

Відгук
офіційного опонента про дисертаційну роботу
Буртієва Рашіда Зетовича
**«Методологія оцінки сейсмічної небезпеки на основі
ймовірнісних моделей сейсмічності»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних
наук за спеціальністю 04.00.22 - геофізика

Дисертаційна робота Буртієва Р.З. присвячена розробці методу імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки на принципово новій основі та його використанню у фундаментальних дослідженнях сейсмічності і прогнозування сейсмічної небезпеки.

Актуальність обраної теми дослідження. У всьому світі відомо, що сейсмічну небезпеку зменшити неможливо, а можна зменшити лише сейсмічний ризик до прийнятного рівня, якщо забезпечити інженерів-будівельників, проектувальників і приймаючих рішення спеціалістів необхідною інформацією. Актуальність розвитку методів оцінки сейсмічної небезпеки безперервно зростає у зв'язку із значним ростом народонаселення, будівництвом висотних і надвисотних споруд, зростанням кількості об'єктів стратегічного значення та стрімким розвитком міст.

Фундаментальні дослідження сейсмічності і прогнозування сейсмічної небезпеки постійно удосконалюються, оскільки надходить якісно нова інформація, удосконалюються системи спостережень, розробляються нові математичні та обчислювальні моделі сейсмічності і проектування сейсмостійких споруд. Стратегія сейсмостійкого будівництва і зменшення сейсмічного ризику вимагає постійного вдосконалення методів розрахунку і складання все більш інформативних нормативних прогнозних карт сейсмічної небезпеки.

Дисертаційна робота Буртієва Рашіда Зетовича «Методологія оцінки сейсмічної небезпеки на основі ймовірнісних моделей сейсмічності» виконувалась відповідно до планів наукових досліджень з розвитку кількісних методів оцінки сейсмічної небезпеки на новому рівні в Інституті геофізики і геології АН Молдови.

Таким чином, дисертаційна робота Буртієва Р.З. є актуальним дослідженням та має важливе теоретичне і практичне значення.

Метою дисертаційної роботи є розроблення та апробація методології розрахунку найбільш інформативної оцінки сейсмічної небезпеки на основі ймовірнісних моделей сейсмічності, статистичний аналіз макросейсмічного поля вранчівських землетрусів, дослідження сейсмічності зони Вранча і дослідження взаємозв'язку між сейсмічними зонами Балкан.

Для досягнення мети в дисертації автором поставлено наступні **задачі:**

- Застосування кластерного аналізу для виділення зон землетрусів, що становлять загрозу для населеного пункту в певній точці з заданими координатами.

- Створення ймовірнісної моделі сейсмічного режиму зон джерел землетрусів - потоку параметрів землетрусів: магнітуди, глибини, географічних широти і довготи епіцентрів землетрусів і частоти виникнення сейсмічних подій.

- Імовірнісне визначення місця виникнення і магнітуди майбутніх землетрусів в сейсмічних зонах.

- Статистичний аналіз макросейсмічного поля. Алгоритм розрахунку загасання інтенсивності сейсмічних впливів з відстанню.

- Дослідження статистичного зв'язку між параметрами землетрусів і сейсмічними зонами на прикладі балканських сейсмічних зон.

- Застосування теорії часових рядів для дослідження стаціонарності сейсмічності.

- Розробка алгоритму та обчислювальної програми розрахунку і картування сейсмічної небезпеки.

В рамках вирішення основного завдання розглядалися також такі питання як: застосування статистики Гумбеля для оцінки максимальної магнітуди землетрусів; застосування методу моделювання Монте-Карло для створення стохастичного каталогу землетрусів, статистичний аналіз каталогу регіональних землетрусів ROMPLUS і т.ін.

Стислий аналіз змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів основної частини, висновків та переліку використаних джерел 325 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 306 сторінок, з них основного тексту -259 сторінок. Робота ілюстрована рисунками та таблицями.

У першому розділі автором проаналізовано основні результати робіт як вітчизняних, так і зарубіжних вчених в галузі оцінки сейсмічної небезпеки і обґрунтована актуальність напрямків, які розвиваються в даній роботі.

У другому розділі здійснюється виділення сейсмічних зон. Спостереження показують, що джерела землетрусів розподілені нерівномірно, мають тенденцію групуватися, утворюючи сейсмічні зони. Істотним кроком в дослідженні сейсмічності країн або територій являється розпізнавання сейсмічних зон, які зазвичай ідентифікуються в результаті комплексних сейсмотектонічних досліджень.

З урахуванням особливості розв'язуваної задачі застосовувалися такі методи для кластеризації: обчислення середньої відстані між кластерами, метод Варда, обчислення відстані Евкліда між об'єктами, в якості оцінки їх схожості. Об'єктами є епіцентри, які задаються географічними широтою і довготою джерел землетрусів.

В якості навчальної і пробної вибірки для демонстрації ефективності кластерного аналізу використовувався каталог землетрусів Південного сходу Європи, який містить відомості про 3003 землетруси, які відбулися в 18

сейсмічних зонах за період 1900-1990 рр.

У третьому розділі проводиться статистичний аналіз каталогів землетрусів. Одним із значущих чинників, що визначає якість аналізу сейсмічної небезпеки є модель сейсмічності (сейсмічний режим) зони джерел.

При застосуванні регресійної формули перерахунку магнітуд для румунських землетрусів до магнітуд землетрусів з PDE вийшла статистично значуща сума квадратів відхилень спостережуваних величин від розрахункових значень. Це спонукало на здійснення перетворення типів магнітуд в магнітуду шкали m_b за допомогою регресійного аналізу.

Інше досліджене в цьому розділі питання - це мінімальна магітуда комплектності каталогу, яка є важливим чинником в дослідженні сейсмічності. За відомостями з каталогів землетрусів будуються моделі сейсмічного режиму зони джерел землетрусів і проводиться аналіз сейсмічної небезпеки.

Проведений статистичний аналіз показав, що взаємозв'язок між магнітудою і глибиною землетрусів джерела Вранча в межах земної кори практично відсутній, а для проміжних землетрусів зв'язок має середню силу.

Вибіркові значення тестових критеріїв указують на слабкий, але статистично значущий взаємозв'язок між річним числом землетрусів в межах земної кори і нижче границі Мохо.

У четвертому розділі будується імовірнісна модель сейсмічного режиму. Для аналізу сейсмічної небезпеки, після розпізнавання сейсмічних зон та створення робочих каталогів їх землетрусів, необхідно визначити розподіл параметрів землетрусів. Це завдання вирішується на основі імовірнісних моделей сейсмічного режиму зони джерел землетрусів - частотою виникнення землетрусів різних магнітуд в сейсмічній зоні.

Підтверджено гіпотезу про те, що безперервний Марківський ланцюг може розглядатися як імовірнісна модель потоку вранчівських землетрусів. Алгоритм побудови Марківської моделі апробовано на прикладі 705 вранчівських землетрусів, з магнітудою понад 4.

У п'ятому розділі проводиться статистичний аналіз макросейсмічного поля. В реальності від епіцентру землетрусів ізосейсти розходяться у вигляді овалів або вигнутих ліній довільної форми. На форму цих ізоліній впливають фактори: як загальні - геометрія і механізм джерела, так і регіональні та локальні - склад і потужність порід, відмінність швидкості в корінних породах і в верхніх шарах, фізичні властивості середовища, і т.д.

У даній роботі проведено статистичний аналіз макросейсмічних даних Вранчівських землетрусів, що відбулися 10.11.1940, 7.04.1977, 31.08.1986, 30.05.1990 та 31.05.1990 рр. Дослідження показують, що прийнятною згладжуючою лінією макросейсмічного поля даних землетрусів є еліпс.

Була проведена апроксимація еліпсом більшості точок однакової інтенсивності за методом Фітцгіббона. Визначені параметри еліпсів апроксимируючих зони однакової бальності макросейсмічного поля.

Для дослідження сейсмічності застосовано просторові моделі та моделі часових рядів, де просторова модель описує сукупність параметрів сейсмічності в даний момент часу.

У шостому розділі для дослідження стаціонарності сейсмічного режиму використовується теорія часових рядів. Проводився аналіз ряду щомісячного числа землетрусів, що сталися за період часу з 1978 по 2011 рр. в джерелі Вранча.

Дослідження показали, що в ряді місячного числа землетрусів існує тенденція зростання рівнів ряду з часом.

Було застосовано метод простого експоненціального згладжування. Для ряду місячного числа землетрусів були випробувані моделі несезонні: проста; Холта і Брауна; сезонні: проста сезонна; адитивна Уінтерса; мультиплікативна Уінтерса.

Аналіз рядів показав, що оптимальними є проста сезонна і мультиплікативна модель Уінтерса.

У сьомому розділі складається алгоритм імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки (ІАСН), який включає в себе чотири основні етапи. На першому етапі, як і в ДАСН,

визначаються сейсмічні зони, і передбачається, що джерела землетрусів розподілені з певною ймовірністю в геофізичному просторі, яке займає зона джерел землетрусів. У цьому полягає основна відмінність від ДАСН, де фіксується найближчий до об'єкту активний розлом, тобто розлом, в якому з імовірністю, рівною одиниці, може виникати джерело землетрусу.

На другому етапі створюються елементарні джерела землетрусів (ЕДЗ) і будується Марківська модель потоку спостережених в них сейсмічних подій. На основі ергодичного безперервного Марківського ланцюга визначається простір часового розподілу землетрусів по Е ДЗ. В ДАСН цьому відповідає закон повторюваності Еуттенберга- Ріхтера.

Третім кроком є визначення параметрів загасання сейсмічного ефекту. У даній роботі аналіз сейсмічної небезпеки проводиться на основі бала макросейсмічної шкали і по нормам проектування Європейського Союзу "EUROCOD 8".

На четвертому етапі на конкретній ділянці, яка знаходиться в радіусі дії групи сейсмічних зон, обчислюється сумарна міра сейсмічної небезпеки. Для сейсмічного районування територія, що знаходиться в зоні впливу сейсмічних зон, покривається географічною мережею з деяким кроком дискретності. У вузлах мережі визначається міра сейсмічної небезпеки по прийнятим нормам. Фактор випадковості присутній на всіх етапах проведення ІАСН.

Для подолання труднощів, пов'язаних з нестачею відомостей про сейсмічні спостереження, було використано Монте-Карло моделювання для створення штучних каталогів землетрусів. Оскільки в межах елементарних джерел землетрусів просторово- часовий розподіл джерел землетрусів є більш однорідним, тому можливе якісне та адекватне моделювання стохастичних каталогів землетрусів.

У дисертації подано чіткі висновки до кожного розділу та сформульовано у зрозумілій та лаконічній формі загальні висновки. Вони в цілому розкривають основні результати дослідження і відповідають поставленій меті та завданням роботи.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає загальноприйнятим вимогам.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірність. Достовірність та обґрунтованість одержаних результатів наукових досліджень забезпечується чіткою постановкою задач, добре розробленими тестовими критеріями перевірки правдоподібності гіпотез з арсеналу математичної статистики.

Достовірність та обґрунтованість одержаних наукових результатів підтверджується також їх обговоренням на міжнародних наукових конференціях та семінарах. Отже, наукові положення, висновки та рекомендації представлені в дисертаційній роботі Буртієва Р.З. є достатньо обґрунтованими та достовірними.

Новизна наукових положень, їх значущість для науки і практики. У роботі представлено ряд результатів досліджень, що відзначаються науковою новизною. Найбільшої уваги заслуговують наступні досягнення автора:

- Розроблено метод, який дозволяє розрахувати сейсмічну небезпеку територій, розташованих в радіусі впливу групи сейсмічних зон на основі найбільш інформативної оцінки сейсмічної небезпеки.

- За допомогою теорії часових рядів досліджена стаціонарність сейсмічного режиму зони Вранча.

- Досліджено взаємозв'язок між балканськими сейсмічними зонами.

- Застосовано кластерний аналіз для виявлення сейсмічних зон.

- Розроблено імовірнісну модель сейсмічності.

- Застосовані методи прикладної математики для апроксимації макросейсмічного поля кривими другого порядку і для виявлення еліптичності макросейсмічного поля (на прикладі вранчівських землетрусів).

- Розроблено методологію оцінки і картування сейсмічної небезпеки на основі імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки.

- Здійснено аналіз сейсмічної небезпеки територій Молдови, Туреччини та загальної території Молдови, Румунії та Болгарії із застосуванням запропонованої методики.

Теоретична і практична цінність роботи.

- Теоретична значимість роботи визначається тим, що в ній застосовано принципово новий підхід до аналізу сейсмічної небезпеки, а саме: запропонована універсальна, найбільш повна імовірнісна міра сейсмічної небезпеки. Розроблено метод розрахунку сейсмічної небезпеки для територій, розташованих в радіусі впливу групи сейсмічних зон, та методика побудови карти сейсмічного районування великих територій, наприклад для території всієї Європи.

Усі існуючі оцінки сейсмічної небезпеки є окремими випадками запропонованої міри. На цій основі розроблена методика вирішення задачі сейсмічного районування, яка надає найбільш повну інформацію про сейсмічну небезпеку.

Практична значимість визначається конкретними результатами роботи: проведено статистичний аналіз макросейсмічних даних, визначено регіональні

закономірності загасання сейсмічного ефекту, розроблено алгоритм і складено обчислювальну програму оцінки сейсмічної небезпеки, побудовано карти сейсмічного районування територій Республіки Молдова, Туреччини та спільної території Молдови, Румунії та Болгарії. Обчислювальна програма "A Fortran code for the seismic hazard assessment and mapping based on a Markovian model of seismic regime" зареєстрована в фонді програм Інституту методів екологічного аналізу в місті Тіто-Скало, Італія (Istituto di metodologie di analisi ambientale. Tito Scalo, Italy).

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях. Основні результати та висновки дисертаційного дослідження до захисту були висвітлені в 21 статтях, в монографії і в 4 тезах доповідей вітчизняних і міжнародних конференцій. При цьому в авторефераті детально зазначено особистий внесок дисертанта у підготовці спільних публікацій. Основні концепції, ідеї, положення і результати досліджень доповідалися і обговорювалися на: Генеральній Асамблеї Європейської сейсмологічної комісії (ЄСК XIX, Москва, 1984), Всесоюзних нарадах (Агверан, Кишинів, Черноголовка, період 1983-1988), міжнародних конференціях: ECBR WORKSHOP, 2011; The National Symposium "75 Years from November 10th 1940 Vrancea Earthquake", 2015 (Бухарест); ESNET (Стамбул, 2012 Варна, 2013, Констанца, 2014); International Conference on Moldavian Risks - from Global to local scale (Бакеу 2012, 2014); INCERCOM - 2014, Conferinta stiintifica consacrata aniversarii de 110 ani delanasterea geologului basarabean I.M. Suhov - 2015 (Кишинів), GEORISKS IN THE MEDITERRANEAN AND THEIR MITIGATION (Валлега, 2015).

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Автореферат дисертації в цілому відповідає змісту і основним положенням дисертаційної роботи. В ньому чітко висвітлено найважливіші результати наукового дослідження дисертанта.

Помічені недоліки, зауваження та побажання

При грамотному в цілому викладенні аналітичного матеріалу слід відзначити деякі неточності та упущення.

Слід зауважити, що на підпису до рис. 2.7 не вказано, для якої країни зображено географічні середини кластерів.

На стор. 60 у другому пункті пропущено після коми фразу «, де p - розмірність...».

У поясненні до формул (2.19) на стор. 61 вказано « d_k - відстань...», хоча в цих формулах d_k немає, а є тільки I_k .

На стор. 64 замість наступного пункту другого розділу 2.7.2 позначено 2.1.1.

На підпису до рис. 2.8 не вказано, для якої країни наведена карта, Можливо, коректніше підписати так: «Карта епіцентрів регіональних землетрусів Румунії ROMPLUS». Те саме не вказано на підписах до рис. 2.10 5.11, 5.12.

У другому абзаці на стор. 67 необхідно вказати номер рисунка, на якому зображена гістограма, після фрази « в представленій гістограмі для сейсмічної

зони Вранча...».

Бажано підписати цастор. 70 назви таблиць тією ж мовою, що і текст дисертації, як це зроблено для попередньої таблиці 2.3., тобто не «Table2.4», а «Таблиця 2.4».

На стор. 91 неякісно зображено формули (3.42), (3.43).

У першому рядку на стор. 148 пропущено після «де» символ p_{jo} «, де p_{jo} -ймовірність...».

У першому рядку на стор. 203 замість «ккроків....» потрібно вказати «р кроків....»/

На стор. 222 у формулі (7.12) другий знак рівності потрібно замінити на знак наближеної рівності « $\approx$ », оскільки використовується асимптотичне наближення Муавра- Лапласа.

У формулі (7.32) бажано провести спрощення.

До недоліків слід віднести також відсутність у деяких формулах пояснень використаних позначень.

Так, на стор. 196 у поясненні до формули (6.9) необхідно також вказати, що саме означає символ.

До недоліків слід віднести повторення того самого тексту, наприклад, на стор. 35, 39, або 90, 45, 219, 221 та ін.

З огляду на те, що майже всі зауваження стосуються більше форми і способу представлення роботи, можна вважати, що за своїм основним змістом — за умови врахування зауважень й усунення відповідних недоліків - вона відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук. Під час виконання роботи автор виявив здатність до самостійних наукових досліджень на високому теоретичному і фаховому рівні.

Загальний висновок. Дисертація Буртієва Р.З. у повній мірі відповідає вимогам пп.9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами), а її автор Буртієв Рашид Зетович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальність 04.00.22 - геофізика.

**Доктор фізико-математичних наук,
професор, професор кафедри,
загальної математики
механіко-математичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка**

З. О. Вижва

