



КЕНДЗЕРА

Олександр Володимирович – член-кореспондент НАН України, заступник директора Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

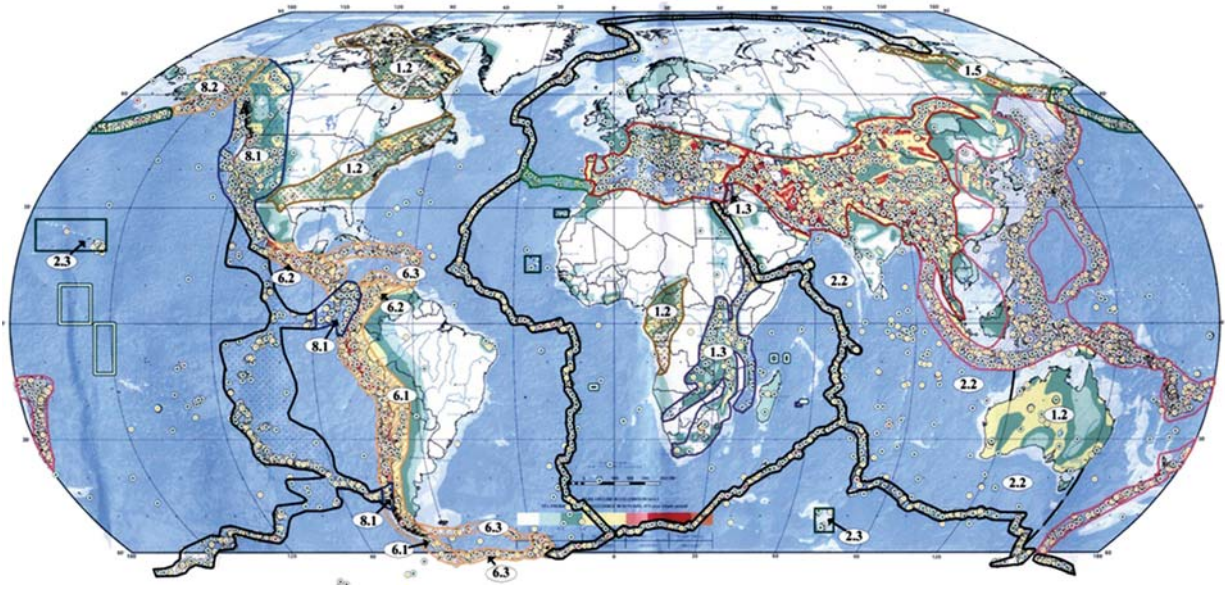
ПРО СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СЕЙСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЗЕМЛЕТРУСІВ

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 17 лютого 2016 року

У доповіді відзначено актуальність проведення наукових сейсмологічних досліджень, результати яких є надзвичайно важливими для запобігання катастрофічним наслідкам землетрусів і життєво необхідними для стабільного розвитку країни.

Шановний Борисе Євгеновичу! Шановні члени Президії! Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України виконує фундаментальні і прикладні наукові дослідження з питань моніторингу сейсмічності, вивчення сейсмічної небезпеки території України та розроблення методів визначення кількісних параметрів прогнозованих сейсмічних впливів, необхідних для сейсмічного захисту житлових та адміністративних будинків, промислових споруд, зокрема таких екологічно небезпечних об'єктів, як АЕС, ГЕС, сховища небезпечних відходів, продуктопроводи тощо. Сейсмологічні дослідження проводяться на підставі Програми функціонування і розвитку національної системи сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 28.06.97 № 699, та на виконання рішення Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України від 03.04.2008 «Про стан забезпечення сейсмічної безпеки та проблеми розвитку сейсмостійкого будівництва в Україні».

Сейсмічна небезпека на території України існує. Вона пов'язана з тим, що багато мільйонів років тому зіткнулися Євразійська, Африканська, Арабська і Індійська літосферні плити, їхній рух назустріч одна одній триває й досі, і на стику цих плит утворився потужний сейсмоактивний пояс. Так, лише за два останні тижні лютого 2016 р. тут відбулося 603 землетруси.



Сейсмічні пояси Землі. Територія України розташована на окраїні потужного Азорсько-Середземноморсько-Альпійсько-Трансазійського сейсмогенного поясу планети

Сейсмічність території Східно-Європейської платформи в межах України пов'язують із впливом сусіднього потужного Азорсько-Середземноморсько-Альпійсько-Трансазійського сейсмоактивного поясу планети і з великомасштабними місцевими геологічними процесами в земній корі та верхній мантії. Сейсмічність території України визначається місцевими землетрусами і сильними підкоровими землетрусами унікальної зони Вранча (Румунія) — унікальної, тому що таких високоактивних зон з потужними глибокими землетрусами на нашій планеті є лише три: Вранча, Гіндукуш і острови Тонга. Інтенсивність сейсмічних струшувань від землетрусів зони Вранча з $M > 7$ на території України становить від 3 до 8 балів за шкалою MSK-64. Найсильніші струшування були спричинені румунськими землетрусами 1230, 1790, 1802, 1838, 1908, 1940, 1977, 1986 і 1990 років. На платформній частині території України в останні роки відчутні землетруси спостерігалися поблизу Тернополя (03.01.2002, $M = 3,2$); у Луганській області (11.05.2004, $M = 3,2$ і 19.04.2006, $M = 3,0$); у Житомирській області (12.03.2006, $M = 3,6$); в районі Кривого Рогу (25.12.2007, $M = 3,6$ і 23.06.2013, $M = 4,6$);

на межі Сумської і Полтавської областей (02.03.2015, $M = 4,6$).

Отже, найбільшу небезпеку для населення, промисловості, інфраструктури практично на всій території України становлять підкорові землетруси сейсмоактивної зони Вранча, але не менш загрозовими є локальні неглибокі землетруси Криму, Закарпаття і Передкарпаття. Щороку фіксується близько 70–100 таких подій. Райони з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних впливів 6–9 балів охоплюють близько 20% території України (понад 120 тис. км²), на якій проживає понад 10 млн чоловік, райони з інтенсивністю 7–9 балів — приблизно 12% території з населенням більш як 7 млн чоловік. До сейсмічно небезпечних належать території Кримського півострова, Карпатського регіону, частина Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької, Кіровоградської, Дніпропетровської, Вінницької, Львівської, Тернопільської, Чернівецької областей і кілька районів Донбасу.

Проте не землетруси вбивають людей, а погано зведені будинки. Цей вислів, який уже став крилатим, належить відомим американським фахівцям із сейсмостійкого проектуван-

ня та будівництва Дж. Гіру і Х. Шаху. Світовий досвід у цій галузі переконливо свідчить, що основною концепцією сейсмічного захисту має бути впровадження сейсмостійкого проектування і будівництва житла, інфраструктури, а також промислових об'єктів, яке ґрунтується на об'єктивних знаннях і кількісних параметрах реальної сейсмічної небезпеки в районах їх розташування.

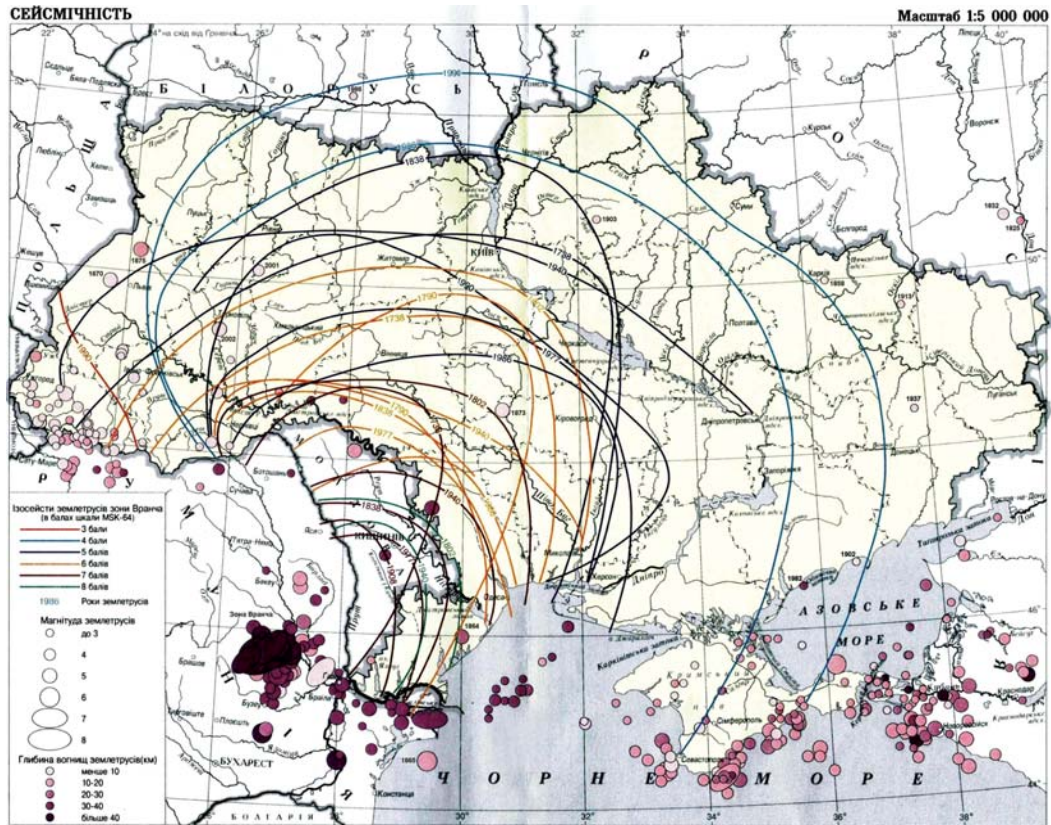
В Україні сформульовано, обґрунтовано і впроваджено в практику оптимальну для нашої території стратегію сейсмічного захисту. В ній враховано, що складовими сейсмічного ризику є сейсмічна небезпека і сейсмічна вразливість. Рівень сейсмічної небезпеки — це об'єктивна характеристика території, яка визначається за допомогою комплексу робіт із загального сейсмічного районування (ЗСР) території, детального сейсмічного районування (ДСР) окремих районів і сейсмічного мікрорайонування (СМР) майданчиків розміщення об'єктів. За кожним із цих пунктів ми маємо наукові і методичні напрацювання. І якщо на рівень сейсмічної небезпеки людина вплинути не може, то знизити сейсмічну вразливість ми в змозі, мінімізуючи тим самим сейсмічний ризик.

З метою вивчення сейсмоактивності на території України при Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України функціонує мережа сейсмічних станцій, яка фактично є національною мережею сейсмологічних спостережень. Вона є основною ланкою, що постачає об'єктивні дані для різних видів діяльності в галузі захисту від землетрусів. Разом із Віталієм Олексійовичем Дядурою я свого часу був співкерівником теми «Розробка сейсмологічної мережі НАН України», яка виконувалася на замовлення Державного космічного агентства України. У 1998 р. до складу мережі входили 11 станцій у Карпатському регіоні, 3 станції в центральній частині України і 7 станцій у Криму. Єдиним способом реєстрації тоді був аналоговий запис на фотопapіp. На сьогодні мережа сейсмологічних спостережень НАН України налічує 38 сейсмологічних станцій. Усі вони цифрові і можуть працювати в онлайн-режимі. Крім того, ми забезпечуємо роботу станції Київ-

IRIS, яка експлуатується спільно з Альбукеркською сейсмологічною лабораторією Геологічної служби США і вважається однією з найкращих у системі IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). Мережа постачає уніфіковані дані про сейсмічні прояви на території України і в прилеглих районах, на основі яких визначають науково обґрунтовані прогностичні значення сейсмічної небезпеки, необхідні для довгострокового соціально-економічного планування, раціонального землекористування, прийняття адміністративних і технічних рішень щодо забезпечення стабільної експлуатації наявних і будівництва нових споруд.

В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України розроблено вітчизняні сейсмологічні апаратурно-програмні комплекси, які за основними показниками не поступаються зарубіжним аналогам; здійснено часткове апаратурно-програмне переоснащення національної мережі сейсмічних спостережень; створено Національний центр сейсмологічних даних; накопичено значний досвід розроблення методичних прийомів одержання, обробки, аналізу та збереження даних інструментальних і макросейсмічних спостережень; створено програмне забезпечення для формування зображень середовища за полями спостережених сейсмічних хвиль, удосконалено методику акустичного і нейтронного каротажу свердловин для визначення несучої здатності ґрунтів в основі споруд, розроблено адаптовану до умов країни методику оцінки кількісних параметрів сейсмічної небезпеки, побудовано карти детального сейсмічного районування територій розташування особливо важливих об'єктів, створено імовірнісні карти загального сейсмічного районування території України, які увійшли до нової редакції Державних будівельних норм «Будівництво в сейсмічних районах України» у версіях 2006 і 2014 рр.

Наукові розробки в сейсмологічній галузі були успішно застосовані при вивченні сейсмічних умов розташування Чорнобильської, Хмельницької, Рівненської, Южно-Української, Запорізької АЕС, Київської, Каховської і Дністровської ГЕС та ГАЕС, при проектуван-



Сейсмічність України і розподіл інтенсивності сейсмічних струшувань від землетрусів зони Вранча (Румунія)

ні Одеської і Чигиринської ТЕС, ряду гірничо-збагачувальних комбінатів, при сейсмостійкому проектуванні сотень будинків і споруд у сейсмічних зонах України.

Вживати заходів щодо захисту будівель та об'єктів від землетрусів мають усі власники, проектувальники, керівники, що управляють таким майном, але інформацію, від чого слід захищатися і якими є параметри сейсмічної небезпеки на ділянці розміщення об'єкта, повинна надавати держава. Саме держава має забезпечувати роботу сейсмологічних станцій, які надають дані, необхідні для науково обґрунтованого прогнозування кількісних параметрів майбутніх сейсмічних впливів, для розроблення заходів з мінімізації ризику руйнування об'єктів.

Фізичні параметри сейсмічної небезпеки, такі як максимальні пікові прискорення, швидкості, зміщення, спектральний склад ко-

ливань, їх форма і тривалість, найповніше задаються у вигляді розрахункових трикомпонентних акселерограм, що моделюють повний вектор майбутніх коливань ґрунту на конкретному будівельному чи експлуатаційному майданчику при землетрусах, потужність яких із заданою ймовірністю не буде перевищено в найближчі 50 років. На замовлення зацікавлених організацій і приватних власників фахівці Інституту провели сейсмологічні дослідження та передали замовникам розрахункові акселерограми для моделювання статистично визначених максимальних сейсмічних впливів на конкретні об'єкти. Для населених пунктів, розташованих у сейсмічних зонах України, побудовано карти сейсмічного мікрорайонування; розроблено проекти геодинамічних полігонів та локальних мереж сейсмічних станцій для контролю за геодинамічними процесами в ра-

йоні розташування Новодністровського комплексу ГЕС і ГАЕС, Хмельницької, Рівненської, Южно-Української та Запорізької АЕС, а також для території м. Києва. Локальні мережі (за рівнем і спектральним складом мікроземлетрусів, природних і техногенних мікросейсм) відстежують виникнення небезпечних ендогенних процесів і зміни несучих властивостей ґрунтів в основі будинків, споруд, у підпірних греблях водосховищ і відстійників відходів хімічних виробництв.

Співробітники Інституту дослідили кількісні параметри сейсмічної безпеки десятків будівельних майданчиків експериментальних будинків і важливих споруд в Одесі, на території Криму, в Карпатському регіоні України і в м. Києві. Вивчено сейсмічну небезпеку в районі проектування Каскаду ГЕС на р. Тересва на Закарпатті. Проведено сейсмічне мікрорайонування майданчика НСК «Олімпійський» і побудовано розрахункові акселерограми, які було використано для динамічного розрахунку сейсмостійкості відповідальних конструкцій стадіону. Досліджуються проектні параметри сейсмічної безпеки району проектованої Канівської ГАЕС.

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України активно співпрацює з профільними міністерствами та відомствами, зацікавленими в результатах сейсмологічних досліджень. На замовлення Мінрегіонбуду України розроблено сейсмологічну частину нової редакції Державних будівельних норм України ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України», які регламентують усі проектні та будівельні роботи в галузі сейсмічного захисту. За дорученням Держатомрегулювання України з метою гармонізації нормативних документів України з міжнародними стандартами визначення параметрів сейсмологічної безпеки та захисту від землетрусів об'єктів атомної енергетики розроблено сейсмологічні розділи до проекту нормативно-правового акта «Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій». Фахівці Інституту брали участь у розробленні чинного Державного стандарту України ДСТУ-

Б-В.1.1-28:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності» та у підготовці практичного посібника «Визначення параметрів сейсмічної безпеки. Проектування сейсмостійких конструкцій відповідно до ЄВРОКОДУ 8». Однак при проектуванні важливих і нетипових споруд з використанням теоретичного моделювання неможливо достатньо повно врахувати всі особливості динамічної поведінки будівлі та ґрунтових комплексів при сильних сейсмічних впливах, потенційну можливість зміни параметрів сейсмічності та зміни несучих властивостей ґрунтових комплексів у процесі додаткових техногенних навантажень. У зв'язку з цим слід передбачити постійне або короткочасне, але повторюване, післяпроектне інструментальне спостереження за поведінкою ґрунтів і будівель.

Результати сейсмологічних досліджень Інституту опубліковано в 12 монографіях і численних статтях у вітчизняних та закордонних періодичних фахових виданнях. Оперативні дані українських сейсмічних станцій, підключених до інтернет-мережі, регулярно публікуються на сайтах Національного сейсмологічного центру при ІГФ ім. С.І. Субботіна (<http://www.igph.kiev.ua/rus/geomon.html>), Середземноморського сейсмологічного центру та Міжнародного сейсмологічного центру в Обнінську.

Співробітники Інституту передають свої наукові напрацювання в галузі сейсмології молодому поколінню, тісно співпрацюючи з вищими навчальними закладами, читаючи курси лекцій студентам, поширюючи сейсмологічні знання через засоби масової інформації.

Загалом детальніше ознайомитися зі станом справ у сейсмологічній галузі, аналізом наявних проблем і рекомендаціями з їх подолання можна у статті, опублікованій у другому номері журналу «Вісник НАН України» за 2015 р.

На жаль, подальший розвиток сейсмологічних досліджень в Україні стикається з цілою низкою проблем, породжених передусім відсутністю належного фінансування. Звідси випливає неможливість придбання закордонної і створення вітчизняної сучасної стандартної

сейсмологічної апаратури та програмного забезпечення для переоснащення сейсмічних станцій і центрів обробки сейсмологічних даних. Більш того, наявний на сьогодні рівень фінансування не забезпечує навіть нагальних потреб функціонування сейсмологічної мережі НАН України, хоча вже зараз зрозуміло, що густина сейсмічних станцій для контролю за геодинамічними процесами в центральних, південних і східних областях України є недостатньою. Немає централізованого замовлення і фінансування робіт з регулярного (хоча б раз на 10 років) поновлення карт загального сейсмічного районування території України, з періодичного оновлення нормативних документів щодо сейсмостійкого проектування і будівництва.

Для належного виконання першочергових завдань із забезпечення сейсмічного захисту населення та економіки країни в цілому необхідно збільшити розміри і змінити структуру фінансування сейсмологічного моніторингу території України. Для цього варто повернутися до попередньої практики, коли мережа сейсмологічних станцій НАН України фінансувалася окремим рядком у Державному бюджеті України по КПКВ 6541160, передбачивши в ньому кошти не лише на виплату зарплати, а й на осучаснення, найнеобхіднішу модернізацію та розвиток мережі.

До землетрусів слід бути готовими заздалегідь. Світовий досвід переконливо свідчить, що негативні наслідки землетрусів легше і дешевше попередити, ніж потім ліквідувати.

Дякую за увагу!

Відповіді на запитання

Академік НАН України Я.С. Яцків. Скільки українських сейсмічних станцій передають онлайн дані до міжнародних сейсмологічних мереж?

О.В. Кендзера. На постійній основі в онлайн-режимі працюють 4 сейсмічні станції НАН України: «Київ-IRIS», «Львів», «Ужгород», «Сімферополь», які передають дані до таких центрів міжнародних сейсмологічних мереж, як IRIS (Incorporated Research Institu-

tions for Seismology), EMSC (European-Mediterranean Seismological Center) та Міжнародний сейсмологічний центр в Обнінську. Однак усі сейсмічні станції НАН України приєднано до Інтернету і в разі потреби до них можна звернутися. Їхні IP-адреси відомі світовим сейсмологічним центрам, так само, як українським фахівцям відомі адреси зарубіжних сейсмічних станцій. Якщо, наприклад, стався землетрус, то з метою підвищення точності визначення параметрів його вогнища сейсмологи будь-якої країни можуть зчитати необхідну інформацію з сейсмостанції, до зони контролю якої входить район, де відбулася ця сейсмічна подія.

Академік НАН України С.В. Комісаренко. Як Ви ставитеся до систем раннього попередження про землетруси?

О.В. Кендзера. На сьогодні достатньо точно для практичного використання прогнозування часу виникнення сильних землетрусів неможливе. Навіть одночасна реалізація всіх відомих передвісників землетрусів свідчить лише про активізацію тектонічних процесів, але чи призведе вона до землетрусу, чи буде він сильним, чи енергія виділиться одномоментно, чи реалізується у вигляді багатьох невеличких землетрусів, сумарна енергія яких відповідатиме одному сильному, — невідомо. Відсутність науково обґрунтованих відповідей на ці питання поки що не дозволяє достатньо надійно прогнозувати землетруси з метою раннього попередження про них.

Академік НАН України С.А. Андронаті. Чи є певна періодичність виникнення землетрусів, яка може допомогти їх передбачити?

О.В. Кендзера. Геодинамічні процеси порівняно з людським життям досить повільні, тобто у більшості випадків вони проявляють «квазістаціонарність» розвитку. Це дозволяє на основі статистичного аналізу «потоків» землетрусів у сейсмоактивних зонах отримати параметри повторюваності сейсмічних подій і використовувати їх як одну з «ознак» можливого виникнення землетрусів. На жаль, відомо також, що сильні землетруси можуть настільки перебудувати геологічне середовище в сейсмічних зонах, що це призводить до

порушення стаціонарності процесів підготовки до наступних землетрусів. Наприклад, у минулому столітті сильні підкорові землетруси в зоні Вранча відбулися в 1940, 1977, 1986 та 1990 роках. Відтоді сильних землетрусів там не було. З огляду на те, що середню періодичність уже перевищено, можна зробити висновок, що сильний землетрус у зоні Вранча може відбутися в будь-який момент.

С.А. Андронаті. А як Ви ставитеся до прогнозування землетрусів на основі поведінки тварин?

О.В. Кендзера. Для виникнення землетрусів необхідно, щоб протягом багатьох років накопичувалися пружні деформації. Наближення землетрусу інтенсифікує в геологічному середовищі деформаційні процеси, які супроводжуються зміною усіх фізичних (геофізичних) полів. Риби та інші тварини відчують зміни фізичних полів і виявляють тривогу. Люди, на жаль, у процесі еволюції втратили таку здатність. У лабораторії прогнозування землетрусів на території Нікитського ботанічного саду і Масандрівського парку вчені Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України вивчали поведінку ящірок, які живуть у тріщинках гірських масивів і навчилися уникати їх закриття при землетрусах. На жаль, доводиться констатувати, що незвичайна поведінка тварин спостерігається не лише перед землетрусами, що зумовлює велику кількість помилкових прогнозів.

Академік НАН України З.Т. Назарчук. Ви сказали, що на більш м'яких ґрунтах спостерігається зростання сейсмічних коливань порівняно з жорсткими скельними породами, але теорія поширення сейсмічних коливань говорить, що коливання на м'яких ґрунтах повинні мати меншу амплітуду через їх високе загасання?

О.В. Кендзера. Зі світового досвіду ліквідації наслідків руйнівних землетрусів ми добре знаємо, що, незважаючи на реологічні властивості ґрунтів, переважна більшість руйнувань будинків і споруд спостерігається саме на м'яких ґрунтах, які відповідають 3-й і 4-й категоріям за сейсмічними властивостями (див. ДБН В.1.1-12:2014, табл. 5.1). Причина криєть-

ся в тому, що одна й та сама енергія сейсмічних хвиль на м'яких ґрунтах викликає коливання з набагато більшою амплітудою, ніж на скельних породах. У нашому Інституті для передбачення реакції ґрунтової товщі в основі будинків і споруд обов'язково враховують конкретні ґрунтові умови майданчика, які охоплюють дані (як інтегральні, так і диференційовані за частотою коливань) про реологічні властивості ґрунту і тип сейсмічних хвиль.

З.Т. Назарчук. І ще одне запитання. Відомо, що іоносфера реагує на сейсмічні події, а отже, її збурення можуть слугувати їх передвісником. Чи можна це явище використати для раннього передбачення потужних землетрусів?

О.В. Кендзера. Збурення іоносфери, поява лінійних хмар, незвичайний колір неба під час сходу і заходу сонця — усі ці явища можуть бути реакцією різних шарів атмосфери (тропосфери, стратосфери, іоносфери) на виділення іонізованих частинок та різних газів з товщі земної кори в тих місцях, де відбуваються активні тектонічні процеси. Ці дані слід використовувати для вивчення сучасної геодинаміки процесів, що можуть супроводжуватися землетрусами, але вони не дають однозначної відповіді на питання: де, коли і з якою магнітудою відбудеться наступний катастрофічний землетрус. Зауважу, що стратегія сейсмічного захисту не потребує прогнозування землетрусів у часі. Досить знати величину, періодичність та параметри максимальних коливань, які потенційно можуть виникнути на конкретних територіях. Цього цілком достатньо для проектування і зведення споруд, здатних витримати наслідки максимально можливих у цьому місці сейсмічних подій. Якщо всі будівлі будуть сейсмостійкими, то оперативне прогнозування землетрусів у часі виявиться зайвим. Водночас це не відкидає потреби в академічному вивченні передвісників землетрусів, розробленні методів їх прогнозування, оскільки це необхідно для дослідження сучасних неотектонічних рухів, геодинаміки, процесів, що відбуваються в зонах підготовки землетрусів.

За матеріалами засідання підготувала О.О. МЕЛЕЖИК