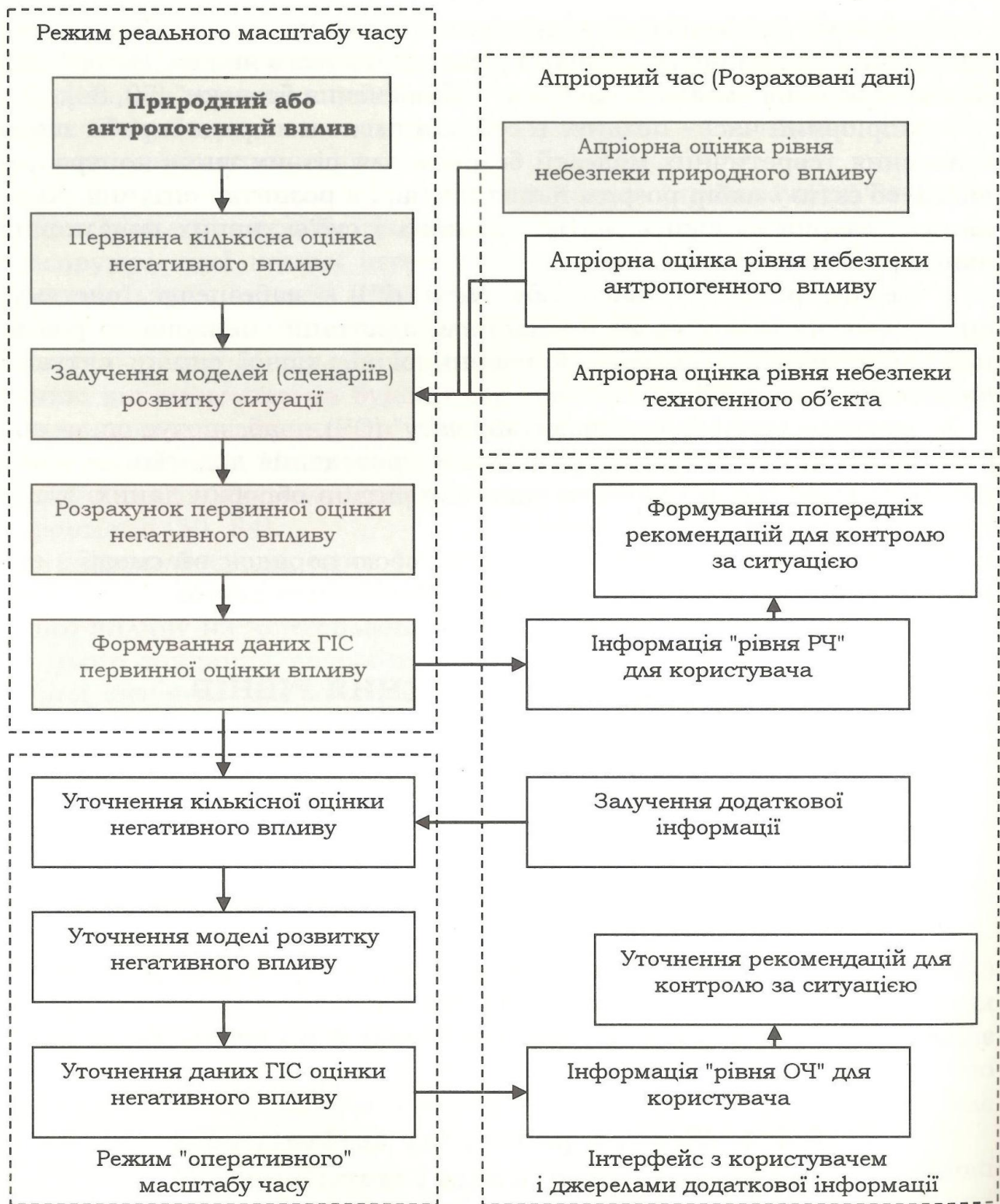


Рис. 5.2. Узагальнена схема роботи системи "забезпечення безпеки"
 (принципи функціонування системи аналізу небезпечної ситуації
 та оцінювання наслідків впливів ризикових явищ
 на потенційно небезпечні об'єкти)



Рис. 5.3. Карта ізосейст землетрусу 1940 р. зони Вранча [215]

На основі накопичених даних (СРСР, США, Японія, Італія, Румунія, Греція) було побудовано інтегральний розподіл [215] землетрусів різної інтенсивності за величиною логарифма максимальної амплітуди прискорення (рис. 5.5).

5.1.2 Модель сейсмічного впливу

Спочатку для моделі сейсмічного впливу на контрольовану територію з визначеною щільністю населення (надалі можна використовувати і всю територію України) розробляють типову (первинну) модель розподілу сейсмічної енергії, що можна подати у вигляді (рис. 5.6) [50, 84].

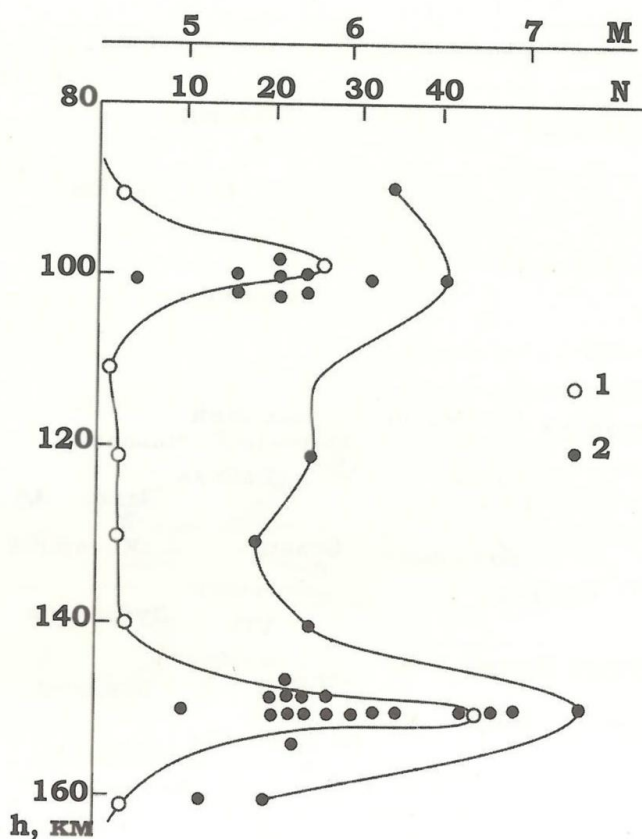


Рис. 5.4. Розподіл кількості N з магнітудою M землетрусів зони Вранча за глибиною та магнітудою [215]:
1 – кількість землетрусів; 2 – магнітуда

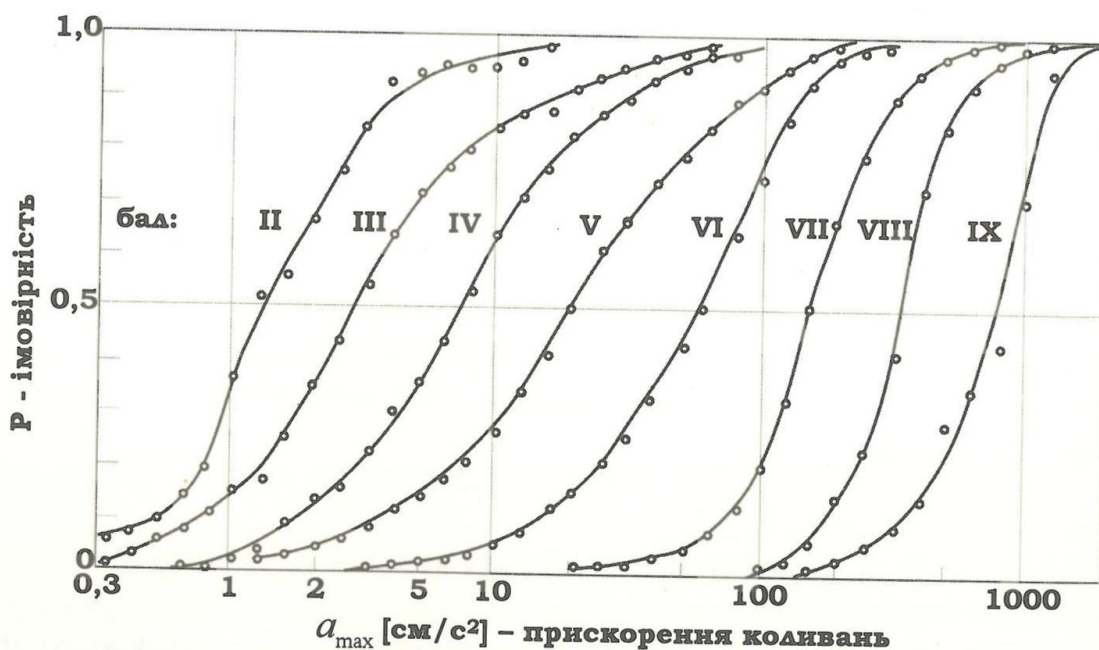


Рис. 5.5. Інтегральний розподіл максимального прискорення коливань ґрунту для землетрусів різної інтенсивності [215]

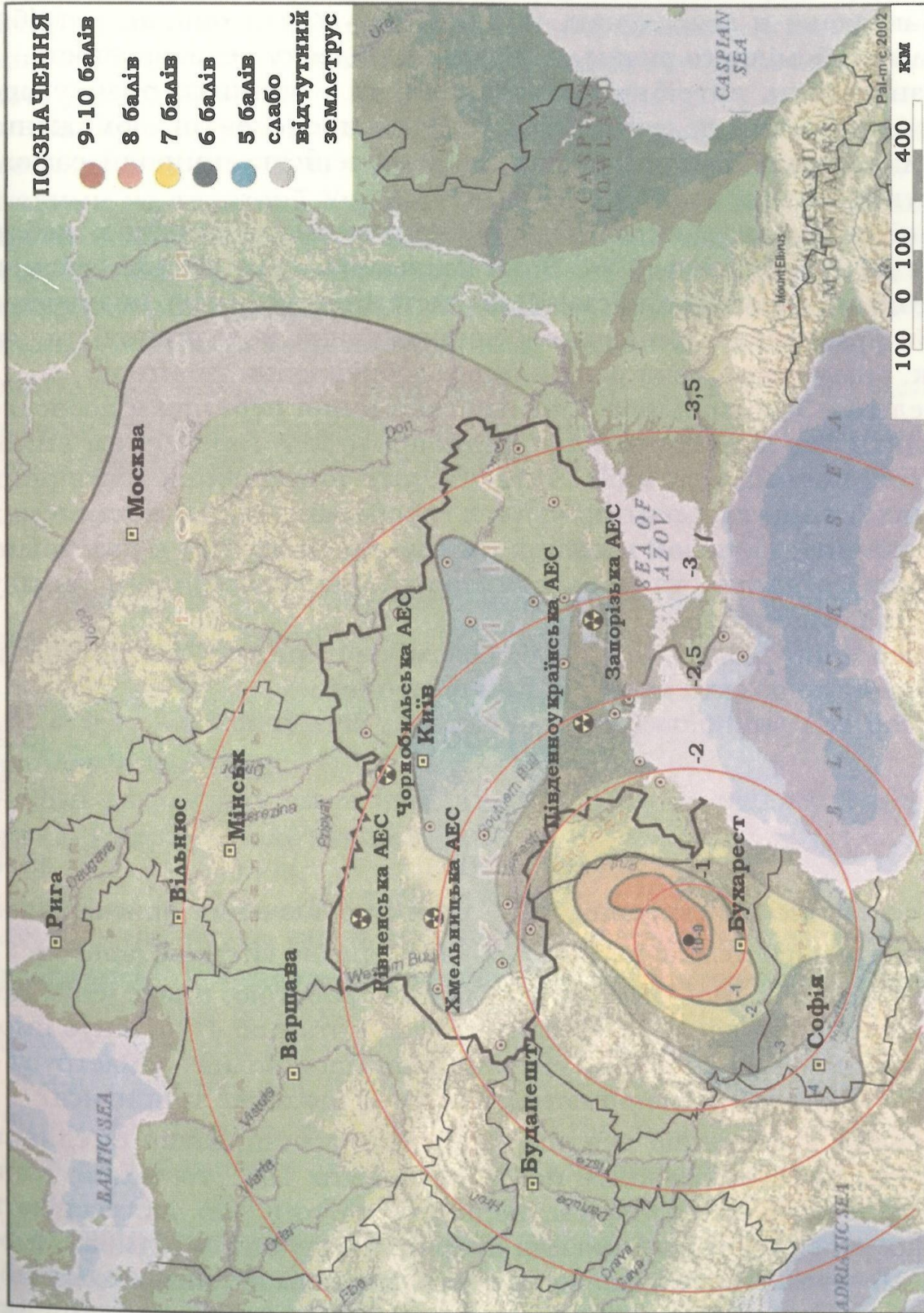


Рис. 5.6. Типова модель розподілу енергії сейсмічного впливу та азимутальна інтенсивність випромінювання сейсмічної енергії при землетрусі 1940 р. із зони Вранча

Типову модель використовують для початкової оцінки сейсмічного ризику, а потім уточнюють накопиченими даними інструментальних спостережень. Через неповноту бази даних, яка є на сьогоднішній день і закладена в розрахунки, кількісні результати оцінки, потрібні для аналізу сейсмічного ризику, можуть мати деяку невизначеність.

Невизначеність потрібно враховувати, як і чинники ризику, що пов'язані з неточністю даних, відсутністю прецедентів, обмеженими можливостями прогнозування, невизначеністю природи самого досліджуваного явища [259, 307–308].

Головні етапи виконання ймовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки для АЕС наведені в [306]. Вони полягають у визначенні сейсмічної небезпеки; застосуванні методів системного аналізу; визначенні критеріїв уразливості (імовірності пошкодження обладнання) та, як наслідок, визначенні рівня радіаційного забруднення території.

Проведення ймовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки дозволяє підтвердити, що конструкції АЕС відповідають установленим вимогам до сейсмостійкості, визначити частоту виникнення ймовірних ризикових явищ та ідентифікувати проблемні місця в системах АЕС, визначити діапазон можливих переміщень ґрунту в разі впливу ризикового явища та провести порівняння сейсмічного ризику для різних компонентів.

Зробимо припущення, що аналіз сейсмічного ризику для потенційно небезпечного об'єкта включає такі величини:

$$P(g > g_d) = 10^{-4}, \quad (5.2)$$

$$\sum_i P(f/g = g_i) = 10^{-2}, \quad (5.3)$$

$$P(D/f) = 10^{-1}, \quad (5.4)$$

де, g – сейсмічне прискорення, g_d – проектне значення прискорення, f – структурна (системна) відмова, D – небезпечна ситуація (аварія).

Визначення цих імовірностей є складною роботою, проте існує певний міжнародний досвід. Суттєвими є два питання: 1) чи існує ймовірність виникнення аварійної ситуації внаслідок впливу землетрусу – $P(D) = 10^{-7}$? Якщо така ймовірність існує, то 2) що може трапитися?

Розглянемо комбінацію деяких подій. Наприклад, якщо об'єднана ймовірність двох незалежних подій становить 10^{-4} , то нехай вони завжди проходять за сценарієм, подібним до того, що застосовують у термінах імовірності виникнення аварійної ситуації та відмови. Імовірність 10^{-2} землетрусу одночасно з 10^{-2} торнадо не обов'язково можуть призвести до того ж самого сценарію, як 10^{-4} землетрусу (приклад наведений вище).

Усі ці проблеми вимагають проведення моделювання невизначеностей з використанням системної інформації, складеної з надійних даних попередніх спостережень, результатів можливих експериментів і наукових фактів, а також думок і твердження експертів, можливих сценаріїв розвитку подій, позицій громадськості та осіб, які приймають управлінські рішення [50, 84, 102, 259].

На основі накопичених вимірювальних даних за результатами реєстрації землетрусів із зони Вранча сейсмічними станціями, розташованими на території України, побудовані деякі емпіричні залежності інтенсивності прояву землетрусу на різних відстанях від епіцентру і для різної глибини гіпоцентру. Для побудови використані рівняння макросейсмічного поля Н.В. Шебаліна [165], що пов'язують інтенсивність в епіцентрі I_0 та в будь-якому пункті I_R на відстані R від епіцентру, магнітуду M і глибину осередку H . Між інтенсивністю (I_0) в епіцентрі, що виражена в балах, і магнітудою (M) для поверхневих землетрусів існують емпіричні співвідношення:

$$I_0 = 1,7M - 2,2, \quad (5.5)$$

$$M = 0,6I_0 + 1,2, \quad (5.6)$$

Рівняння (5.7) характеризує зв'язок між інтенсивністю коливання в епіцентрі (I_0), магнітудою (M) і глибиною вогнища (H):

$$I_0 = aM - b \log H + c, \quad (5.7)$$

де a, b, c – коефіцієнти, які визначають емпірично для конкретного району землетрусу.

Для розрахунку інтенсивності землетрусу на віддалі R від епіцентру (I_R) формула має такий вигляд:

$$I_R = Am_b - B \lg(\sqrt{H^2 + R^2}) + C, \quad (5.8)$$

де m_b – магнітуда, визначена за повздовжніми хвилями; H – глибина гіпоцентру; R – відстань від епіцентру до "контрольованої" точки.

Ілюстрацією розрахунків для вогнища із зони Вранча є рис. 5.7 (а, б, в), де наведені 3-D графічні зображення залежностей:

➤ а – модель для випадку $m_b = 6,0$ і глибини джерела близько 50 км, масштаб по осях $X, Y \pm 2000$ км, розрахункова інтенсивність у джерелі становить близько 6,5 балів за шкалою MSK-64;

➤ б і в – окремі випадки моделей розподілу сейсмічної енергії. У першому випадку модель розрахована для магнітуди $m_b = 5$ і глибини джерела 30 км (інтенсивність в епіцентрі близько 3,5–4 балів, масштаб по горизонталі 3 000 км), у другому – для магнітуди $m_b > 6,5$ і глибини джерела 80 км (інтенсивність в епіцентрі більше 7 балів,

масштаб по горизонталі 2 000 км), це наближена модель розподілу сейсмічної енергії для землетрусу в зоні Вранча в 1977 р., коли інтенсивність землетрусу в Москві (відстань більше 1 000 км) становила близько 4 балів.

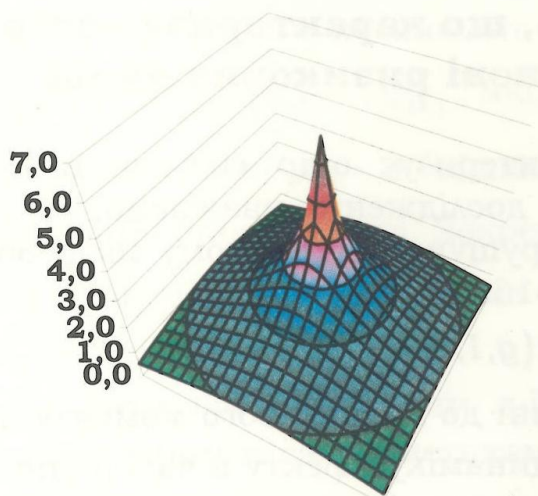
Уточнення моделей проводять за результатами обробки статистичних даних про зареєстровані землетруси із конкретного джерела і формують "поверхню" поправок до первинної моделі (масив поправок за дальністю та азимутом), які вводять в обробку. Під час побудови "уточнювальної" моделі варто мати на увазі кілька моментів, що впливають на точність наближення моделі до реальних результатів.

Отримана модель у першому наближенні відповідає як вогнищу зони Вранча, так і Кримського півострова. Удосконалювання моделі буде продовжено, і важливо розуміти, що це вимагає накопичення достатнього обсягу статистичних даних.

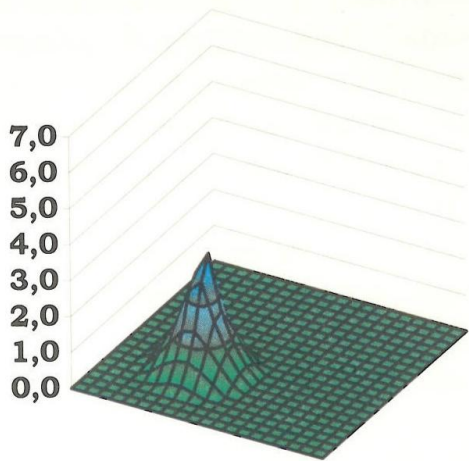
По-друге, "уточнювальна" модель має враховувати азимутальне випромінювання сейсмічної енергії як елемента геометрії джерела випромінювання – землетрусу. Приклад азимутальної інтенсивності "випромінювання" наведено на рис. 5.6 (землетрус 1940 р. в зоні Вранча). Особливістю землетрусів зони Вранча є велика глибина вогнищ (70–180 км), завдяки чому область руйнівних і відчутних струшувань простягається на значні віддалі. Крім того, ізосейсти землетрусів характеризуються суттєвою асиметричністю. Велика вісь еліпсів ізосейст є дуже витягнутою в північно-східному напрямку. Інтенсивність коливань ґрунту від сильних землетрусів зони Вранча ($M > 6,5$), наприклад, на майданчиках Хмельницької АЕС і Рівненської АЕС досягає 5 балів за шкалою MSK-64. Решта близько розташованих сейсмічно активних зон (Закарпаття, Передкарпаття, Добруджа і Кримсько-Чорноморський район) особливої небезпеки не становлять, Карпатські – через малу глибину вогнищ (5–10 км) і сильне загасання сейсмічної енергії з відстанню, а Кримські – через віддаленість.

Важливим під час створення "уточнювальної" моделі є врахування геологічних умов розміщення об'єктів і, що останнім часом стає актуальним, динаміки зміни локальних геологічних умов.

Зона Вранча в ХХ ст. згенерувала декілька сейсмічних подій з $M \sim 7,5$. За історичними даними (приблизно за 1 000 років), розрахункові ефекти землетрусів від цього джерела не були більшими. Фактично, за свідченнями експертів-сейсмологів, на основі геофізичних даних землетрусу з $M \sim 7,5$ становлять фізичну межу (поріг) для цього сейсмічного джерела.



а



б

■ 6,0-7,0

■ 5,0-6,0

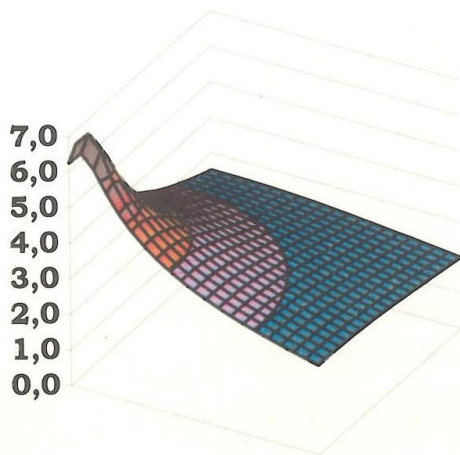
■ 4,0-5,0

■ 3,0-4,0

■ 2,0-3,0

■ 1,0-2,0

■ 0,0-1,0



в

Рис. 5.7. 3-D графічні зображення залежностей за розрахунками для вогнища із зони Вранча

5.1.3. Модель, що характеризує опір об'єктів впливові ризикових явищ

Для моделі, що характеризує опір об'єктів впливові ризикових явищ, на першому етапі дослідження вважаємо, що при одиничному землетрусі збитки від струшувань у певному місці об'єкта є детермінованою величиною [82, 163, 200]

$$x(g, I, t) = x_0(g, I) e^{-\beta t}, \quad (5.10)$$

де x_0 – ефект, приведений до початкового моменту часу; $e^{-\beta t}$ – множник, що характеризує динаміку ефекту в часі (напр., старіння конструкцій, зварних з'єднань, приріст населення або ефективність капіталовкладень).

Як приклад розглянемо Хмельницьку та Миколаївську області. Згідно з даними [224] загальна площа Хмельницької області становить 20 тис. 600 км², кількість потенційно небезпечних об'єктів – понад 100, серед яких Хмельницька АЕС, кількість населення – 1 млн 517 тис. 100 жителів. Під дію землетрусу з $I > 6$ балів підпадає територія 10 тис. 300 км², де проживає 805 тис. осіб.

Загальна площа Миколаївської області становить 24 тис. 600 км², кількість потенційно небезпечних об'єктів – понад 150, серед яких Південноукраїнська АЕС, кількість населення – 1 млн 298 тис. 800. Під дію землетрусу з $I > 6$ балів підпадає територія 8 тис. 200 км², де проживає 447 тис. 400 осіб.

Оцінюється тільки сумарна величина площі X_T (у межах ділянки), що відчувала інтенсивність $I \geq 6$ та $I \geq 7$ балів за час $T = 50$ років.

$$X_T(\text{ХАЕС}) = 1,3 \text{ тис. км}^2 / 20,6 \text{ тис. км}^2 = 50 \%$$

$$X_T(\text{ПУАЕС}) = 8,2 \text{ тис. км}^2 / 24,6 \text{ тис. км}^2 = 33 \%$$

Величина X_T , нормована для площі G ділянки X_T/G , характеризує сейсмічну небезпеку одиниці площі цього району.

Для АЕС за результатами [306] сейсмічний ризик має бути врахований для таких важливих структурних компонентів:

- захисна оболонка реактора;
- внутрішні залізобетонні конструкції;
- допоміжні захисні оболонки;
- турбінний зал;
- водозабір;
- система водопостачання та охолодження реактора;
- системи трубопроводів.

Будемо вважати, що кожен компонент y_{nz}^j може перебувати в різних станах $y_{nz}^j = 0 \in Y_{nz} = \{0, 1, \dots, y_{nz}^{j*}\}$, які мають різні рівні якості функціонування об'єкта. Стан $y_{nz}^j = 0$ відповідає найгіршому стану, а $y_{nz}^j = y_{nz}^{j*}$ – найкращому стану об'єкта. Зокрема, можуть розглядатися два стани: відмова, коли $y_{nz}^j = 0$, і нормальне функціонування $y_{nz}^j = 1$, тобто множина $Y_{nz} = \{0, 1\}$ [75].

Будемо також вважати, що компоненти z -ї категорії (типу) схожі за своїми техніко-економічними характеристиками.

Позначимо $y_{nz} = (y_{nz}^1, \dots, y_{nz}^{jnk}) \equiv (y_{nz}^j)_{j \in Jnz} \frac{1}{2}$, $n \in N, z \in Z_n$ – вектор станів компонентів z -ї категорії в n -му районі. Визначимо функцію $\phi(y_{nz})$, що характеризує в n -му районі стан компонентів z -ї категорії, де

$$\phi(y_{nz}) = \begin{cases} 1, & \text{елементи } z \text{ категорії знаходяться в нормальному стані;} \\ 0, & \text{виник інцидент з елементом } z \text{ категорії в } n \text{ районі.} \end{cases}$$

Тоді $y_n = (\phi(y_{n1}), \dots, \phi(y_{nz})) \equiv (\phi(y_{zk}))_{z \in Z}$ – вектор станів компонентів усіх категорій в n -му районі регіону, а вектор станів $y = (y_1, \dots, y_n)$ визначає стани всіх компонентів у регіоні в цілому. Визначимо на векторах станів y_n і y структурні функції $\Phi(y_n)$ і $\Phi(y)$, що характеризують стани компонентів z -ї категорії в n -му районі та регіоні в цілому залежно від станів компонентів. Значення $\Phi(y_n)$ і $\Phi(y)$ можуть задаватися на інтервалі $[0, 1]$ і, зокрема, $\Phi(y_n)$ може мати значення 0 і 1, як це прийнято при визначенні когерентних структур.

Позначимо

$$\Phi(y_n) = \Phi(\phi(y_{n1}), \dots, \phi(y_{nz})) = \begin{cases} 1, & \text{усі елементи в регіоні перебувають} \\ & \text{у нормальному стані;} \\ 0, & \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Величина показника ризику в регіоні залежить від стану і характеристик компонентів, термінів експлуатації об'єктів, типу і якості устаткування, місця розташування об'єкта (сейсмічність, наявність річок, близькість небезпечних виробництв тощо),

а також періодичності та своєчасності проведення ремонтно-відновлювальних робіт і коштів, що витрачають на це.

Позначимо через $p_1(y_{nz}^j)$ імовірність безвідмовної роботи компонента y_{nz}^j j -го типу, тоді $q_1(y_{nz}^j) = 1 - p_1(y_{nz}^j)$ – імовірність відмови цього компонента. Будемо вважати, що відмови компонентів незалежні.

Якщо компонент z -ї категорії "виходить із ладу", тобто відбувається небезпечний інцидент, то можуть бути визначені сценарії (наслідки) його відмови (пожежа, аварія, вибух і людські жертви).

Будемо вважати, що для компонента y_{nz}^j відома величина $q_1(y_{nz}^j)$ – імовірності тяжких наслідків (збитку, вибуху, пожежі) при виникненні інциденту з цим компонентом. Якщо відбувається аварія, то залежно від її масштабів можливими наслідками можуть бути людські жертви. Позначимо $q_3(y_{nz}^j)$ – можливість людських жертв у випадку порушення нормального стану компонента y_{nz}^j .

Величина збитків у випадку відмови компонента (реалізація небезпечної події – ризикового явища, несвоєчасне вилучення (заміна) компонента із системи об'єкта або несвоєчасне відновлення компонента) залежить від вартості його відновлення, вартості покриття втрат і ліквідації наслідків у випадку аварії (катастрофи), що може призвести до людських жертв.

За рекомендаціями NEUREG/-3756 [296, 306] АЕС США розраховують за умови реалізації сейсмічних прискорень $0,3g$. За рекомендаціями МАГАТЕ [307–309] АЕС Європи розраховують за умови $0,1g$, у Німеччині – $0,4g$ [275].

Залежно від типу потенційно небезпечного об'єкта та країни рівень безпеки, що використовують для проектування, може змінюватися. Як приклад АЕС Швеції, запроектовані з урахуванням сейсмічного навантаження, що відповідає частоті виникнення 10^{-6} /рік, але для сейсмічного рівня SL-2 (MP3) – не менше $0,1g$ [275].

На основі результатів [303, 305] на АЕС США аналізують рівні сейсмічного ризику для компонентів та обладнання АЕС за факторами від S3 до S10 (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Залежність безпеки обладнання АЕС з різним сейсмічним рівнем від сейсмічних подій [303–305]

Сейсмічний рівень	Діапазон g	Частота (роки)
S1	0,067–0,1	$2,0 \cdot 10^{-3}$
S2	0,1–0,2	$1,2 \cdot 10^{-3}$
S3	0,2–0,3	$1,7 \cdot 10^{-4}$
S4	0,3–0,4	$5,6 \cdot 10^{-5}$
S5	0,4–0,5	$2,0 \cdot 10^{-5}$
S6	0,5–0,6	$8,7 \cdot 10^{-6}$
S7	0,6–0,7	$6,3 \cdot 10^{-6}$
S8	0,7–0,8	$3,4 \cdot 10^{-6}$
S9	0,8–0,9	$9,2 \cdot 10^{-7}$
S10	0,9–1,0	$8,2 \cdot 10^{-8}$
S11	>1,0	$1,0 \cdot 10^{-9}$

5.2. УРАХУВАННЯ РІВНІВ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ПІД ЧАС ВИБОРУ МАЙДАНЧИКІВ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ АЕС

Як уже було зазначено, аварії на АЕС призводять не тільки до матеріальних збитків, зокрема до виведення із землекористування радіаційно забруднених територій, але й до психологічного шоку. Суспільна думка в Україні схиляється в бік обмеження числа АЕС, що експлуатують. На сьогоднішній день більше ніж у 30 країнах світу експлуатують АЕС. І це доводить, що в дійсності, радіаційна безпека відповідає цілком прийнятному для суспільства рівню. Інакше б експлуатацію наявних АЕС зупинили, а будівництво нових не проводили. Незважаючи на позитивні докази, потрібно постійно аналізувати всі явища та події, щоб не залишити без уваги жодного джерела небезпеки і тим самим забезпечити експлуатацію АЕС.

Під час вибору території для розміщення промислового майданчика АЕС ураховують зовнішні явища і процеси природного походження (землетруси, повені, смерчі, цунамі) і події, пов'язані з діяльністю людини.

Детальніше зовнішні впливи розглянуто в таких публікаціях МАГАТЕ із серії безпеки:

- 50-SG-D5. Урахування подій, пов'язаних з діяльністю людини, при проектуванні атомних електростанцій, 1998;
- 50-SG-D15. Сейсмостійке проектування для атомних електростанцій, 1992;
- 50-C-S (вид. 1). Збірник норм з безпеки атомних електростанцій: вибір майданчиків для АЕС, 1990;
- 50-SG-S1 (вид. 1). Урахування землетрусів і пов'язаних з ними явищ при виборі майданчиків для атомних електростанцій, 1993;
- 50-SG-S5. Урахування надзвичайних ситуацій, що виникають у результаті діяльності людини при виборі майданчиків для атомних електростанцій, 1983;
- 50-SG-S7. Гідрологічні аспекти вибору майданчиків для атомних електростанцій, 1986;
- 50-SG-S10A. Урахування повеней в основах проекту атомних електростанцій, що споруджують на берегах річок, 1984;
- 50-SG-S10B. Урахування повеней в основах проекту атомних електростанцій, що споруджують на морському узбережжі, 1985;
- 50-SG-S11A. Урахування екстремальних метеорологічних явищ, виключаючи тропічні циклони, при виборі майданчиків для атомних електростанцій, 1983;
- 50-SG-S11B. Урахування тропічних циклонів в основах проекту атомних електростанцій, 1986.

АЕС убезпечують технічними та організаційними заходами, включаючи обґрунтований відповідно до вимог нормативних документів вибір майданчика АЕС. Майданчик вважається придатним для розміщення споруд, обладнання та компонентів АЕС, якщо забезпечується:

- безпека експлуатації АЕС з урахуванням природних явищ;
- безпека населення;
- захист довкілля від радіаційних впливів.

У деяких державах – членах МАГАТЕ встановлена вимога, що конструкція АЕС має забезпечувати захист від тих природних подій, частота яких перевищує 10^{-4} на рік [246].

Безпека АЕС залежить від правильності вибору майданчика, оцінювання якого здійснюють на основі аналізу множини чинників. Одним із важливих чинників у вирішенні питання про безпеку розміщення АЕС є сейсмічна ситуація у регіоні розміщення об'єкта. Системи, конструкції й компоненти, що виконують функцію зупинення реактора та його тривалого підтримання в стійкому

безпечному стані, варто проектувати так, щоб вони витримували МРЗ без втрати своїх функцій [161].

Для України кількість АЕС буде зростати у зв'язку з потребами економіки і розвитку суспільства. Для забезпечення безпеки АЕС, що можуть бути класифіковані як об'єкти підвищеного сейсмічного ризику [196], потрібні дані про кількісні параметри сейсмічної небезпеки території та врахування їх під час будівництва.

Сейсмогенні структури, що знаходяться на різній відстані від досліджуваної території для розміщення майданчика АЕС, роблять відповідний внесок у розрахункову інтенсивність. Це пов'язано з тим, що близько розташовані джерела землетрусів малої енергії можуть створити такі ж струшування, як і віддалені джерела землетрусів великої енергії. У цьому випадку принципового значення набуває проблема дослідження сейсмогенних структур поблизу майданчиків АЕС. Ступінь сейсмічного ризику АЕС зумовлюють значення розрахункової максимальної інтенсивності, приклади якої наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Значення розрахункових максимальних інтенсивностей для територій розміщення деяких потенційно небезпечних об'єктів [196]

Назва об'єкта	T = 100 років	T = 500 років	T = 1000 років	T = 5000 років	T = 10000 років
Каховська ГЕС	5,0	5,9	6,2	6,4	6,4
Дніпровська ГЕС	4,1	4,9	5,3	6,0	6,1
Дніпродзержинська ГЕС	4,5	5,3	5,6	5,7	5,7
Кременчуцька ГЕС	4,9	5,8	6,1	6,2	6,2
Канівська ГЕС	5,2	6,1	6,4	6,4	6,4
Київська ГЕС	4,9	5,8	6,1	6,3	6,4
Рівненська АЕС	4,8	5,8	6,2	6,4	6,4
Хмельницька АЕС	5,0	6,1	6,4	6,5	6,6

Результати дослідження [196] підкреслюють необхідність удосконалення методів вивчення рівня вразливості об'єктів на основі інформації про сейсмічну небезпеку територій їхнього розміщення

і, отже, забезпечення сейсмостійкості споруд. Крім того, указують на необхідність удосконалення методів зниження потенційних збитків від землетрусу.

Отже, методологічною основою вибору території для розміщення майданчиків АЕС є системний підхід до аналізу чинників, що можуть уплинути на прийняття рішення [102]. Сукупність цих чинників визначається такою метою:

- довгострокове убезпечення населення;
- убезпечення системи функціонування об'єкта;
- збереження довкілля;
- розумна вартість.

На етапі вибору території для розміщення майданчика АЕС безпеку визначають на підставі аналізу впливу у першу чергу, геологічних чинників. Процес вибору неминуче включає процедуру оптимізації при порівнянні чинників. Ефективність процесу досягається в разі задоволення геологічних, економічних, правових, соціально-політичних та інших критеріїв [49].

З урахуванням вимог і рекомендацій МАГАТЕ до території для розміщення майданчиків АЕС передбачено поетапне виконання робіт щодо попереднього вибору в межах пункту не менше трьох конкурентних майданчиків, а потім оцінювання і визначення кращого з них. Основою для багатофакторного аналізу вибору кращого майданчика є дані щодо геологічних, кліматичних, техногенних і соціальних умов для конкурентних майданчиків. У результаті аналізу основних чинників середовища, що впливають на вибір майданчика, проводять порівняльне оцінювання важливості кожного чинника та виставляють інтегральну (бальну) оцінку відповідності кожного майданчика геоекологічним критеріям.

Критерії оцінки для попереднього аналізу трьох конкурентних майданчиків за геологічними, кліматичними, техногенними та соціальними умовами наведено в табл. 5.3. Ці критерії складено на основі вимог документів [144, 153, 160, 164, 201–202, 232].

Оцінювання сейсмічної уразливості території (табл. 5.3) дозволить визначити рівень сейсмічного ризику і створити картину очікуваних людських і матеріальних втрат у випадку сильного землетрусу, що, у свою чергу, дасть можливість правильно встановити послідовність заходів щодо зниження рівня сейсмічного ризику. Отже, під час вибору майданчика АЕС потрібно враховувати результати якісного і кількісного аналізу чинників, що характеризують ґрунтові умови і фактичний стан будівель і споруд.

Таблиця 5.3

**Критерії оцінки конкурентних майданчиків
для попереднього аналізу за геологічними, кліматичними,
техногенними і соціальними умовами [49]**

Критерій	Показник оцінки	Ознаки переваги майданчика
	Оцінюють	Кращий майданчик
Тектонічна активність	за схемою розташування розломів, розривів, зон можливих вогнищ землетрусів з указівкою орієнтації й границь зон потенційно небезпечних розривних порушень;	найвіддаленіший від зазначених явищ;
	за амплітудою, швидкістю і градієнтами новітніх і сучасних рухів земної кори, параметрами можливих переміщень; за характеристиками активних розломних зон (геометрія, амплітуди і спрямованість зсувів за розломами, час останньої активізації);	має мінімальний ступінь тектонічної активності;
Сейсмічний вплив	за величиною ПЗ і МРЗ; за характеристиками вихідних коливань ґрунтів у разі землетрусів з інтенсивністю МРЗ на відмітках поверхні планування;	для якого значення ПЗ і МРЗ менші, оскільки потенційно зменшується рівень екологічного і сейсмічного ризику у випадку землетрусу;
Орогідрографія	за відстанню від найближчих річок;	для якого віддалення максимальне;
Негативні природні процеси	за наявністю таких процесів;	у районі якого негативні природні процеси відсутні;
Рівень ґрунтових вод	за рівнем ґрунтових вод;	де РГВ від поверхні більший за абсолютним значенням;

Продовження табл. 5.3

Критерій	Показник оцінки	Ознаки переваги майданчика
	Оцінюють	Кращий майданчик
Сейсмічна небезпека	за виявленими структурами і розломам, активізованими у четвертинному періоді; за ступенем геодинамічної активності тектонічних структур і розломів, активізованих у четвертинному періоді;	найвіддаленіший від активних структур і розломів; має мінімальний ступінь активності та в межах якого можливим є вибір однорідного тектонічного блока, без тектонічно активних структур і розломів;
	за можливістю активізації поверхневих скидів і виходу вогнища землетрусу на поверхню;	для якого мінімальна ймовірність активізації поверхневих скидів і виходу вогнища землетрусу на поверхню;
	за небезпекою зсувних переміщень на схилах з урахуванням ґрунтових умов і сейсмічних коливань з інтенсивністю до МРЗ включно, а також з урахуванням впливу підземних вод, тектонічних порушень, сучасних геодинамічних процесів;	у районі якого негативні геологічні процеси відсутні;
	за можливістю розвитку і впливу на безпеку об'єкта карстових (термокарстових), суфозійних і суфозійно-карстових процесів;	у районі якого негативні геологічні процеси відсутні;
	за наявністю специфічних ґрунтів (біогенних, просадних, усадочних, що набухають, засолених, багаторічно мерзлих, елювіальних, техногенних), за їхньою потужністю і фізико-механічними властивостями (модулі деформації, характеристики міцності тощо); за зонами водонасичених незв'язних ґрунтів, здатних до розрідження в разі сейсмічних впливів з інтенсивністю до МРЗ включно;	у районі якого вплив специфічних ґрунтів на нерівномірні просідання споруд АЕС, крени реакторних відділень у разі землетрусів з інтенсивністю до МРЗ включно є мінімальними;

Продовження табл. 5.3

Критерій	Показник оцінки	Ознаки переваги майданчика
	Оцінюють	Кращий майданчик
Вітер	за максимально можливим вітром;	у районі якого швидкості вітрів нижче, оскільки потенційно зменшується рівень екологічного ризику від території поширення забруднення;
Смерч	за розрахунковим класом;	для якого розрахунковий клас нижче;
Максимальні температури	за максимальною амплітудою коливань температури;	для якого амплітуда між максимальними температурами мінімальна, тому що при цьому зменшуються витрати на проектні рішення щодо будівельних робіт і опалення;
Вплив техногенної діяльності на об'єкт	за відстанню до залізниць і автодоріг як джерел вибухової й пожежної небезпеки: <ul style="list-style-type: none"> ➤ у радіусі 5 км від промислового майданчика АЕС мають бути розглянуті стаціонарні і пересувні, цивільні і військові об'єкти з виробництва, переробки, збереження і транспортування хімічних вибухових речовин і палива; ➤ у радіусі 10 км – склади боєприпасів; ➤ у радіусі 10 км – усі підприємства, де обробляють, використовують, зберігають і транспортують токсичні та їдкі речовини, а також пересувні джерела викидів; 	для якого зазначені відстані максимальні;
Родовища корисних копалин	за відстанню до найближчих родовищ, комплексів видобутку і переробки корисних копалин;	для якого зазначені відстані максимальні;

Закінчення табл. 5.3

Критерій	Показник оцінки	Ознаки переваги майданчика
	Оцінюють	Кращий майданчик
Необхідність вилучення землі з народногосподарського обороту	за потреби відводу землі, що є в народногосподарському використанні;	для якого не потрібне вилучення земель народногосподарського обороту;
Думка громадянськості	за розташуванням найближчих великих міст (кількість населення і на якій відстані від об'єкта). Характеризує кількість людей, які беруть участь у прийнятті рішення про розміщення об'єкта в районі їхнього проживання;	розташований якнайдалі від великих міст і поруч з яким розташовано місто з мінімальною кількістю мешканців.
Сейсмічна вразливість території	за фактичними фізико-механічними характеристиками конструкцій будівель і споруд прилеглих населених пунктів; за сейсмічністю майданчиків існуючої забудови; за кількістю населення.	На підставі цих даних визначають рівень сейсмічного ризику (прийнятний, середній, високий)

Оцінюють сейсмічність майданчиків АЕС на підставі конкретних ґрунтових умов. Реакція ґрунтів на сейсмічні впливи стає відомою в результаті сейсмічного мікрорайонування. В інженерній геології під *тунтами* розуміють будь-які гірські породи у фундаменті будівель і споруд, а під *тунтовими умовами* – сукупність чинників, що викликають зміни параметрів сейсмічних впливів і виникнення залишкових деформацій. До цих чинників відносять: фізико-механічні властивості ґрунтів, будову верхньої частини розрізу, резонансні властивості середовища, рельєф денної поверхні, наявність тектонічних порушень (не обов'язково активних). Ці чинники взаємозалежні і мають розглядатися у комплексі. Більше того, вплив цих чинників залежить від параметрів сейсмічних хвиль, що надходять (частотний склад, поляризація, азимут і кут виходу сейсмічних променів тощо) [252–253]. Вивченню підлягають не тільки зміни параметрів сейсмічних рухів під впливом

ґрунтових умов, але і зміна несучої здатності ґрунтів під впливом інтенсивних сейсмічних коливань: можливі залишкові деформації ґрунтів, просідання, втрата стійкості схилів, розрідження тощо.

Оцінкою сейсмічного ризику є прогноз потенційних людських, матеріальних та інших втрат, зумовлених сильним землетрусом. Отже, зменшення збитків від землетрусів є можливим. Для цього потрібно, по-перше, вибирати місця для будівництва об'єктів – міст, виробництв, АЕС тощо у районах з мінімальною сейсмічною небезпекою і прийнятним сейсмічним ризиком. По-друге, будинки та інженерні споруди треба проектувати таким чином, щоб за оптимального рівня витрат на підвищення їхньої сейсмостійкості та інших підготовчих заходів (ці витрати також належать до збитків) після землетрусу зменшити вартість ремонтно-відбудовчих робіт. Соціально-економічні умови не повинні допускати обвалення будинків, що є основною причиною загибелі людей. Точність визначення рівня сейсмічного ризику, безумовно, залежить від обсягу бази даних, на підставі яких проводять аналіз. З урахуванням повноти інформації, що доступна на етапі вибору майданчика, застосування методів експертної оцінки є необхідним як для визначення ймовірностей небезпечних подій у системі будівництва та експлуатації АЕС, пов'язаних з місцевими геологічними умовами, так і для визначення потенційного рівня забруднення довкілля унаслідок можливих аварій.

Для кожного показника (чинника порівняльного оцінювання) вибирають ознаки пріоритетності для майбутнього майданчика потенційно небезпечного об'єкта.

Для установлення рівня сейсмічного ризику таким чином були проаналізовані на модельному прикладі дані щодо розміщення великих міст поблизу майданчиків (кількість населення та відстань до об'єкта, відомості про фактичний стан і фізико-механічні характеристики будинків і споруд цих міст, сейсмічність території існуючої забудови).

За експертною думкою відповідно [97, 259, 262–263, 310] принцип оцінки існуючої забудови полягає у визначенні коефіцієнта сейсмічного ризику K_p для кожного окремого об'єкта:

$$K_p = A_{оч} / A_{роз},$$

де $A_{оч}$ – очікуване ґрунтове прискорення майданчика, де розташована конкретна споруда; $A_{роз}$ – ґрунтове прискорення, на яке була розрахована споруда.

Наприклад, у результаті обробки комплексу статистичних даних щодо оцінки існуючої забудови території Вірменії [262–263] були виділені такі рівні сейсмічного ризику:

- високий рівень ризику при $K_p > 2$,
- середній рівень ризику при $1,2 < K_p < 2$
- прийнятний рівень ризику при $K_p < 1,2$.

Відповідно до СНиП II-7-81* ґрунти розподілені за трьома категоріями. Для кожного типу ґрунту I, II і III категорій очікувані прискорення при землетрусі 8 балів становлять 0,1, 0,2 і 0,4 g відповідно. Можемо допустити, що споруди, побудовані на ґрунтах певної категорії, у свій час були розраховані на сейсмічні навантаження, що відповідають очікуваним ґрунтовим прискоренням відповідної категорії. Таким чином, маючи загальну картину ґрунтових умов за СНиП II-7-81* і план існуючої забудови *умовних міст 1–5 (модельний розрахунок)*, у першому наближенні можемо визначити проектну сейсмостійкість кожної споруди. Відмітимо, що за експертною думкою [262–263] проектування на території міст СРСР індивідуальних і типових будинків на середніх ґрунтах виконувалося при $A_{роз} = 0,2 g$. Капітальні будинки та споруди були побудовані в основному при $A_{роз} = 0,1$ або $0,2 g$. Для приватних будинків, побудованих без урахування норм сейсмостійкості, $A_{роз} = 0,05 g$.

Приклад визначення рівня сейсмічного ризику майданчиків для розміщення АЕС, побудований на умовних моделях з використанням принципів [97, 262–263, 310], формул (3.6) і (4.6) і даних табл. 4.1., подано в табл. 5.4.

На підставі критеріїв оцінки експертним методом визначено інтегральну (у балах) оцінку придатності певного майданчика для розміщення АЕС.

Ілюстрацією запропонованого підходу є табл. 5.5, де наведено порівняльну оцінку майданчиків, умови яких досить різні, але при цьому їх розглядають як придатні для розміщення АЕС. Оцінювання ризику розв'язує проблему множинності геологічних критеріїв і встановлення значимості кожного чинника, що впливає на безпеку АЕС.

Найвища інтегральна оцінка відповідає найбільш придатному майданчику.

Методологічною основою концепції вибору майданчика для розміщення АЕС є системний підхід до аналізу чинників, що впливають на безпеку АЕС. Об'єктивна та достовірна оцінка придатності геологічних умов і врахування рівня сейсмічного ризику території – ключова процедура в процесі вибору майданчика.

Таблиця 5.4

**Визначення рівня сейсмічного ризику
під час вибору майданчика для розміщення АЕС**

Назва населеного пункту	Кількість населення	Відстань, км	Максимальне прискорення, g	Кількість будівель	Категорія будівель	Населення	Працівники, службовці, учні	Рівень сейсмічного ризику
Майданчик 1								
Місто 1	36 225	3,5	0,02	1 500	Б	7 141	20	Прийнятний
				2 500	В	10 064	1 970	Прийнятний
				80	Г	9 700	7 030	Прийнятний
				10	Д	-	300	Прийнятний
Майданчик 2								
Місто 2	40 000	50	0,06	1 500	Б	7 200	40	Середній
				3 500	В	13 500	2 000	Середній
				90	Г	10 000	7 000	Середній
				20	Д	-	300	Середній
Місто 3	2 800 000	110	0,1	12 000	Б	36 000	2 000	Високий
				17 500	В	43 500	3 000	Середній
				10 000	Г	100	13 000	Прийнятний
				1 000	Д	000	12 000	Прийнятний
Майданчик 3								
Місто 4	19 060	30	0,16	900	Б	4 100	500	Високий
				2 000	В	6 060	1 000	Середній
				100	Г	5 000	900	Середній
				70	Д	1 000	500	Прийнятний
Місто 5	58 100	40	0,12	1500	Б	7 200	400	Високий
				3500	В	13 500	2 000	Середній
				90	Г	10 000	7 000	Прийнятний
				120	Д	15 000	3 000	Прийнятний

**Приклад порівняльної оцінки майданчиків,
придатних для розміщення АЕС**

№	Критерій оцінки	Максимально можлива оцінка	Оцінка майданчиків (у балах)		
			Майданчик 1	Майданчик 2	Майданчик 3
1	Тектонічна активність	5	4	4	4
2	Сейсмічний вплив	5	4	4	3
3	Сейсмічна небезпека	5	4	4	2
4	Орогідрографія	3	2	3	2
5	Негативні природні процеси	5	3	4	2
6	Рівень ґрунтових вод	5	3	4	2
7	Вітер	3	2	3	2
8	Смерч	3	-	-	-
9	Максимальні температури	3	2	3	3
10	Вплив техногенної діяльності на об'єкт	5	4	5	3
11	Потреба вилучення землі з господарського користування	3	1	2	2
12	Думка громадськості	5	3	4	2
13	Сейсмічна вразливість території	5	4	3	2
14	Сейсмічний ризик	3	3	2	1
	Сумарна оцінка	58	39	45	30

Отже, маючи модель розподілу землетрусів за часом, простором і магнітудою; модель сейсмічного впливу та модель, що характеризує опір об'єктів (елементів ризику) впливові ризикового явища, стає можливою реалізація оперативного (експрес) оцінювання

сейсмічної ситуації на території країни. Важливим у цьому відношенні є вибір району дослідження, коли потрібно враховувати, наприклад, такі чинники:

➤ фізичні та промислово-економічні показники території, а не адміністративні границі районів і областей країни;

➤ класифікацію підприємств і систем, що викликають стурбованість, або потенційних областей, на які може безпосередньо поширитися негативний вплив сейсмічних подій;

➤ установлення границь тільки в процесі аналізу небезпеки, тому що "а priori" не можна визначити район, на який може поширитися вплив;

➤ системи транспорту, що використовують для перевезення небезпечних матеріалів між об'єктами.

Таким чином запропонований підхід дозволяє оцінити сейсмічний ризик та вибрати найбільш придатний з конкурентних майданчиків на основі врахування всієї наявної інформації та із застосування сучасних методів ризик-аналізу.

ВИСНОВКИ

У монографії подано методику дослідження сейсмічного ризику потенційно небезпечних об'єктів, розміщених на території України, що базується на сучасних методах ризик-аналізу і в якій максимально враховано рекомендації МАГАТЕ та вимоги вітчизняних нормативних документів.

Значна увага приділяється важливому чиннику сейсмічного ризику – підкоровим землетрусам зони Вранча. Обґрунтовано доцільність запровадження моніторингу в системі взаємодії потенційно небезпечного об'єкта з геологічним середовищем. Такий моніторинг має бути спрямований на визначення та виділення характерних властивостей небезпечних процесів і загрозливих явищ, що впливають на стан літотехнічної системи об'єкта, на прогнозування їхнього розвитку. Авторами розроблено алгоритми проведення аналізування і визначення параметрів сейсмічного ризику. Побудована модель імовірнісної взаємодії потенційно небезпечного об'єкта з природним середовищем у разі сильного землетрусу. На модельних прикладах проведено визначення рівня сейсмічного ризику територій кількох конкурентних майданчиків для розміщення АЕС. За допомогою експертного методу визначено інтегральну (у балах) оцінку придатності конкурентних майданчиків для розміщення потенційно небезпечних об'єктів за геологічними, кліматичними, техногенними та соціальними критеріями.

Висновки і рекомендації мають практичне спрямування і відповідають сучасним науковим уявленням і практичним підходам до захисту від загрозливих природних явищ.

На думку авторів, у монографії наведено нові результати:

- розроблено новий методичний підхід до геофізичного моніторингу геологічного середовища;
- сейсмічна небезпека потенційно вразливих об'єктів розглядається з урахуванням особливостей внутрішньої будови та стану літотехнічної системи в їхній основі;
- аналізуються дискусійні геофізичні аспекти Чорнобильської катастрофи;

➤ на основі аналізу наслідків катастрофічних землетрусів 2004–2005 рр. поблизу о. Суматра зроблено висновки щодо необхідності організації та форм проведення моніторингу небезпечних природних процесів на території України, що межує з тим самим глобальним сейсмічним поясом, на якому відбулися указані землетруси;

➤ запропоновано оригінальну методику аналізування сейсмічного ризику для територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів (на прикладі АЕС України);

➤ узагальнено сучасні наукові уявлення про сейсмічний ризик і рекомендовано подальше вдосконалення нормативних документів, покликаних забезпечити техногенну надійність важливих і екологічно-небезпечних об'єктів у країні;

➤ на основі системного підходу побудовано та обґрунтовано моделі управління сейсмічним ризиком із застосуванням принципів імовірнісного аналізу безпеки, ризик-аналізу і теоретичних основ створення моніторингу літотехнічної системи об'єкта;

➤ для АЕС, розміщених на території України, розглянуто весь комплекс складових сейсмічного ризику: природна сейсмічна небезпека; техногенна надійність середовища існування; можливість попередження про землетрус; готовність населення та офіційних органів влади до сейсмічних подій тощо.

Монографія може бути використана як довідник при вирішенні практичних завдань моніторингу територій розташування потенційно небезпечних об'єктів і великих промислових агломерацій, а також для оцінювання параметрів сейсмічного ризику території розміщення потенційно небезпечних об'єктів з метою підвищення рівня безпеки їхнього функціонування, визначення можливості та доцільності розміщення нових енергетичних об'єктів, збереження довкілля.

Застосування на практиці запропонованої авторами методики дозволить знизити можливі економічні, соціальні та екологічні втрати від катастроф, пов'язаних із виникненням небезпечних природних і техногенних явищ, і в першу чергу землетрусів.

Монографія може використовуватися як посібник для студентів вищих навчальних закладів. Один з її підрозділів присвячено чіткому і в той же час лаконічному визначенню основних понять, які використовують у геофізиці, геотехніці, екології та в галузі убезпечення експлуатації складних технічних систем.

Необхідно визнати, що сьогодні практичне визначення ризику вимагає значних затрат на одержання необхідних для обчислення фактичних даних, частина яких може мати закритий характер.

ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

АКСЕЛЕРОГРАМА	функція, яка описує зміну вектора прискорення сейсмічних коливань заданої точки в часі
АКСЕЛЕРОГРАМА АНАЛОГОВА (ПІДІБРАНА)	акселерограма, яку зареєстровано під час реального землетрусу і прийнято для розрахунку на сейсмостійкість з урахуванням її відповідності сеймотектонічним і ґрунтовим умовам майданчика АЕС
АКСЕЛЕРОГРАМА ЗЕМЛЕТРУСУ	акселерограма коливань вільної поверхні ґрунту під час землетрусу
АКТИВНИЙ РОЗЛОМ	тектонічний розлом, у зоні якого за четвертинний період геологічного розвитку відбулося відносне переміщення прилеглих блоків земної кори на 0,5 м і більше, або спостерігають їхні відносні зміщення зі швидкостями сучасних рухів 5 мм/рік і більше
АНТИСЕЙСМІЧНІ ЗАХОДИ (у будівництві)	комплекс дій, спрямованих на пристосування населених пунктів, промислових вузлів, будинків і споруд до можливого сейсмічного впливу. Антисейсмічні заходи містять у собі нормативно-законодавчі акти, вимоги до проектування і провадження робіт у сейсмічних районах. Мета антисейсмічних заходів – підвищення безпеки людей і зниження збитків у разі сильного землетрусу шляхом забезпечення сейсмостійкості споруд та інженерних мереж забудованих територій
АСЕЙСМІЧНИЙ РАЙОН	район, де ймовірність виникнення 5-бальних землетрусів є меншою від 0,002 на рік

АФТЕРШОКИ	поштовхи, наступні за головним поштовхом землетрусу, з однієї з ним зони вогнища, як правило, меншої енергії. Афтершоки супроводжують майже всі сильні землетруси і, як правило, це загасаючий у часі та за силою сейсмічний процес
БАЛ	величина, що характеризує інтенсивність прояву землетрусів на поверхні Землі, на території України визначається за міжнародною 12-бальною макросейсмічною шкалою MSK-64
БАЛЬНІСТЬ	інтенсивність сейсмічного впливу в балах макросейсмічної шкали MSK-64
ВОГНИЩЕ ТЕКТОНІЧНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ	замкнутий об'єм земної кори або верхньої мантії, де відбулося швидке руйнування геологічного середовища і виділення сейсмічної енергії
ВПЛИВ ЗОВНІШНІЙ	вплив, спричинений зовнішньою відносно потенційно небезпечного об'єкта подією техногенного або природного походження
ВПЛИВ ПРИРОДНИЙ	вплив, джерелом виникнення якого є природні явища, процеси та чинники
ВПЛИВ ТЕХНОГЕННИЙ	вплив, спричинений діяльністю людини безпосередньо, або як результат використання техніки, технологій, втручання в природне середовище
ГЕОДИНАМІЧНА ЗОНА	область зчленування двох тектонічних блоків земної кори, у межах якої встановлені диференційні переміщення на неотектонічному і четвертинному етапах геологічного розвитку. Тектонічні структури, активні в четвертинному періоді геологічного розвитку
ГЕОДИНАМІЧНІ УМОВИ	положення потенційно небезпечного об'єкта (зокрема АЕС) відносно геодинамічних зон
ГЕОЛОГІЧНІ та ІНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ і ЯВИЩА	ендогенні та екзогенні геологічні процеси, що виникають під впливом різних природних чинників (їхнє поєднання) як без впливу діяльності людини, так і під її впливом

ГІПОЦЕНТР	точка у вогнищі землетрусу, де починається руйнування гірської породи
ГІПОЦЕНТРАЛЬНА ВІДСТАНЬ	відстань від гіпоцентру землетрусу до місця спостереження
ГЛИБИНА ВОГНИЩА	відстань від гіпоцентру до його проекції на земну поверхню (епіцентру)
ГЛОБАЛЬНА СЕЙСМІЧНІСТЬ	розподіл землетрусів у часі та просторі на планеті
ГОЛОВНИЙ ПОШТОВХ	найсильніший землетрус у групі, у загальному випадку складеної з форшоків, власне головного поштовху та афтершоків
ГРАВІТАЦІЙНО-СХИЛОВІ ГЕОТЕХНОГЕННІ ПРОЦЕСИ	виникнення та активізація на схилах зсувів унаслідок вирубування лісу, підрізу схилів каналами і фільтрацією води з них, потужних вибухів та інших техногенних впливів, що зменшують міцність порід і збільшують механічні напруження у схилах
ДЕТАЛЬНЕ СЕЙСМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ	вид дослідження з оцінювання сейсмічної небезпеки, основним завданням якого є виділення сейсмогенеруючих зон, оцінювання параметрів вогнища і ефектів від них
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КЛАС	кількісна міра величини землетрусу, яка дорівнює десятковому логарифму сейсмічної енергії (у джоулях), що вивільнилася у вогнищі. Шкала енергетичного класу землетрусів поширена в країнах СНД для класифікації близьких землетрусів
ЕНЕРГІЯ ЗЕМЛЕТРУСУ	сумарна енергія, яка під час землетрусу йде на руйнування геологічного середовища, виділення тепла при взаємному терті різнорангових блоків, зміну його фізико-хімічної структури середовища та утворення сейсмічних хвиль
ЕПІЦЕНТР	проекція гіпоцентру землетрусу на земну поверхню (місце на поверхні Землі, розташоване над гіпоцентром землетрусу)
ЕПІЦЕНТРАЛЬНА ВІДСТАНЬ	відстань від епіцентру землетрусу до місця спостереження

ЕПІЦЕНТРАЛЬНА ЗОНА	зона поблизу епіцентру сильного землетрусу оконтурена ізосейстою максимальної бальності
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ (УБЕЗПЕЧЕННЯ)	прийняття комплексу інженерно-технічних та організаційних заходів щодо виключення недопустимого ризику, включаючи радіаційний ризик, пов'язаний з можливістю заподіяння шкоди життю та здоров'ю людини, майну та/або довкіллю
ЗАГАЛЬНЕ СЕЙСМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ (ЗСР)	вид дослідження і картування рівня сейсмічної небезпеки великих територій шляхом виділення значних сейсмогенеруючих структур і зон, які визначають регіональну сейсмічність. За результатами ЗСР складають карти масштабів від 1 : 200 000 до 1 : 2 500 000, використання яких дозволяє раціонально планувати розвиток різних районів, оцінювати загальні витрати, потрібні для проведення антисейсмічних заходів у масштабі країни або окремих регіонів
ЗАХИСНІ ЗАСОБИ ВІД ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ	технічні засоби та організаційні заходи, що забезпечують стійкість захисних бар'єрів під час впливу, спричиненого зовнішніми чинниками, процесами та явищами
ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ	комплекс технічних і організаційних заходів, що забезпечують заданий (надійний) рівень безпеки для персоналу, який безпосередньо пов'язаний з управлінням потенційно небезпечним об'єктом
ЗЕМЛЕТРУС	коливання земної поверхні або її незворотні зміни під впливом сейсмічних хвиль від різних джерел: природних (і в першу чергу, тектонічних) або техногенних (вибухів, провалів шахтних виробок тощо)
ЗЕМЛЕТРУС ВІДДАЛЕНИЙ	землетрус, вогнище якого розміщено на відстані понад 300 км від майданчика об'єкта
ЗЕМЛЕТРУС ЛОКАЛЬНИЙ	землетрус, вогнище якого розміщено поблизу майданчика об'єкта (у радіусі менше 30 км)
ЗЕМЛЕТРУС МІСЦЕВИЙ	землетрус, вогнище якого розміщено в радіусі від 30 до 300 км від майданчика об'єкта

ЗОНА
ПЛАНУВАННЯ
ЗАХИСНИХ
ЗАХОДІВ

територія навколо потенційно небезпечного об'єкта (зокрема АЕС), у межах якої у разі позапроектних аварій можливим є небезпечний радіаційний вплив, для попередження якого планують заходи щодо захисту населення, передбачені чинними нормами радіаційної безпеки

ЗСУВ

рух мас порід (ґрунту) на схилах під дією власної маси та додаткового навантаження (сейсмічного, фільтраційного, вібраційного)

ІЗОСЕЙСТИ

лінії, що оконтурюють площі однакової інтенсивності (бальності) сейсмічних впливів на поверхні Землі (реально спостережених при землетрусах, або прогнозованих при сейсмічному районуванні різних рівнів)

ІНЖЕНЕРНИЙ
ЗАХИСТ ВІД
ЗОВНІШНЬОГО
ВПЛИВУ

комплекс заходів із захисту потенційно небезпечного об'єкта, його систем і компонентів (включно захисні засоби) та експлуатаційного персоналу з метою запобігання аварій (у тому числі пов'язаних з викидом небезпечних речовин і радіонуклідів в атмосферу, гідросферу або літосферу), запобігання та/або зниження економічного і соціального збитків у разі зовнішнього впливу природного чи техногенного походження

ІНТЕНСИВНІСТЬ
ЗЕМЛЕТРУСУ

величина прояву землетрусу в заданій точці (ділянці) на поверхні Землі, яку визначають за макросейсмічною шкалою на основі даних про сприймання (відчуття) землетрусу людьми, ступінь руйнування (пошкодження) типових будинків і характер змін земної поверхні

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ
СЕЙСМОЛОГІЧНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ

вид дослідження, що полягає в одержанні, обробці та використанні інструментальних записів сейсмічних подій (коливань ґрунту в точці встановлення сейсмометрів) для вивчення будови Землі, планет і вирішення завдань сейсмічного захисту

КАРСТ

сукупність явищ, пов'язаних з дією поверхневих і підземних вод і виражених у розчиненні гірських порід та утворенні в них пустот різного розміру і форми, а також у створенні особливого характеру циркуляції та режиму підземних вод, режиму гідрографічної мережі і характерного рельєфу місцевості

КАТАЛОГ
ЗЕМЛЕТРУСІВ

зібрання розміщеної в хронологічному порядку інформації про вогнища землетрусів: час виникнення землетрусу, координати гіпоцентру (широта, довгота, глибина), магнітуда (енергія), параметри механізму вогнища, сейсмічний момент, довірчі інтервали параметрів тощо

КАТАСТРОФА
ПРИРОДНА
і ТЕХНОГЕННА

подія, що виникла внаслідок зовнішніх впливів природного або техногенного походження і супроводжується негативними наслідками глобального чи регіонального масштабів: нанесенням непоправних збитків довкіллю, численними людськими жертвами, прямими і опосередкованими економічними збитками тощо

ЛІТОСФЕРНА
ПЛИТА

найбільший за розміром і стабільністю сегмент літосфери, оконтурений серединно-океанічними хребтами, рифтовими зонами та зонами зіткнення материкових плит

ЛОКАЛЬНА
СЕЙСМІЧНІСТЬ

сейсмічність у межах визначеної ділянки

МАГНІТУДА

величина землетрусу у вогнищі, пропорційна кількості енергії, випроміненої з вогнища у сейсмічні хвилі, яка визначається за однією з магнітудних шкал (у тому числі шкалою Ріхтера) на основі значення десяткового логарифму максимальної амплітуди коливання ґрунту, записаного при проходженні сейсмічної хвилі певного типу, із внесенням стандартних поправок за епіцентральну відстань і глибину гіпоцентру

МАЙДАНЧИК АЕС

територія в межах охоронного периметра, де розміщені основні та допоміжні будівлі і споруди АЕС

МАКРОСЕЙСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	дослідження прояву землетрусів на поверхні Землі для їхнього зіставлення із шкалами сейсмічної інтенсивності з метою встановлення територіального розподілу сейсмічної бальності, побудови карт ізосейст, встановлення параметрів вогнища, вивчення будови і динаміки середовища
МАКСИМАЛЬНИЙ РОЗРАХУНКОВИЙ ЗЕМЛЕТРУС (МРЗ)	землетрус максимальної інтенсивності на майданчику АЕС з періодом повторення один раз на 10 000 років
МІКРОСЕЙСМИ	відносно слабкі квазістаціонарні коливання поверхні ґрунту, викликані сейсмічними хвилями від внутрішньоземних і зовнішніх джерел: "шумів" Землі, гравіметричних флуктуацій, морських штормів, прибою, поривів вітру, гроз, зміни температури, виробничих шумів, транспорту тощо
МОНІТОРИНГ	безперервне контролювання процесу, аналізування і моделювання з метою прогнозування його розвитку та прийняття в разі потреби відповідних заходів захисту
НАВЕДЕНА СЕЙСМІЧНІСТЬ	посилення сейсмічної активності, пов'язане з інженерною діяльністю людини
НАСЛІДКИ ЗЕМЛЕТРУСУ	викликані землетрусом негативні техногенні, екологічні та соціальні явища
НОРМАЛЬНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ	експлуатація потенційно небезпечного об'єкта у визначених проектом умовах із забезпеченням проектних значень параметрів і характеристик стану систем (елементів) і об'єкта в цілому
ОБ'ЄКТ	машина, обладнання, технологічна система, будинки, споруди чи комплекс, що функціонують як одне ціле
ПЛЕЙСТОСЕЙСТОВА ОБЛАСТЬ	область руйнувань і незворотних змін середовища навколо епіцентральної (гіпоцентральної) зони землетрусу
ПРОВІСНИКИ ЗЕМЛЕТРУСІВ	аномальні зміни параметрів геофізичних полів (магнітного, електричного, електромагнітного, гравітаційного, еманаційного, електроємісійного тощо), викликані локальним процесом підготовки землетрусу

**ПРОГНОЗ
ЗЕМЛЕТРУСІВ**

прогнозування часу, місця і сили майбутньої сейсмічної події. Залежно від тривалості тривожного інтервалу прогноз може бути оперативним (години), короткостроковим (дні), середньостроковим (місяці) і довгостроковим (роки)

**ПРОЕКТНА
АВАРІЯ**

аварія, для якої проектом передбачено початкові умови, кінцевий стан і системи безпеки, які мають забезпечити (з урахуванням принципу одиначної відмови системи безпеки чи однієї незалежної від початкової події помилки персоналу) мінімізацію негативних наслідків

**ПРОЕКТНИЙ
ЗЕМЛЕТРУС (ПЗ)**

землетрус максимальної інтенсивності на майданчику потенційно небезпечного об'єкта, зокрема АЕС, з періодом повторення один раз в 100 років

**ПРОСІДАННЯ
І ПРОВАЛИ**

негативні форми рельєфу, що виникають унаслідок обвалів порід над карстовими, термокарстовими порожнинами та порожнинами, які виникають у результаті відкачування води, нафти та газу

**ПУНКТ
БУДІВНИЦТВА
АЕС**

територія, яку розглядають з метою будівництва АЕС, що дозволяє розмістити декілька майданчиків, для яких ландшафтно-географічні та ситуаційні умови: взаємне розміщення АЕС і міст, великих підприємств та інших об'єктів, умови водопостачання, транспортні умови, соціально-демографічні, агропромислові і виробничі умови схожі за своїми характеристиками

**МАЙДАНЧИК
БУДІВНИЦТВА
АЕС**

територія в межах охоронного периметра, де розташовані основні і допоміжні будівлі та споруди АЕС (майданчик АЕС) і територія за межами огорожі, де розміщені відкрите розподільне обладнання, зовнішні гідроспоруди, водойми-охолоджувачі, градирні, підвідні та відвідні канали, очисні споруди, шламовідвали, будівельна база, селище, господарсько-питний водозабір, автомобільні шляхи та залізниці, теплотраси, мережі водопроводу і каналізації, інші інженерні мережі тощо

РАЙОН РОЗМІЩЕННЯ АЕС	територія навколо майданчика АЕС, де можливі явища, процеси та чинники природного і техногенного походження, здатні негативно впливати на безпеку АЕС
РЕГІОНАЛЬНА СЕЙСМІЧНІСТЬ	сейсмічність досліджуваного регіону
РЕЄСТРАЦІЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ	запис коливань ґрунту, зумовлених проходженням сейсмічних хвиль, викликаних землетрусом
РИЗИК	можливість (імовірність) нанесення шкоди життю і здоров'ю людини, спорудам та/або довкіллю
РОЗЛОМ (РОЗРИВ)	тріщина (або зона тріщин) у гірських породах (тектонічне порушення суцільності гірських порід), різні боки якої взаємно зміщені
РОЗРІДЖЕННЯ ҐРУНТУ	втрата міцності та жорсткості водонасичених ґрунтів унаслідок динамічних впливів (землетрусів, вибухів, вібрацій), у результаті яких під час землетрусу породи поведуться не як волога тверда маса, а як густа рідина
СЕЙСМІЧНА АКТИВНІСТЬ	кількісна міра сейсмічного режиму, яка визначається середнім числом землетрусів заданого енергетичного класу, що виникають на одиничній ділянці території протягом року
СЕЙСМІЧНА ЕНЕРГІЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ	частина енергії землетрусу, що йде на утворення сейсмічних хвиль
СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА	величина максимальних сейсмічних впливів (у балах інтенсивності сейсмічних струшувань або у фізичних характеристиках сейсмічних рухів), прогнозованих у певному пункті із заданою повторюваністю та ймовірністю неперевищення
СЕЙСМІЧНА СТАНЦІЯ	комплекс апаратури для запису (реєстрації) сейсмічних коливань
СЕЙСМІЧНІСТЬ	розподіл землетрусів з різними параметрами у просторі і часі
СЕЙСМІЧНІСТЬ МАЙДАНЧИКА АЕС	інтенсивність сейсмічних впливів при ПЗ і МРЗ на майданчику АЕС у балах шкали MSK-64

СЕЙСМІЧНИЙ ПОЯС	глобальні протяжні зони концентрації вогнищ землетрусів
СЕЙСМІЧНИЙ РЕЖИМ	характеристика сейсмічності території, яка описується графіками повторюваності землетрусів, графіками виділеної енергії, сейсмічною активністю і сейсмічною струшуваністю
СЕЙСМІЧНЕ МІКРО-РАЙОНУВАННЯ (СМР)	комплекс спеціальних робіт з прогнозування впливу особливостей приповерхневої будови середовища на майданчику, фізичних властивостей і стану порід, характеру їхнього обводнення, рельєфу тощо на приріст сейсмічної небезпеки і параметри коливань ґрунту
СЕЙСМІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ (СР)	один з основних напрямів сейсмології, завдання якого полягає в оцінюванні рівня потенційної сейсмічної небезпеки досліджуваної території. Нормативними документами встановлено три види СР (ЗСР, ДСР, СМР), що відрізняються масштабами, об'єктами і завданнями дослідження
СЕЙСМОАКТИВНА ЗОНА	зона виділена за комплексом сейсмологічних і геолого-геофізичних ознак, у межах якої спостерігається тектонічно приурочена сучасна сейсмічна активність
СЕЙСМО-ГЕНЕРУЮЧА ЗОНА	зона активізованого розлому або декількох зближених активних розломів у земній корі, переміщення по яких призводять до розрядки внутрішньокорових напружень і виникнення землетрусів
СЕЙСМОГРАМА	розгорнутий у часі запис проєкцій на координатні осі коливань поверхні Землі, зареєстрований сейсмографом
СЕЙСМОЛОГІЯ	наука про землетруси та пов'язані з ними явища. Під сейсмологією сьогодні розуміють не тільки систематизацію та аналіз сейсмометричних спостережень, але і вивчення широкого комплексу інформації геолого-тектонічного, геофізичного, гідрохімічного, біологічного та іншого змісту з метою пізнання закономірностей локалізації вогнищ сильних землетрусів, часу їхнього виникнення і поширення динамічних впливів від них

**СЕЙСМОСТІЙКЕ
БУДІВНИЦТВО**

зведення будинків і споруд, здатних перенести сейсмічні впливи заданого рівня з ушкодженнями, що не загрожують життю людей і забезпечують збереження обладнання та устаткування. Рівень (інтенсивність) можливих сейсмічних впливів на майданчику будівництва у балах визначають за картами ЗСР, ДСР, СМР

**СЕЙСМО-
СТІЙКІСТЬ
КОМПОНЕНТІВ
АЕС**

властивість компонентів АЕС зберігати під час землетрусу здатність виконувати передбачені проектом функції

СИСТЕМИ

сукупність елементів, призначених для виконання заданих функцій

**СИСТЕМИ
БЕЗПЕКИ**

системи (елементи, будинки, споруди), призначені для виконання функцій безпеки

**СИСТЕМИ,
ВАЖЛИВІ
ДЛЯ БЕЗПЕКИ**

системи безпеки, а також системи нормальної експлуатації, відмови яких порушують нормальну експлуатацію потенційно небезпечного об'єкта і можуть призвести до проектних і за-проектних аварій

**СИСТЕМИ
НОРМАЛЬНОЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

системи, призначені і необхідні для нормальної експлуатації (експлуатації об'єкта при стабільних режимах роботи, а також при режимах з відхиленням параметрів, що не перевищують установлені межі безпечної експлуатації)

СТІЙКІСТЬ

збереження показника виконання своїх функцій і значень параметрів у межах, установлених нормами, у разі зовнішніх впливів природного та/або техногенного походження і після них

**СУФОЗІЙНІ
ПРОЦЕСИ**

розущільнення пухких ґрунтів підземними водами з винесеннями дрібних фракцій або всієї ґрунтової маси з утворенням суфозійних пустот, провалів і просідання земної поверхні над ними

СЦЕНАРІЙ

логічна послідовність взаємопов'язаних станів об'єкта або складної технічної системи, можливих у разі зовнішніх впливів, включених до проектних основ

ТЕКТОНІЧНІ
ЗЕМЛЕТРУСИ

зумовлені тектонічними процесами землетруси, що виникають у результаті раптового вивільнення енергії, накопиченої під час деформації великих обсягів гірських порід у надрах Землі

ТЕХНІКО-
ЕКОНОМІЧНЕ
ОБҐРУНТУВАННЯ
БУДІВНИЦТВА
АЕС

основний документ для прийняття рішення про проектування АЕС, комплексу будівель і споруд, що входять до її складу

УРАХУВАННЯ
ЗОВНІШНІХ
ВПЛИВІВ

діяльність щодо забезпечення потенційно небезпечного об'єкта в певних умовах розміщення протягом усього періоду експлуатації об'єкта, результати якої відображають у проектно-конструкторських рішеннях і захисних заходах, організаційно-технічних заходах із супроводження експлуатації об'єкта (регламентах з експлуатації, інструкціях щодо організації контролю, з проведення аналізу стану об'єкта, безпечного виведення з експлуатації об'єкта, якщо будуть перевищені межі значень впливу, прийнятих до складу проектних основ тощо)

ФОРШОК

група слабких сейсмічних поштовхів у районі основного вогнища землетрусу, що передують йому

ЧАС
ВИНИКНЕННЯ
ЗЕМЛЕТРУСУ

момент початку розривоутворення у вогнищі землетрусу (іноді називають часом у вогнищі)

ЦУНАМІ

потужна довга хвиля в морі або океані, викликана зазвичай переміщенням морського дна над вогнищем землетрусу або підводним зсувом чи обвалом. У відкритому океані хвиля цунамі практично не помітна. Але при наближенні до узбережжя нижня частина хвилі гальмується, її довжина зменшується і відповідно збільшується амплітуда

ЛІТЕРАТУРА

1. *Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н.* Природные и техногенные ситуации: опасности, угрозы, риски. – М.: Деловой экспресс, 2001.
2. *Алексеев А.С., Николаев А.В.* Технология исследования среды землетрясений // Вести РАН. – 1999. – Т. 69. – № 8. – С. 754–760.
3. *Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Коломнец Ю.И.* Автоматизированное проектирование систем обеспечения безопасности больших городов // Проблемы безопасности при ЧС. – 1997. – № 7. – С. 41–57.
4. *Альварес У., Азаро Ф.* Удар из космоса // В мире науки. – 1990. – № 12. – С. 32–47.
5. Анализ и проверка сейсмостойкости атомных электростанций. Руководство по безопасности МАГАТЭ № 50-SG-S1. – Вена: МАГАТЭ, 1981.
6. Анализ риска: Процессы и применение. Заявление Американской Ассоциации Инженерных обществ. – ASME, 1996.
7. *Ананьин И.В.* Сейсмоактивные зоны Восточно-европейской платформы и Урала // Комплексная оценка сейсмической опасности. Вопр. инженерной сейсмологии. – М.: Наука, – 1991. – № 32. – С. 106–125.
8. *Андреев В.Н., Медведев В.Н.* Проблемы сейсмического риска в республике Саха (Якутия) // Сб. док. семинара "Проблемы геодинимики и прогноза землетрясений". – Хабаровск, 2000.
9. *Антикаев Ф.Ф., Барковский Е.В., Кедров О.К.* О сейсмическом событии 26 апреля 1986 года в районе Чернобыльской АЭС // Физика Земли. – 2000. – № 3. – С. 75–80.
10. *Архангельский И.В.* Геологические аспекты строительства хранилищ радиоактивных отходов на северо-западе России // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 5. – С. 437–444.
11. Атлас временных вариаций природных процессов. Т. 1. Порядок и хаос в атмосфере и других сферах. – М., 1994.
12. *Бабич І.Л., Веклич А.М., Вижва С.А., Чередарчук А.І.* Проблеми обмеження забруднення атмосфери парниковими газами антропогенного походження у зв'язку з виконанням міжнародних зобов'язань України // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 1998. – Вип. 15. – С. 4–9.

-
-
13. *Бабич І.Л., Веклич А.М., Вижва С.А., Чередарчук А.І.* Роль нафтогазового комплексу у вирішенні проблеми обмеження забруднення атмосфери парниковими газами антропогенного походження // Вісн. Укр. Будинку екон. і наук.-екон. знань. – 1998. – № 7. – С. 11–12.
 14. *Безопасность атомных электростанций – выбор площадок для АЭС. Свод положений. Нормы МАГАТЭ по безопасности № 50-C-S.* – Вена: МАГАТЭ, 1979.
 15. *Безопасность больших городов : Тез. докл. науч.-практ. конф.* – М., 1997.
 16. *Безопасность жизнедеятельности / Под ред. С.В. Белова.* – М., 1999.
 17. *Безопасность России. Региональные проблемы безопасности с учётом риска возникновения природных и техногенных катастроф.* – М.: МГФ "Знания"; 1999.
 18. *Безсмертний А.Ф., Саломатин В.Н.* Решение инженерно-геологических задач на основании результатов наблюдений естественного импульсного электромагнитного поля Земли // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 1. – С. 119–126.
 19. *Белюсов В.И., Кедровский О.Л., Карамушка В.П. и др.* Способ захоронения радиоактивных и других химических вредных отходов в дренажных системах геологических формаций, сложенных породами алюмосиликатного состава // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 1. – С. 28–31.
 20. *Берри Б.Л.* Концепция разработки мониторинга литосферы природно-технических систем // Разработка концепции мониторинга природно-технических систем. – М.: ИФЗ РАН, 1993. – Т. 1. – С. 50–59.
 21. *Бинцель Р.П., Баруччи М.А., Фулчиньони М.* Происхождение астероидов // В мире науки. – 1991. – № 12. – С. 54–63.
 22. *Богословский В.А., Вахромеев Г.С.* Модели воздействия физических и геофизических полей на геологическую среду и живые организмы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 1. – С. 67–71.
 23. *Бойченко С.Г.* Реакція кліматичних умов України та повторюваності катастрофічних явищ на глобальне потепління: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – К., 2001.
 24. *Боборыкин А.М., Гарецкий Р.Г., Сафронов О.Н.,* О методике сейсмического районирования древних платформ // Сейсмологические исследования. – Минск: ИГН АН Беларуси, 1995. – Вып. 1. – С. 5–9.
 25. *Борисенко Л.С., Сафронов О.Н., Пустовитенко Б.Г.* Сейсмогенные зоны платформенной части Украины и Азовско-Черноморского региона // Геодинамика и сейсмопрогностические исследования на Украине. – К.: Наук. думка, 1992. – С. 31–41.

26. Бугаев Е.Г. Методика оценки максимального потенциала платформенных землетрясений (на примере условий размещения площадки Калининской АЭС) // Физика Земли. – 1999. – № 2. – С. 35–51.
27. Бугаев Е.Г., Степанов В.В. О порядке выполнения работ по оценке сейсмической опасности участков строительства атомных станций // Оценка сейсмических условий площадок строительства атомных энергетических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 3–10.
28. Бутрим О.В. Розвиток і розміщення потенційно-небезпечних виробництв у містах України та їхній вплив на економіку техногенно-екологічної безпеки: Дис. ... канд. екон. наук. – К., 1998.
29. Ваганов П.А. Ядерный риск. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001.
30. Варга А.А. Вероятностный анализ безопасности гидротехнических сооружений при взаимодействии с геологической средой // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 2. – С. 99–111.
31. Васильев В.Г. Накануне рождения естествознания XXI века. – М.: Белые Альвы, 2002.
32. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-та, 1995.
33. Веселов К.Е., Долицкая Т.В. Релятивистские эффекты в геологическом и планетарном развитии Земли и Солнца // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 3. – С. 80–90.
34. Вербицкий Т.З., Кузнецова В.Г., Кутас Р.Н. и др. Методика обработки и анализа данных геофизического мониторинга сейсмических процессов в Закарпатье и некоторые результаты их использования // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 3. – С. 9–17.
35. Веселовский А.В., Мещерякова В.Б., Мельников И.В. и др. Построение информационной системы для геоэкологического мониторинга рудных месторождений (на примере месторождений золота, платины, урана) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 5. – С. 395–403.
36. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К.: ВГЛ "Обрій", 2004.
37. Вижва С.А., Винниченко О.Б. Застосування імовірнісних методів аналізу для визначення ризику потенційно небезпечних об'єктів // 36. наук. праць УкрДГРІ. – 2003. – Вип. 1. – С. 54–58.
38. Вижва С.А., Винниченко О.Б. Складові, сучасні підходи та особливості оцінки сейсмічного ризику території України // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 23. – С. 13–17.

-
39. *Вижва С.А., Дейнеко С.І., Іванченко К.П.* Моніторинг фізичних властивостей ґрунтів радіоізотопними методами // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : IV Міжнар. наук. конф. – К.: ВГЛ "Обрій", 2003. – С. 123–124.
40. *Вижва С.А., Кожан О.М.* Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : III Міжнар. конф. // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2003. – Вип. 27. – С. 122–126.
41. *Вижва С.А., Кожан О.М.* Проблеми геофізичного моніторингу великих промислових агломерацій // Геофиз. журн. – 2004. – Т. 26. – № 1. – С. 80–86.
42. *Вижва С.А., Кубкова Н.В.* Проблеми геофізичного моніторингу територій міських агломерацій // Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : Міжнар. наук. конф. – К., 2000. – С. 36–37.
43. *Вижва С.А., Онищук І.І., Безродний Д.А.* Екогеофізичний моніторинг міських агломерацій // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2003. – Вип. 25. – С. 71–75.
44. *Вижва С.А., Тищенко А.П.* Можливості застосування геофізичних методів при дослідженні і контролі за зміною геологічного середовища на території розташування сховищ радіоактивних відходів // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : IV Міжнар. наук. конф. – К.: ВГЛ "Обрій", 2003. – С. 126–127.
45. *Вижва С.А., Черніговцева О.Б.* Сучасні підходи до оцінки сейсмічної небезпеки при будівництві потенційно небезпечних промислових об'єктів // Будівництво в сейсмічних районах України : Міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта, 1999. – С. 71–72.
46. *Вижва С.А., Черніговцева О.Б.* Сучасні підходи до організації сейсмічного моніторингу як частини геофізичного моніторингу довкілля // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2001. – № 19 – С. 24–28.
47. *Винниченко О.Б.* Аналіз сейсмічного ризику потенційно небезпечних об'єктів, розміщених на території України // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2004. – № 29–30. – С. 46–51.
48. *Винниченко О.Б.* Аналіз сейсмічного ризику та оцінка впливу природних і техногенних процесів на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : IV Міжнар. наук. конф. – К.: ВГЛ "Обрій", 2003. – С. 98–99.
49. *Винниченко О.Б., Дейнеко С.І., Іванченко Е.П.* Учет сейсмического риска при выборе площадки для размещения АЭС // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики : Зб. наук. праць. – К.: 2007. – С. 80–94.

50. Винниченко О.Б., Качалін І.Г. Практичні підходи до реалізації методики аналізу сейсмічного ризику потенційно небезпечних об'єктів. Сейсмічний моніторинг // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2005. – № 34–35. – С. 86–90.
51. Вознесенский Е.А. Землетрясения и динамика грунтов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1998. – № 2. – С. 101–108.
52. Гаврилин Ю. Вокруг процесса разрушения реактора на Чернобыльской АЭС и конструктивность критики // Бюл. по атомной энергии. – 2004. – № 11. – С. 50–55.
53. Гай А.Е. Математические модели активного и пассивного сейсмоакустического мониторинга природных и природно-технических систем: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. – К., 2002.
54. Голиздра Г.Я. Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения земной коры. – М.: Недра, 1988.
55. Гольцман Ф.М., Калинина Т.Б. Комплексование геофизических наблюдений // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1973. – № 8. – С. 31–43.
56. Грив Р.А.Ф. Образование ударных кратеров на Земле // В мире науки. – 1990. – № 6. – С. 36–44.
57. Гамбурцев А.Г. Некоторые представления об изменяющейся во времени геологической среде и ее мониторинге // Разработка концепции мониторинга природно-технических систем. – М.: ИФЗ РАН. – 1993. – Т. 1. – С. 9–15.
58. Геологические критерии выделения перспективных территорий для захоронения отвержденных радиоактивных отходов при региональных исследованиях / В.Л. Миловидов, О.А. Прокопова, И.И. Рыженков, С.В. Швец. – Радиактивные отходы проблемы и решения. – М.: ЯО, 1992. – Ч. 2. – С. 335–360.
59. Геофизические исследования и сейсмоструктура района размещения Чернобыльской АЭС / С.В. Казаков, В.Д. Омельченко, С.И. Рыбалко, О.Н. Сафронов – К.: ИГФ НАН Украины, 1994.
60. Горобинский С.Б. Управление промышленной безопасностью. – Луганск: ВУГУ, 1999.
61. ГОСТ Р22.0.03-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М., 1995.
62. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. – М.: Мир, 1979.
63. Гусельцев А.С., Пендин В.В. Диагностика состояния и организация мониторинга литотехнических систем расконсервируемых атомных станций // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 3. – С. 204–213.

64. Данные о сейсмичности Чернобыльской АЭС. Отчет Института "Гидропроект". – М., 1978.

65. *Дмитрук В.И.* Научно-практические вопросы анализа и управления рисками на нефтегазодобывающих предприятиях // *Вопр. анализа риска.* – 2000. – № 3–4 // <http://escoil.far.ru>

66. Доисследование геолого-тектонических условий и сейсмической опасности района и площадки Южно-Украинского энергокомплекса / *О.Н. Сафронов, О.М. Харитонов, И.К. Пашкевич, А.В. Кендзера* – К.: ИГФ НАН Украины, Симферополь; Киев, 1992.

67. *Дядюра В.А.* Важное направление сейсмоакустики // *Геофиз. журн.* – 1999. – Т. 21. – № 6. – С. 89–90.

68. *Дядюра В.А., Будкевич В.Б., Качалин И.Г.* Украинская сейсмическая группа // *Геофиз. журн.* – 2000. – Т. 22. – № 6. – С. 184–190.

69. *Дядюра В.А., Михайлик И.Ю., Пененко А.В. и др.* Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств // *Геофиз. журн.* – 2000. – Т. 22. – № 3. – С. 70–77.

70. *Дядюра В.А., Михайлик И.Ю., Пененко А.В. и др.* Украинская сейсмическая группа. Специализированная цифровая система сбора сейсмической информации // *Геофиз. журн.* – 2000. – Т. 22. – № 3. – С. 78–81.

71. *Елохин А.Н.* Анализ и управление риском: теория и практика. – М.: Лукойл, 2000.

72. *Еремеев Н.А., Сотников Ю.Г.* Геолого-геофизические аспекты создания вневедомственного экологического мониторинга мест хранения и переработки ОЯТ // <http://polar.mephi.ru/ru/conf/2003/bezor>.

73. *Єфіменко В.М., Лозицький В.Г., Мусатенко С.І.* Сонячна активність та її вплив на геосферу // *Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : III Міжнар. наук. конф.* – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 2002. – С. 10–11.

74. Закон України Про ратифікацію Рішення Ради глав урядів Співдружності незалежних держав про Міждержавну науково-технологічну програму створення системи сейсмологічного моніторингу територій держав – учасниць СНД // *Відомості Верховної Ради.* – 2000. – № 12.

75. *Заславський В.А.* Оптимізація інтегрального регіонального ризику // *Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Фіз.-мат. науки.* – 2004. – № 2. – С. 228–239.

76. Землетрус 3 січня 2002 року в Теребовлянському районі Тернопільської області / *О.В. Кендзера, С.Т. Вербицький, А.Ф. Стасюк та ін.* – *Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія.* – 2002. – № 24. – С. 13–17.

77. *Зубков А.А., Макарова О.В., Данилов В.В. и др.* Техногенные геохимические процессы в песчаных пластах-коллекторах при захоронении

жидких радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 2. – С. 163–174.

78. Израэль Ю. Экология и контроль природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.

79. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61. – Вып. 5. – С. 301–320.

80. Казаков С.В., Омельченко В. Д., Рыбалко С.И. Геофизические исследования и сейсмотектоника района размещения Чернобыльской АЭС. – Чернобыль: ЧАЭС, 1994.

81. Кальченко В.М. Захист населення і територій України від надзвичайних ситуацій: річна доповідь за 1997 р. – К., 1998.

82. Канторович Л.В., Кейлис-Борок В.И., Молчан Г.М. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования // Вычислительная сейсмология. – М.: Наука, 1973. – № 6. – С. 3–20.

83. Каратаев Г.И., Ватлин Б.П., Захарова Т.Л. Методика комплексной геофизической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. – Новосибирск: Наука, 1973.

84. Качалин И.Г., Винниченко Е.Б. Практические подходы к реализации задачи анализа сейсмического риска и оценки воздействия природных и техногенных процессов на территориях размещения потенциально опасных объектов // Мониторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : V Міжнар. наук. конф. – К., 2004. – С. 44–46.

85. Качинський А.Б. Методологія математичного моделювання ризиків в екологічній безпеці України: Дис. ... д-ра техн. наук. – К., 1995.

86. Кедровский О.А. Принципы выбора участков и требования к подземным могильникам отвержденных радиоактивных отходов в слабопроницаемых формациях // Атомная энергия. – 1989. – Т. 67. – С. 28–30.

87. Кедровский О.А. Инженерная радиоэкология – научная основа для разработки способов удаления радиоактивных отходов в геологические формации // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 1. – С. 34–38.

88. Кедровский О.А., Чесноков С.А. Геоэкологические проблемы создания долговременных хранилищ радиоактивных отходов в прибрежных скальных массивах // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 6. – С. 515–524.

89. Кендзера О.В. Стан та перспективи розвитку сейсмологічної служби України // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2002. – № 19. – С. 15–24.

90. Кендзера О., Вербицький Т., Вербицький С., Вербицький Ю. Цифровий сейсмограф для регіональних спостережень та результати його впробувань // Геодинаміка. – Львів: ЛАГТ, 1998. – Т. 1. – С. 120–126.

91. Кендзера О.В., Назаревич Л.Э., Назаревич А.В. Екологічний ризик від місцевих землетрусів у західних областях України: загальні оцінки і шляхи їх уточнення // Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : III Міжнар. наук. конф. – К., 2002. – С. 27–29.

92. Кендзера О.В., Омельченко В.Д. Сейсмічний моніторинг району розташування Рівненської і Хмельницької АЕС // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С. 10–13.

93. Кендзера О.В., Скляр А.М., Гурова І.Ю., Квачук Л.А. Сейсмічна небезпека території гідровузла Київської ГЕС // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2003. – Вип. 26. – С. 13–17.

94. Киселев А.Н. Сколько ядерного топлива осталось в разрушенном энергоблоке Чернобыльской АЭС? // Бюл. по атомной энергии. – 2002. – № 4.

95. Киселев А.Н., Чечеров К.П. Процесс разрушения реактора на Чернобыльской АЭС // Бюл. по атомной энергии. – 2001. – № 10–11.

96. Ковалевич О.М. Некоторые проблемы риска и управления риском. – М.: НТЦ ЯРБ, 2003.

97. Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск) / Н.В. Аверьянова, Ю.И. Баулин, Г.Л. Кофф и др. – М.: Минстрой России, 1996.

98. К определению максимально возможных магнитуд землетрясений на Восточно-Европейской платформе / А.Ф. Грачев, В.А. Магницкий, Ш.А. Мухамедиев, С.Л. Юнга // Физика Земли. – М., 1996. – № 7. – С. 3–20.

99. Кондорская Н.В., Левин Л.Э., Солодилов Л.Н. и др. Новая методика интерпретации данных о землетрясении и её применение // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 6. – С. 214–215.

100. Короновский Н.В., Абрамов В.А. Землетрясения: причины, последствия, прогноз // Соросовский Образовательный Журнал, 1998. – № 12. – С. 71–78.

101. Королев В.А., Сафронов О.Н. Анализ макросейсмических данных сильных землетрясений зоны Вранча на территории Украины // Геофиз. журн. – 1996. – Т. 18. – № 3. – С. 73–75.

102. Кочкин Б.Т. Концепция выбора места для размещения могильника радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 6. – С. 483–494.

103. Кофф Г.Л. Экономическая оценка последствий катастрофических землетрясений. – М., 1996.
104. Кошелев А.Г., Королёв В.А., Соколов В.Н. Изменение свойств глинистых грунтов при техногенных тепловых воздействиях // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 6. – С. 519–530.
105. Красовский С.С., Куприенко П.Я. Гравитационное моделирование различных структур с использованием корреляционных зависимостей типа $\rho = a + bV\rho$ // Комплексование геофизических методов при изучении литосферы. – М.: Сов. Радио, 1983. – С. 30–38.
106. Кризький М.М. Вплив геологічних процесів у ґрунтових масивах на їхній напружено-деформований стан і збереження та використання територій // Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : Міжнар. наук. конф. – К., 2000. – С. 9–12.
107. Кузнецов И.В., Писаренко В.Ф., Родкин М.В. К проблеме классификации катастроф: параметризация воздействия и ущерба // Геоэкология. – 1998. – № 1. – С. 16–29.
108. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр. – М., 1996. – № 4. – С. 43–53.
109. Кузьменко Г.И. Глубинные процессы Земли // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 5. – С. 3–13.
110. Кузьменко Г.И. Долгосрочный геофизический прогноз. 1 // Геофиз. журн. – 1998. – Т. 20. – № 3. – С. 52–66.
111. Кузьменко Г.И. Долгосрочный геофизический прогноз. 2 // Геофиз. журн. – 1998. – Т. 20. – № 5. – С. 15–22.
112. Кузьменко Г.И. Долгосрочный геофизический прогноз. 3 // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 2. – С. 61–68.
113. Кузьменко Э.Д. Геофизические методы в системе пространственного прогнозирования оползней и их информативность // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : IV Міжнар. наук. конф. – К.: ВГЛ "Обрій", 2003. – С. 82–84.
114. Кульчицкий В.Е. Численное моделирование сейсмичности. 1. Диффузионная одномерная модель // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 2. – С. 52–60.
115. Кульчицкий В.Е., Щербина С.В. Численное моделирование сейсмичности. 2. Фрактальные свойства одномерной диффузионной модели // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 5. – С. 41–44.

-
116. *Кутас В.В., Омельченко В.Д., Остроухова О.А.* Эпицентры землетрясений на юго-западе Украины // *Геофиз. журн.* – 2005. – Т. 27. – № 6. – С. 962–969.
117. *Кэри У.* В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. – М.: Мир, 1991.
118. *Лаверов Н.П., Величкин В.Н., Омеляненко Б.И. и др.* Новые подходы к подземному захоронению высокоактивных отходов в России // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2000. – № 1. – С. 3–12.
119. *Лапочкин Б.К., Журавлёва Т.Ю.* Инженерно-геоэкологическая оценка соляных формаций для захоронения вредных промышленных отходов // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2000. – № 1. – С. 20–27.
120. *Лихачев Э.А., Смирнова Е.Б.* Экологические проблемы Москвы за 150 лет. – М.: ИГРАН, 1994.
121. *Лихачев Э.А., Тимофеев Д.А., Жидков М.П. и др.* Город – экосистема. – М.: ИГРАН, 1996.
122. *Лозицька Н.Й., Хвиля Л.М.* Статистичний аналіз випадків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні протягом 1997–2000 рр. // “Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : III Міжнар. наук. конф. – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 2002. – С. 48–50.
123. *Лутишко Д.Ф.* Астероидная опасность: состояние проблемы // *Университеты.* – 2000. – № 1. – С. 26–36.
124. *Мавлянова Н.Г.* Особенности развития сейсмосинергетических процессов в лёссовых грунтах // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2002. – № 3. – С. 243–248.
125. *Максимчук В.Ю., Кузнецова В.Г., Городиський Ю.М. та ін.* Вивчення сучасної тектонічної активності земної кори в районі розташування Хмельницької атомної електростанції на основі тектономагнітних досліджень // *Геофиз. журн.* – 2001. – Т. 23. – № 1. – С. 82–89.
126. *Малик А.К., Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А.* Безопасность и риск аварий и катастроф на подпорных гидротехнических сооружениях // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2001. – № 4. – С. 349–356.
127. *Маслов Б.П.* Прогнозування надійності експлуатації екологічно небезпечних об'єктів за даними геофізичного моніторингу // *Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : Міжнар. наук. конф. – К., 2000. – С. 38–39.*
128. *Маслов Б.П., Продайвода Г.Т., Выжва С.А.* Математическое моделирование влияния давления и температуры на скорость распрост-

ранения упругих волн в трещиноватых горных породах // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 3. – С. 113–118.

129. Мелихова Е. Чернобыль: взгляд назад для успешного движения вперед. – ИБРАЭ РАН, 2005. – <http://eco-pravda.km.ru/cernob/>.

130. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию // Вопр. инж. сейсмологии. – М.: Наука, 1986. – № 27. – С. 184–212.

131. Методологические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. РД 08-120-96. Госгортехнадзор России. Постановление № 29 от 12.06.96.

132. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками / Под ред. Н.П. Тихомирова. – М.: ЮНИТИ, 2003.

133. Морозов В.Н., Бирюков А.П., Мусеев В.П. Оценка рейтинга структурного блока земной коры при захоронении отвержденных РАО // Радиактивные отходы – проблемы и решения. – М.: ЯО, Атомиздат, 1992. – Ч. 2. – С. 373–380.

134. Морозов В.Н., Родкин М.В., Татаринов В.Н. К проблеме геодинамической безопасности объектов ядерно-топливного цикла // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 3. – С. 227–238.

135. Москва. Город и геология / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. – М.: АО "Московские учебники и картолитография", 1997.

136. Мостовой С.В., Гай А.Е., Мостовой В.С. и др. Математическая модель автоматизированной системы активного сейсмического мониторинга // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23. – № 3. – С. 106–109.

137. Мостовой С.В., Гай А.Е., Мостовой В.С. и др. Поточковая модель активного сейсмического мониторинга // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 6. – С. 191–196.

138. Національна доповідь України про гармонізацію життєдіяльності суспільства у навколишньому природному середовищі. Спец. вид. до 5-ї Всеєвропейської конф. міністрів навколишнього середовища "Довкілля для Європи". – К., 2003.

139. Некоторые итоги обеспечения сейсмостойкости АЭС в России / И.В. Калиберда, Е.Г. Бугаев, В.Г. Бедняков и др. // Вест. госатомнадзора России. – 2004. – № 2. – С. 7–16.

140. Нередкина Т.В., Бузлуков В.В. Определение упругих параметров среды по данным многоволнового AVO-анализа // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – Т. 43. – № 4. – С. 382–394.

-
-
141. *Неручев С.Г.* Зависимость земных геологических и биологических процессов от положения Солнца на орбите вокруг центра Галактики // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 11–12. – С. 1752–1763.
142. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен до 1985 г.). – М.: Наука, 1987.
143. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977.
144. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций ПНАЭ Г-5-006-87 (Приложение 1, 2). – М.: Энергоатомиздат, 1989.
145. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций (НП-031-01) // Вест. Госатомнадзора России. – 2001. – № 6.
146. *Оболенцева И.Р., Нефедкин Ю.А., Крылов Д.В.* Гиротропные свойства песчано-глинистых отложений ВЧР по скважинным измерениям в геоакустическом диапазоне частот // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 10. – С. 1454–1474.
147. *Омельченко В.Д., Сафронов О.Н., Кожухова З.В.* Особенности сейсмотектоники района расположения ЧАЭС : Докл. НАН Украины. – 1994. – № 6. – С. 109–111.
148. ООН Рамочная конвенция об изменении климата. – М., 1992.
149. Основные выводы Международной конференции "Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы" // Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы : Междунар. конф. – К., 2001.
150. *Орлюк М.И.* Геофизическая экология – основные задачи и пути их решения // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23. – № 1. – С. 49–59.
151. О результатах доизучения глубинного строения литосферы расположения ЧАЭС в связи с оценкой сейсмической опасности строительства и эксплуатации проекта (за 1990–1992 гг.) / В.Д. Омельченко, О.М. Харитонов, О.Н. Сафронов, А.В. Кендзера. – К.: ИГФ НАН Украины, 1992.
152. О результатах работ по оценке сейсмической опасности района ХОЯТ-2 (Чернобыльская АЭС) / В.Д. Омельченко, О.Н. Сафронов, А.В. Кендзера, Е.П. Иванченко. – К.: ИГФ НАН Украины, Киев; Симферополь; Львов, 1993.
153. *Омельченко В.Д., Харитонов О.М., Скляр А.М.* Сейсмическое микрорайонирование промплощадки ЧАЭС и сейсмический мониторинг объекта "Укрытие" (за 1995–1996 гг.). – К.: ИГФ НАН Украины, 1996.
154. Определение сейсмической опасности района строительства Киевской АТЭС на стадии ТЭО для выбора площадки строительства / Б.Г. Пустовитенко, Г.В. Лисиченко, Р.П. Купраш, О.Н. Сафронов – К.: ИГФ НАН Украины, 1986.

155. Осипов В.А. Особенности экологического риска и критерии его оценки // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. – С. 29–32.
156. Осипов В.И. Оценка и прогнозирование рисков природных катастроф на территории России / Доклад на заседании Президиума РАН 17 февраля 2004 г. // <http://www.geoenv.ru>.
157. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 6. – С. 483–488.
158. Осипов В.И. Экологические императивы и глобальные тенденции на рубеже XXI века // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 4. – С. 293–309.
159. Осипов В.И., Ярыгин Г.А., Айбуламов Н.А. и др. Обеспечение экологической безопасности газопровода Россия–Турция // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 2. – С. 101–106.
160. Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АЭС (СППНАЭ-87 п. 4.1.) – М., 1987.
161. Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций // Серия изданий по безопасности № NS-G-1.2. – Вена: МАГАТЭ, 2004.
162. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / Отв. ред. О.В. Павлов. – М.: Наука, 1988.
163. Оценка и управление природными рисками // Риск-2000 : Общерос. конф. / Под ред. А.Л. Рагозина. – М., 2000.
164. Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно-и радиационноопасных объектов на основании геодинамических данных. РБ-019-01. – М., 2001.
165. Оценка сейсмической опасности района строительства электростанции / Н.В. Шебалин, А.И. Ратникова, В.В. Штейнберг и др. // Вопр. инженерной сейсмологии. – М.: Наука, 1976.
166. Павленкова Н.И. Комплексная интерпретация данных ГСЗ и гравиметрии // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1978. – № 2. – С. 38–46.
167. Паталаха Е., Трегубенко В. Гигантское цунами в Индийском океане (26.12.04) – Геодинамика и уроки для Украины // Геолог України. – 2005. – № 1. – С. 77–87.

168. Пігулевський П.Г., Дрімлюга І.Є., Тяпкін О.К. Використання геофізичних даних при вивченні сейсмічної небезпеки районів атомних електростанцій півдня України // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 24. – С. 66–71.

169. Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Динамика роста числа жертв от землетрясений: нелинейность режима и связь с социально-экономическими показателями // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 4. – С. 329–340.

170. Полищук В.И. О пассивном обнаружении подземных объектов путём использования естественного импульсного электромагнитного излучения // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 5. – С. 56–60.

171. Про державний моніторинг навколишнього природного середовища : Положення КМ України № 785 від 23 верес. 1993 р. // www.rada.kiev.ua.

172. Попов Н. Страницы Чернобыльской трагедии // Вестник Чернобыля. – 2001. – № 21 (1173).

173. Про затвердження Положення про моніторинг земель : Постанова Кабінету Міністрів України № 661 від 20.08.93 // www.rada.kiev.ua

174. Про затвердження Положення про національну систему сейсмічних спостережень і підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах, Положення про міжвідомчу комісію із сейсмічного моніторингу та Програми функціонування і розвитку національної системи сейсмічних спостережень і підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах : Постанова Кабінету Міністрів України № 699 від 28.06.97 // www.rada.kiev.ua.

175. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Кабінету Міністрів України № 391 від 30.03.98 // www.rada.kiev.ua.

176. Правила и нормы в атомной энергетике. Основания реакторных отделений атомных станций (ПиНАЭ Г-5.10-87). – М.: МАЭ СССР, 1987.

177. Продайвода Г.Т. Нова інтерпретаційна технологія геофізичного моніторингу небезпечних природних і техногенних процесів // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 23. – С. 5–7.

178. Продайвода Г.Т. Основи сейсмоакустики. – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 2001.

179. Продайвода Г.Т. Сучасна модель еволюції Землі і геодинаміки // Зб. наук. праць Геолог. ін-ту Київ. ун-ту. – 1995. – № 2. – С. 115–130.

180. Продайвода Г.Т. Теоретичні основи сейсмоакустики нетрадиційних резервуарів нафти і газу // Наук. зап. АН ВШ України. – 1999. – Вип. 2. – С. 165–177.

181. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А.* Анізотропія пружних і акустичних властивостей осадових порід Лисівської глибокої свердловини // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2000. – Вип. 16. – С. 52–62.

182. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А.* Математичне моделювання геофізичних параметрів: Навч. посібник. – К.: Вид-во Київ. ун-ту, 1999.

183. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А.* Нова наукова парадигма геофізичного моніторингу геодинаміки земної кори // Актуальні проблеми геології України : Наук. конф. – К., 2000. – С. 74–75.

184. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А.* Проблеми геофізичного моніторингу небезпечних природних і техногенних явищ // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2001. – Вип. 19. – С. 8–15.

185. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А.* Проблеми комплексної геодинамічної інтерпретації даних геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів // Доп. НАН України. – 2004. – № 3. – С. 121–127.

186. *Продайвода Г.Т., Хорошун Л.П., Коболєв В.П., Назаренко Л.В.* Математичне моделювання азимутальної анізотропії теплопровідності океанічної верхньої мантії // Геофиз. журн. – 2000. – Т. 22. – № 5. – С. 44–54.

187. *Продайвода Г.Т., Хорошун Л.П., Назаренко Л.В., Вижва С.А.* Математическое моделирование азимутальной анизотропии термоупругих свойств океанической верхней мантии // Физика Земли. – 2000. – № 5. – С. 48–60.

188. Про забезпечення своєчасного впровадження та організації ефективної експлуатації системи радіаційного моніторингу і раннього оповіщення ГАММА : Розпорядження прем'єр-міністра України № 3533-р від 16.06.95 // www.rada.kiev.ua.

189. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод : Постанова Кабінету Міністрів України № 815 від 20.07.96 // www.rada.kiev.ua.

190. Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова Кабінету Міністрів України № 343 від 09.03.99 // www.rada.kiev.ua.

191. Про створення національної системи сейсмічних спостережень і підвищення безпеки проживання населення у сейсмонезбезпечних регіонах : Постанова Кабінету Міністрів України № 728 від 11.09.95 // www.rada.kiev.ua.

192. *Прозоров Л.Л.* Экологические функции литосферы (естественнонаучная практика) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 1. – С. 78–83.

-
193. *Пустовітенко Б.Г.* Сейсмічні процеси в Чорноморському регіоні та сейсмічна небезпека Криму: Автореф. дис. ... д-ра фіз.-мат. Наук. – К., 2003.
194. *Пустовітенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.* Прогноз сейсмической опасности экологически опасных объектов Украины – проблемы и новые знания // Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : III Міжнар. наук. конф. – К., 2002. – С. 72–73.
195. *Пустовітенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С. и др.* Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 6. – С. 3–15.
196. *Пустовітенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовітенко А.А.* К методике оценки сейсмических воздействий для объектов повышенного сейсмического риска на территории Украины // Будівництво в сейсмічних районах України : Зб. наук. праць. – К., 2004. – С. 49–55.
197. *Пустовітенко Б.Г., Скляр А.М.* Сейсмогеологические аспекты оценки сейсмического риска для территории г. Измаила // Геофиз. журн. – 1996. – Т. 18. – № 1. – С. 73–80.
198. *Пустозёров М.Г.* Комплекс геофизических методов для изучения углеводородных загрязнений геологической среды // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 4. – С. 375–384.
199. *Рагозин А.А.* Основные подходы к организации мониторинга природно-технических систем с целью снижения ущерба от природно-техногенных катастроф // Разработка концепции мониторинга природно-технических систем. – М.: ИФГ РАН, 1993. – Т. 1. – № 16. – С. 84–90.
200. *Рагозин А.А.* Основные положения методики оценки риска от землетрясений и других опасных процессов // Сейсмический риск и сейсмическое микрорайонирование : Межреспубл. науч. семинар. – Иркутск, 1994. – С. 8–9.
201. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности, (ПНАЭ Г-03-033-93). – М., 1993.
202. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства / Под ред. С.А. Федорова. – М.: Госстрой СССР, 1985.
203. *Ризниченко Ю.В.* Расчет сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области // Физика Земли. – М.: Наука, 1966.
204. Рішення про Міждержавну науково-технологічну програму створення системи сейсмологічного моніторингу територій держав – учасниць СНД. 997-192.25/11/1998 // www.rada.kiev.ua.

205. Руководство по инженерным изысканиям для теплоэнергетического строительства. Разд. 4 проекта. Ред. от 27.05.83. – М.: Атомтеплоэнергопроект, 1983.

206. Рухадзе А.А. Тайна четвертого реактора // Политический журнал. – 2004. – № 16(19)/17 // <http://www.politjournal.ru>.

207. Рыжиков Г.А., Троян В.Н. Томографические функционалы в интерпретационных задачах зондирования упругими волнами // Вопр. динамической теории распространения сейсмических волн. – Л.: Наука, 1989. – Вып. 28. – С. 87–90.

208. Рященко Т.Г. Анализ инженерно-геологических условий при сейсмическом микрорайонировании (на примере площадки Билибинской АЭС и межгорных впадин Монголии) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 1. – С. 56–65.

209. Сафронов О.Н., Сим Л.А., Рейснер Г.И. и др. Оценка сейсмо-тектонических условий Ровенской и Хмельницкой АЭС. – Симферополь, 1998.

210. Сбор, анализ геолого-геофизических и сейсмологических материалов к ТЗ "Доисследование геолого-тектонических условий и сейсмической опасности района, пункта и площадки Хмельницкой АЭС / О.Н. Сафронов, Е.П. Иванченко и др. – К.: ИГФ НАН Украины и КИИЗИ "Энергопроект", Симферополь; Киев, 1993.

211. Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Анализ геомагнитных вариаций в связи с землетрясениями в Крымско-Херсонском регионе // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23. – № 1. – С. 115–120.

212. Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС // Геофиз. журн. / В.Н. Страхов, В.И. Старостенко, О.М. Харитонов, Ф.Ф. Аптикаев. – 1997. – Т. 19. – № 3. – С. 3–15.

213. Создание на базе новых исходных сейсмологических и геолого-геофизических данных системы унифицированных параметров, характеризующих сейсмичность, для уточнения сейсмической опасности территории Украины / Б.Г. Пустовитенко, О.Н. Сафронов, Л.С. Борисенко и др. – К.: ИГФ НАН Украины, Симферополь; Киев, 1990. – Т. 4. – Кн. 1.

214. Сейсмический мониторинг земной коры. – М.: Наука, 1986.

215. Сейсмическое микрорайонирование. – М.: Наука, 1977.

216. Сейсмическое районирование территории СССР. – М.: Наука, 1980.

217. Сейсмичность территории Украины / О.М. Харитонов, О.П. Костюк, В.В. Кутас и др. // Геофиз. журн. – 1996. – Т. 18. – № 1. – С. 3–15.

-
218. Сейсмостойкое проектирование и сейсмическая классификация атомных станций : Руководство по безопасности МАГАТЭ № 50-SG-S2. – Вена: МАГАТЭ, 1992.
219. Сергиенко Н.Т., Юрченко Л.Ф., Иванченко Е.П. О результатах геофизических исследований для оценки сейсмических характеристик грунтов. – К.: КИИЗИ АЭП, 1989.
220. Соглашение о сотрудничестве в области экологического мониторинга. – Саратов, 1999.
221. Соботович Э.В., Ольштынский С.П. Геохимия техногенеза. – К.: Наук. думка, 1991.
222. Солодилов А.Н. Мониторинг геодинамической обстановки и прогноз опасности землетрясений на контролируемой территории // Мониторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища : IV Міжнар. конф. – К.: ВГЛ "Обрій", 2003. – С. 15–16.
223. Соціальні ризики та соціальна безпека в умовах природних і техногенних надзвичайних ситуацій та катастроф / Відп. ред. В.В. Дурдинець, Ю.І. Наєнко, Ю.О. Привалов. – К.: Стилос, 2001.
224. Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2001 році. – К., 2002.
225. Старостенко В.И., Костюкевич А.С., Козленко В.Г. Комплексная интерпретация данных сейсмометрии и гравиметрии. 1. Принципы и методика // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1988. – № 4. – С. 33–49.
226. Страхов В.Н. О развитии российской геофизики в современных условиях // Вести РАН. Физика Земли. – 1995. – № 10. – С. 77–95.
227. Страхов В.Н. О трех основных стратегиях нахождения множеств пробных приближенных решений в рамках новой теории регуляризации систем линейных алгебраических уравнений с приближенной заданной частью, полностью адекватной потребностям геофизической практики // Геофиз. журн. – 2002. – Т. 24. – № 3. – С. 20–24.
228. Страхов В.Н. Принципиально новая теория интерпретации данных о потенциальных полях (гравитационных и магнитных аномалий) // Геофиз. журн. – 2003. – Т. 25. – № 1. – С. 3–7.
229. Страхов В.Н. и др. Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС // Геофиз. журн. – 1997. – Т. 19. – № 3. – С. 3–15.
230. Страхов В.Н., Страхов А.В. Обобщения метода наименьших квадратов и регуляризованные алгоритмы нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений с приближенными данными, возникающих при решении задач геофизики. 1 // Геофиз. журн. – 1999. – Т. 21. – № 2. – С. 3–25.
231. Телетов Г.С. О природе шаровой молнии. Шаровая молния в лаборатории. – М.: Химия, 1994. – С. 247–256.

232. Технический документ № 343 МАГАТЭ. Применение и исследование микроземлетрясений при выборе площадки для АЭС. – Вена: МАГАТЭ, 1985.

233. *Товмасын А.В.* Разработка карты риска территории Республики Армения // Проблемы регионального и муниципального управления : Междунар. конф. – М., 1999 // <http://www.sbcinfo.ru>.

234. *Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Лукина Н.В.* Изучение и картирование активных разломов. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: Наука, 1993. – С. 196–206.

235. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Систематика эколого-геологических карт // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 1. – С. 66–73.

236. *Трофимов В.Т., Королёв В.А.* Новые типы инженерно-геологических и геолого-экологических карт : Тр. Междунар. науч. конф. – М.: МГУ, 2001.

237. *Трофимов В.Т., Красилова Н.С.* Геодинамические критерии оценки состояния эколого-геологических условий // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – № 3. – С. 257–263.

238. *Троян В.Н., Рыжиков Г.А.* Дифракционная томография: построение и интерпретация томографических функционалов // Математические вопросы теории распространения волн. – 1994. – Вып. 24. – С. 176–195.

239. *Труфманова Е.П., Галицкая И.В.* Геоэкологическая оценка территории бывших свалок (два аспекта) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 1999. – № 5. – С. 480–485.

240. Упругие волны в гиротропных и анизотропных средах / Отв. ред. И.Р. Оболенцева. – Новосибирск, 1993.

241. *Уитмен Р.В., Корнелл С.А.* Проектирование // Сейсмический риск и инженерные решения. – М.: Недра, 1981; Пер. *Seismic risk and engineering decision*, ESPC, Amsterdam; Oxford; New York, 1976. – С. 300–336.

242. *Уломов В.И.* Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран – ОСР-97. – М.: ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, 1998.

243. *Уломов В.И.* Тектоника литосферных плит и сейсмогеодинамика // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. – Ташкент: ФАН, 1983. – С. 3–25.

244. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на ядерно и радиационно опасные объекты (ПНАЭ Г-05-035-94). – М., 1995.

-
-
245. Учет землетрясений и связанных с ними явлений при выборе площадок для атомных станций : Руководство по безопасности МАГАТЭ № 50-SG-S2. – Вена: МАГАТЭ, 1981.
246. Учет землетрясений и связанных с ними явлений при выборе площадок для атомных станций : Руководство по безопасности МАГАТЭ № 50-SG-S1. – Вена: МАГАТЭ, 1994.
247. Функциональное моделирование. Методология IDEF. Стандарт. Программа интегрированной компьютеризации производства (ICAM). – США, 1998.
248. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). – М.: Науч. мир, 2001.
249. Цвященко В.А., Гурский С.Д., Цвященко А.В. и др. Методика обработки результатов электрометрического обследования трубопроводов // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23. – № 1. – С. 77–81.
250. Шахраманьян М.А., Акимов В.А. Новые технологии обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях природного характера // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 4. – С. 310–319.
251. Шахпаронов И.М. Применение неориентированных контуров при генерации шаровых молний в лабораторных условиях. – М.: Химия, 1994. – С. 184–198.
252. Шебалин Н.В., Антикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология. – М., 2003. – Вып. 34. – С. 210–253.
253. Шойгу С.К., Шахраманьян М.А., Кофф Г.Л. и др. Анализ сейсмического риска, спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях (сейсмические, методологические и методические аспекты). – М.: ГКЧС РФ, ИЛСАН, 1992.
254. Харитонов О., Несторенко Г., Омельченко В. Сейсмічні процеси і безпека АЕС // Вісн. НАН України. – 1998. – № 5–6. – С. 27–34.
255. Юганова Т.И., Галицкая И.В., Дзекцер Е.С. Методология оперативной оценки экстремальной геоэкологической ситуации. Организация комплекса экспертных систем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001. – № 1. – С. 74–82.
256. Яницкий И.Н. Новое в науках о Земле. – М.: ГЕЛИОС, 2001.
257. Algermissen S.T. Seismic risk studies in the United States // Proc. 4th World Conference on Earthquake Engineering. – Santiago, Chile, 1969. – V. 2. – P. 14–27.
258. Algermissen S.T., Perkins D.M., Thenhaus P.C. Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States // U.S. Geol. Survey Open-File Report 82-1033. – 1982.

259. *Alkaz V.G., Isicio E., Zaichenko A.* Simulation of earthquake scenarios for seismic risk management // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – Вип. 29–30. – С. 73–76.
260. An Assessment of Seismic Monitoring in the United States. Requirement for an Advanced National Seismic System // U.S. Geological Survey Circular 1188. – 1999.
261. *Anderson D.L.* Theory of the Earth. – Boston: Blackwell, 1989.
262. *Balassanian S., Manukian A.* Seismic risk on the territory of the city of Yerevan, Armenia // Issues in Urban Earthquake Risk. – Kluwer Academic Publishers, 1996. – P. 177–182.
263. *Balassanian S.Yu., Melkumian M.G., Azarian A.R.* Seismic risk assessment for the territory of Armenia and strategy of its mitigation // Abstracts 29th General Assembly of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. – Thessaloniki: Greece, 1997.
264. *Bhattacharjee Y.* Indian Ocean tsunami: in wake of disaster, scientists seek out clues to prevention // Science. – 2005. – V. 307. – P. 22–23.
265. *Borges J.F., Caldeira B., Bezzeghoud M.* Source Rupture Process of the Great Sumatra, Indonesia Earthquake (Mw = 8,9) of 26 December 2004 (Preliminary Results) // <http://www.cge.uevora.pt>.
266. *Borges J.F., Caldeira B., Bezzeghoud M.* Source Rupture Process of the Sumatra, Indonesia Earthquake (Mw = 8,6) of 28 March 2005 // <http://www.cge.uevora.pt>.
267. CEA Seisme et Tsunami de Sumatra 26 décembre 2004 // <http://www.emsc-csem.org>
268. *Chen Ji* Computer Simulation of Earth Movement that Spawned the Tsunami. California Institute of Technology. 2005 // <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards>.
269. *Chen Ji* Preliminary Rupture Model. Magnitude 8,7 Northern Sumatra, Indonesia, Monday, March 28, 2005 at 16:09:36 UTC. – 2005 // http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2005/eq_050328.
270. *Curray J.R.* The Sunda Arc: a model for oblique plate convergence // Netherlands Journal of Sea Research. – 1989. – № 24. – P. 131–140.
271. *Engdahl E.R., Van der Hilst R.D., Buland R.P.* Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination // Bull. Seism. Soc. Amer. – 1998. – V. 88. – P. 722–743.
272. *Engdahl E.R., Villasenor A.* Global Seismicity: 1900–1999, chap. 41 of Lee, W.H.K., and others, eds. // International Earthquake and Engineering Seismology. Part A. – New York: N.Y. Elsevier Academic Press, 2002.

-
-
273. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience // Report of the UN Chernobyl Forum. Expert Group "Environment" (EGE). 2005 // <http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl>.
274. Earthquakes and Plate Tectonics // USGS. - 2004. - http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/general/handouts/rift_man.html
275. International Symposium on Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities // IAEA-CN-106, Book of invited and contributed papers. - Vienna: IAEA, 2003.
276. *Geist E.L.* Local tsunamis and earthquake source parameters // *Advances in Geophysics*. - 1999. - V. 39. - P. 117-209.
277. *Geist E.L., Dmowska R.* Local tsunamis and distributed slip at the source // *Pure and Applied Geophysics*. - 1999. - V. 154. - P. 485-512.
278. *Hanus V., Spicak A., Je V.* Sumatran segment of the Indonesian subduction zone: morphology of the Wadati-Benioff zone and seismotectonic pattern of the continental wedge // *Journal of. SE Asia Earth Science*. - 1996. - № 13. - P. 39-60.
279. *Fauzi McCaffrey R., Wark D., Sunaryo, Prih Haryadi P. Y.* Lateral variations in slab orientation beneath Toba caldera, northern Sumatra // *Geophysical Research Letters*. - 1996. - № 23. - P. 443-446.
280. *Harinarayana T., Hirata N.* Destructive Earthquake and Disastrous Tsunami in the Indian Ocean, What Next? // International Association for Gondwana Research, Japan. - 2005. - V. 8. - № 2. - P. 246-457.
281. *Fitch T.J.* Plate convergence, transcurrent faults and internal deformation adjacent to southeast Asia and the western Pacific // *J. Geophys. Res.* - 1972. - V. 77. - P. 4432-4460.
282. *Kagan Y.Y.* Seismic moment-frequency relation for shallow earthquakes: regional comparison // *J. Geoph. Res.* - 1997. - V. 102. - №. B2. - P. 2835-2852.
283. *Kagan Y.Y.* Universality of the seismic moment-frequency relation // *Pure and Appl. Geoph.* - 1999. - V. 155. - P. 537-573.
284. *Kakimi T.* Active fault and other geological studies for seismic assessment: present state and problems // *Int. Symposium on Seismic safety relating to NPPs, Kobe, Japan*. - 1997. - P. s4.2-1 - s4.2-22.
285. *Kerr R.A.* South Asia tsunami: failure to gauge the quake crippled the warning effort // *Science*. - 2005. - V. 307. - P. 201.
286. *Krishna M.R., Sanu T.D.* Shallow seismicity, stress distribution and crystal deformation pattern in the Andaman-West Sunda arc and Andaman Sea, northeastern Indian Ocean // *J. Seismology*. - 2002. - V. 6. - P. 25-41.
287. Magnitude 8.7 - Northern Sumatra, Indonesia 2005 March 28 16:09:36 UTC Preliminary Earthquake Report // U.S. Geological

- Survey, National Earthquake Information Center, World Data Center for Seismology, Denver. – 2005 // <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews>.
288. March 28, Northern Sumatra, Indonesia, 8.7M. – 2005 // <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews>.
289. *Maternovskaya N.* Harvard Moment Tensor Solution, Magnitude 8.7 Northern Sumatra, Indonesia, Monday, March 28, 2005 at 16:09:36 UTC, Preliminary Earthquake Report // U.S.G.S., National Earthquake Information Center, World Data Center for Seismology, Denver. – 2005 // http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2005/eq_050328
290. *McCaffrey R., Zwick P., Bock Y., Prawirodirdjo L., Genrich J.F., Stevens C.W., Puntodewo S.S.O., Subarya C.* Strain partitioning during oblique plate convergence in northern Sumatra: geodetic and seismologic constraints and numerical modelling // *Journal of Geophysical Research.* – 2000. – № 105. – P. 28, 363 – 28,376.
291. *Menoni S., Petrini V., Zonno G.* Seismic Risk Evaluation through integrated use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence Techniques SERGISAI. ENV4-CT96-0279 // *Seismic Risk in the European Union.* – 1997. – V. II. – P. 117–148.
292. *Milsom J.* Seismology and Neotectonics // *Geology of Sumatra. Chapter 2. Geological Society Memoir № 27.* – London: University College, 2004 // <http://www.es.ucl.ac.uk/people/milsom/smrtrntct.htm>.
293. *Milsom J., Sain B., Sipahutar J.* Basin Formation in the Nias area of the Sumatra forearc, western Indonesia // *Bulletin of the Geological Society of Malaysia.* – 1995. – № 37. – P. 285–299.
294. *Morley C.K.* A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia // *Tectonophysics.* – 2002. – V. 347. – P. 189–215.
295. *Newcomb K.R., McCann W.R.* Seismic history and seismotectonics of the Sunda arc // *Journal of Geophysical Research.* – 1987. – V. 92. – P. 421–439.
296. NUREG/CR-3756 Seismic hazard characterization of the Eastern United States // Lawrence Livermore National Laboratories, 1985.
297. Operational Limits and Conditions and Operating procedures for Nuclear Power Plans: Safety Standards Series No. NS-G-2.2. – Vienna: IAEA, 2000.
298. *Ortiz M., Bilham R.* Source area and rapture parameters of the 31 December 1881 Mw = 7,9 Car Nicobar earthquake estimated from tsunamis recorded in the Bay of Bengal // *Jour. Geophys. Res.* – 2003. – V. 108. – P. 2215–2231.

299. Poster of the Sumatra-Andaman Islands Earthquake of 26 December 2004 – Magnitude 9.0 Earthquake Summary Map XXX – U.S. Geological Survey // National Earthquake Information Centre @ 0800 MST & Global Seismographic Network. 2004 // <http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/poster/2004/20041226.html>.

300. Poster of the Sumatra-Andaman Islands Earthquake of 28 March 2005 – Magnitude 8.7. Earthquake Summary Map XXX – U.S. Geological Survey // National Earthquake Information Centre @ 0800 MST & Global Seismographic Network. 2005 // <http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/poster/2004/20041226.html>.

301. Preliminary Earthquake Report (2004) USGS NEIC – WDCCS – Denver // http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2004/.

302. Prevention and mitigation of ground water contamination from radioactive releases, IAEA-TECDOC-482. – Vienna: IAEA, 1997. – P. 64–73.

303. Richard R., Leach Jr., Farid U. Dowlah Earthquake Early Warning System Using Real-Time Signal Processing // <http://www.llnl.gov>.

304. *Richter C.F.* Elementary Seismology. – San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1958. – P. 35–149.

305. Risk Assessments: From Reactor Safety to Health Care. Science and Technology Review // Lawrence Livermore National Laboratory USA, 1995.

306. *Savy J.* Seismic Analysis Report: Case study of Diablo Canyon Nuclear Power Station, Berkeley // Lawrence Livermore National Laboratory USA. Hazard Mitigation Center, 2004.

307. Safety Series №28 Seismic Evaluation of Existing Nuclear Power Plants. – Vienna: IAEA, 2003.

308. Safety Series № 115. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. – Vienna: IAEA, 1996.

309. Seismic Design and Qualification of Nuclear Power Plants: Safety Guide, Safety Standards Series №NS-G-1.6. – Vienna: IAEA, 2003.

310. Seismic Risk in the European Union // Environmental and Climate programme "Climate and Natural Hazards". – Brussels: EU, 1997.

311. *Stein S., Okal E.A.* The 2004 Sumatra Earthquake and Indian Ocean Tsunami: What happened and why? // Dept of Geological Sciences, Northwestern University, 2005 // <http://www.earth.northwestern.edu>.

312. *Tavakoli B., Ghafory-Ashtiany M.* Estimated Maximum Loss from Seismic Hazard Assessment of Iran // International Institute of Earthquake Engineering and Seismology // <http://128.205.131.100:591/archives/>. *Triyoso W.* Understanding the potency of Giant Thrust Earthquake along Sumatra Subduction zone: The Effect of Sudden Stress/Strain Loading // Geophysics & Met. Dept. FIKTM-ITB Bandung-Indonesia, 2005 // <http://emsc-csem.org>.
313. US Geological Survey (2005a) USGS earthquake hazards program, largest earthquakes in the world since 1900, EQ Facts & Lists, Earthquake Lists // <http://neic.usgs.gov/neis/eqlists>.
314. USGS NEIC – WDCS-Denver, 2005 // <http://neic.usgs.gov/neis/>.
315. Welcome to the Workshop on the Generic Probabilistic Seismic Hazard Modeling for Ukraine, 2–5 February 1999, Kyiv, Ukraine // Lawrence Livermore National Laboratory USA, 1999.
316. *Wu Ru-Shan, Toksoz M.H.* Diffraction Tomography and Multisource Holography Applied to Seismic Imaging // Geophysics. – 1987. – V. 52. – № 1. – P. 11–25.
317. *Wood H.O., Neumann F.* Modified Mercalli Intensity Scale of 1931 // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1931. – V. 21. – P. 277–283.
318. *Zachariasen J. and others* Submergence and uplift associated with the giant 1833 Sumatran subduction zone earthquake: Evidence from coral micro atolls // J. Geophys. Res. – 1999. – V. 104. – P. 895–919.
319. *Zucca J.* Forensic Seismology Supports the Comprehensive Test Ban Treaty // Lawrence Livermore National Laboratory USA, 1998.
320. <http://www.mns.gov.ua> – Урядова інформаційно-аналітична система з питань надзвичайних ситуацій.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	11
РОЗДІЛ 1.	
ГЕОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК СКЛАДОВА ЗАГАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ	13
1.1. Методологічні принципи геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів	17
1.1.1. Сейсмічний моніторинг	18
1.1.2. Застосування геофізичних методів для контролю за геологічним середовищем на території розташування небезпечних промислових об'єктів	20
1.1.3. Методологічні і теоретичні підходи до геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища	21
1.1.4. Комплексна інтерпретація даних геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів.....	24
1.2. Сучасний стан розвитку небезпечних природних і техногенно-природних процесів на території України	31
1.3. Основні чинники, що впливають на збільшення кількості природних катастроф	36
1.4. Чорнобильська катастрофа. Геофізичні аспекти	43
1.4.1. Вихідна інформація про катастрофу	43
1.4.2. Додаткова інформація про катастрофу	49
1.4.3. Геофізичні явища і хід аварійного процесу	52
РОЗДІЛ 2.	
СЕЙСМІЧНІСТЬ І СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	64
2.1. Природні і техногенні катастрофи та шляхи їхнього запобігання. Землетруси	64

2.2. Вимоги до оцінки сейсмічної небезпеки територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів (на прикладі АЕС України)	70
2.3. Регіональне сейсмічне районування території України та сейсмічний моніторинг територій розміщення АЕС.....	79
2.4. Сейсмотектонічна активність платформ	95
2.5. Практичне використання даних про землетрус поблизу Північної Суматри	104
2.5.1. Землетрус 26 грудня 2004 року поблизу Північної Суматри	106
2.5.2. Сейсмотектонічна ситуація в районі вогнищ землетрусів 26 грудня 2004 року і 28 березня 2005 року	107
2.5.3. Цунамі	112
2.5.4. Землетрус 28 березня 2005 року поблизу о. Суматра	114
2.5.5. Використання записів катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 року для уточнення резонансних властивостей ґрунтів у районі Чорнобильської АЕС.....	118
2.5.6. Досвід, вартий уваги	124

РОЗДІЛ 3.

УБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В АСПЕКТІ ЇХНЬОЇ СЕЙСМІЧНОЇ ВРАЗЛИВОСТІ	126
3.1. Контроль за станом літотехнічної системи.....	126
3.2. Застосування методів ризик-аналізу для визначення рівнів сейсмічного ризику та його складових.....	137
3.3. Застосування імовірнісних методів для аналізування та оцінювання сейсмічного ризику.....	149

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ	155
4.1. Аналізування сейсмічного ризику	157
4.1.1. Вибір об'єктів для аналізування та методу оцінювання ризику	158
4.1.2. Ідентифікація загроз	160
4.1.3. Аналізування загроз та їхніх наслідків, визначення "слабких" місць у захисній системі.....	161
4.1.4. Оцінювання ризику	163

РОЗДІЛ 5.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ МАЙДАНЧИКІВ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

168

5.1. Моделі визначення рівнів сейсмічного ризику 173

5.1.1. Модель розподілу землетрусів за часом,
простором і магнітудою 173

5.1.2. Модель сейсмічного впливу 175

5.1.3. Модель, що характеризує опір об'єктів
впливові ризикових явищ 182

5.2. Урахування рівнів сейсмічного ризику під час вибору
майданчиків для розміщення АЕС 185

ВИСНОВКИ 198

ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ 200

ЛІТЕРАТУРА 212

Наукове видання

**ВИЖВА Сергій Андрійович
ВИННИЧЕНКО Олена Борисівна
КЕНДЗЕРА Олександр Володимирович**

**ВПЛИВ ПРИРОДНИХ
І ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ
НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ
ОБ'ЄКТИ**

Монографія

Редактор Л.А. Воронцова

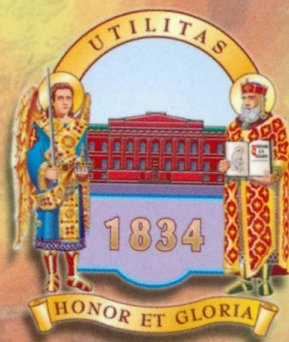
Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Виконавець Т.С. Яшкова



Підписано до друку 30.05.08. Формат 60x84^{1/16}. Вид. № 130. Гарнітура Arial. Папір офсетний.
Друк офсетний. Наклад 200. Ум. друк. арк. 19,35. Обл.-вид. арк. 17,1. Зам. № 28-4344.

Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
01601, Київ, б-р Т.Шевченка, 14, кімн. 43
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28
E-mail: vydav_polygraph@univ.kiev.ua
WWW: <http://vpc.univ.kiev.ua>
Свідоцтво внесено до Державного реєстру ДК № 1103 від 31.10.02.



До 175-річчя
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка