

Інформаційні технології для запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій

УДК 351.861

DOI: 10.30748/soi.2019.159.12

В.В. Тютюник¹, Л.Ф. Черногор², В.Д. Калугін¹, Т.Х. Агазаде¹

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

ДЕРЕВА КЛАСИФІКАЦІЇ СЕЙСМІЧНО АКТИВНИХ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗЕМНОЇ КУЛІ В СИСТЕМІ НЕЛІНІЙНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЗАЄМОДІЙ СОНЦЕ-ЗЕМЛЯ-МІСЯЦЬ

З метою подальшого розвитку науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу надзвичайних ситуацій (НС) тектонічного походження, в роботі представлені результати будови дерев класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі в залежності від показників, які визначають географічні показники землетрусів, що виникли, ступеню небезпеки цих землетрусів, а також умов синхронізації цих землетрусів з процесами, що протікають в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, сейсмічна небезпека, сейсмічна активність, моніторинг надзвичайних ситуацій тектонічного походження, дерева класифікації.

Вступ

Постановка проблеми. Встановлена за останні декілька десятиліть життєдіяльності світової спільноти тенденція різкого збільшення кількості та руйнівної сили природних катаклізмів приводить до погіршення соціально-економічних та екологічних умов, вказує на необхідність розробки ефективних заходів попередження та ліквідації НС різної приро-

ди на Земній кулі [1–5]. Перспективним напрямком розв'язання цієї проблеми є розробка ефективної системи виявлення небезпечних факторів на етапі їх зародження, встановлення причин їх прояву та вплив на них з метою недопущення виникнення НС, яка повинна бути реалізована на основі класичного контуру управління, схематично представленого на рис. 1 [6–9].

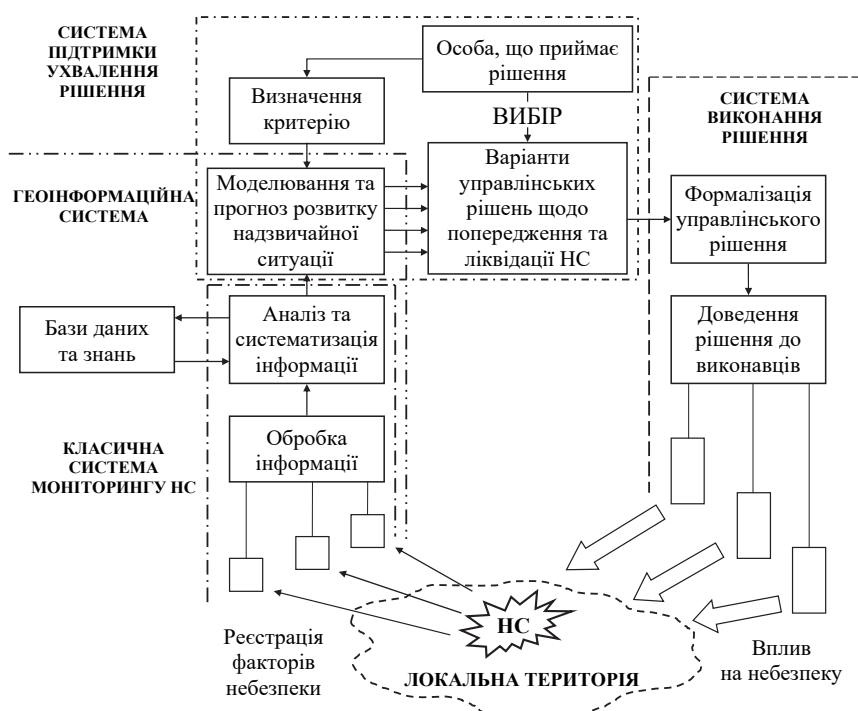


Рис. 1. Схема структури моніторингу надзвичайних ситуацій як засобу управління

Ця робота є часткою запланованого комплексу наукових досліджень, які спрямовані на розробку системи безпеки, що виключає або максимально мінімізує збитки в умовах прояву НС. Робота орієнтована на вивчення процесів виникнення та розповсюдження НС літосферного походження, які становлять або можуть становити серйозну небезпеку життєдіяльності суспільства. Загальна оцінка ступеню негативного впливу НС літосферного походження на умови нормального функціонування природно-техногенно-соціальної системи проводиться на основі системного аналізу тектонічних параметрів, що характеризують рівень сейсмічної небезпеки локальних територій Земної кулі. Комплексна оцінка параметрів сейсмічно нестабільних територій проводиться за допомогою сукупності багатомірних статистичних методів [10–14]. Розв'язання поставленої задачі в цій роботі реалізовано за допомогою

дерев класифікації локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз літературних даних та інформаційних Інтернет ресурсів свідчить, що основними системами сейсмічного моніторингу на Земній кулі є наступні системи: об'єднанні дослідницькі сейсмологічні інститути (IRIS); глобальна цифрова сейсмологічна мережа Геологічної Служби США (USGS); Європейська сейсмологічна мережа (EMSC); Міжнародна система моніторингу (СТВТО) [15–30].

Проект IRIS (рис. 2), починаючи з 1991 року, передбачає розміщення і обслуговування 50–100 пунктів по всій Земній кулі. Мережа IRIS забезпечує збір повної безперервної інформації по всім станціям, додаткову обробку у центрі та формування місячних і річних звітів [16].

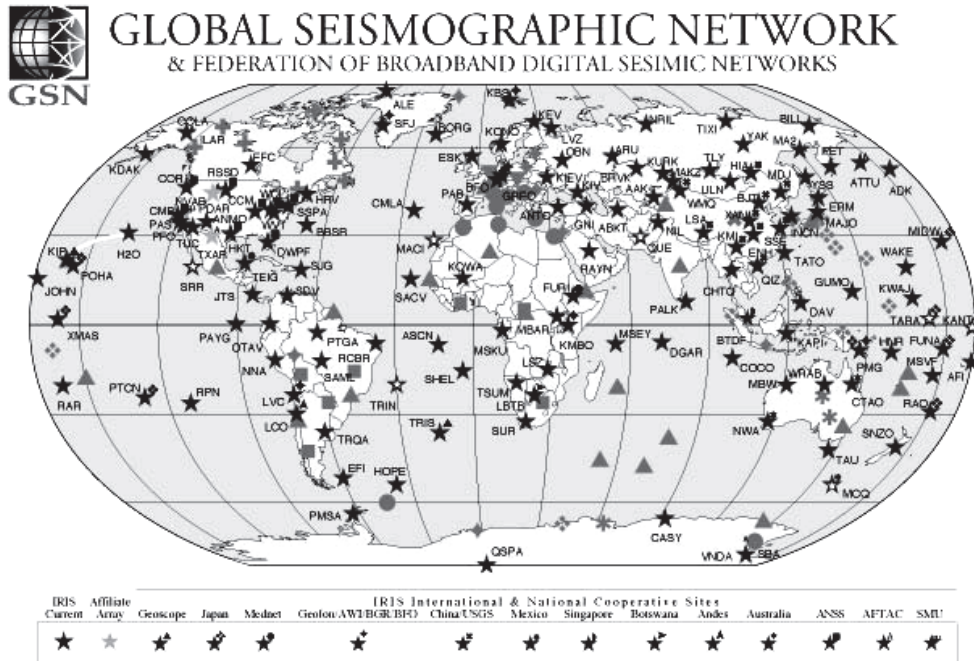


Рис. 2. Глобальна цифрова сейсмографічна мережа IRIS GSN [16]

Глобальна цифрова сейсмографічна мережа Геологічної Служби США включає 150 станцій, що розташовані по всіх кутках світу [17–18].

Європейська сейсмологічна мережа складається з ширококутових сейсмічних станцій, які розташовані в регіоні Середземного моря і прилеглих територій [19–22].

Країнами СНД прийнято рішення “Про міждержавну науково-технологічну програму створення системи сейсмологічного моніторингу територій держав-учасниць СНД”. Головна мета розробки Міждержавної системи сейсмологічного моніторингу сейсмічно небезпечних регіонів спрямована на: уніфікацію апаратно-методичного оснащення національних мереж спостереження для моніторингу сейс-

мічної активності та прогнозу землетрусів; інтеграцію інформаційного забезпечення для адекватної оцінки сейсмічної небезпеки та прийняття мір щодо попередження руйнівних наслідків сильних землетрусів; розвиток методологічних основ і надійних методів прогнозування землетрусів та оцінки сейсмічного ризику [23–28].

Серед країн СНД тільки в Азербайджанському секторі Каспійського моря планується встановити три донні сейсмічні станції “Kinometrics”, за допомогою яких можливо проводити більш детальні дослідження підземних тектонічних процесів та ступінь впливу цих процесів на запаси і добучу вуглеводнів.

Основною сейсмологічною організацією Азербайджанської Республіки є Республіканський Центр Сейсмологічної Служби при Національній Академії Азербайджану (РЦСС НАНА) [29]. Схему розташування сейсмологічних станцій цієї служби представлено на рис. 3.



Рис. 3. Сейсмографічна мережа РЦСС НАНА [29]

В даний час на території Азербайджанської Республіки встановлено 35 сейсмічних станцій “Kinometrics” (США), що мають супутникову систему зв'язку. Планується встановити п'ять додаткових станцій на суші. Крім того, Центром було встановлено 24 GPS станції на території республіки. Станція GPS, розташована в Саатлінському районі Азербайджану, на свердловині з глибиною 8324 метра виділяється своєю унікальністю. На території РЦСС республіки мають геофізичні та геохімічні станції.

Національна система сейсмічного моніторингу Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКА України) включає (рис. 4) [30]: 1. Головний центр спеціального контролю (Національний центр даних), розміщений в м. Макарів-1 Київської області; 2. Автономний пункт спостереження (АПС) “Кам'янець-Подільський” (Хмельницька обл.); 3. Пункти спостереження (ПС): “Ужгород” (Закарпатська обл.), “Любар”, “Ворсівка” (Житомирська обл.); 4. Периферійні сейсмічні пункти (ПСП): № 1 – розміщений в с. Підлуби (Житомирська обл.); № 2 – розміщений в с. Зелениця (Житомирська обл.); № 3 – розміщений в смт. Кам'яний Брід (Житомирська обл.); 5. Група регіональних спостережень Південно-Західного регіону (м. Балта, Одеської обл.); 6. Група регіональних спостережень Кримського регіону (м. Євпаторія, м. Севастополь); 7. Автоматизований комплекс апаратури сейсмічного угруповання (АКАСУ), включений до первинної мережі сейсмічних станцій Міжнародної системи моніторингу Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань (МСМ ДВЗЯВ).

Міжнародна система моніторингу організації Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань складається з 50 первинних станцій, у тому числі АКАСГ ГЦСК ДКА України, та понад 200 допоміжних станцій. Мережа первинних станцій призначена для виявлення сейсмічного явища у реальному режимі часу, а допоміжні станції функціонують для уточнення всіх параметрів сейсмічного джерела.

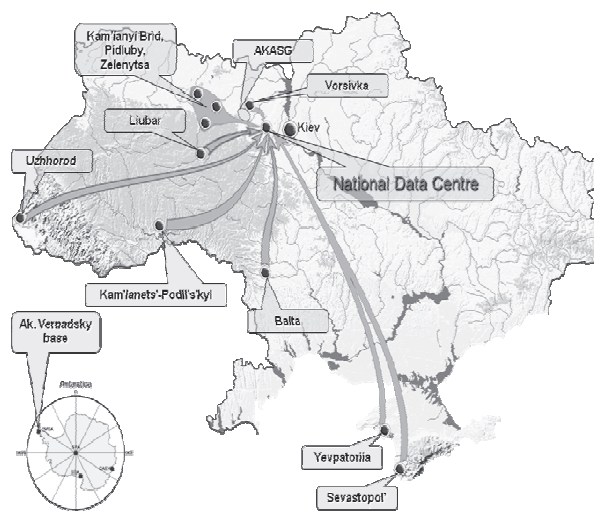


Рис. 4. Мережа пунктів спостережень ГЦСК ДКА України [30]

Одним з перспективних напрямків розвитку систем локального сейсмічного моніторингу є створення системи штучного інтелекту, яка направлена на прогнозування рівня сейсмічної активності локальної території в умовах впливу сейсмічної активності Земної кулі, як елемента системи нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць. Це і визначає напрямок наших наукових досліджень в галузі моніторингу НС тектонічного походження [10–14].

Мета статті – розвиток науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу НС тектонічного походження, що реалізується шляхом побудови дерев класифікації локальних територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією НС тектонічного походження.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлена задача використання методу “Дерева класифікації”, як одного з методів багатомірного статистичного аналізу, для оцінки сейсмічної активності Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць.

Виклад основного матеріалу

Динаміку фізичних процесів, що протікають в системі Сонце–Земля–Місяць та впливають на рівень сейсмічної небезпеки функціонування локальної території, схематично можливо представити у

відповідності рис. 5–7, та охарактеризувати наступними особливостями просторових будов в межах сонячної галактики.

1. Вісь обертання Землі в небесній сфері описує складну хвилеподібну траєкторію, точки якої знаходяться на кутовій відстані, в середньому близько $23,5^{\circ}$ від полюса екліптики (рис. 5). Вершина конуса збігається з центром Землі. Точки рівнодення і сонцестояння рухаються по екліптиці назустріч Сонцю. Моменти сил тяжіння, які діють на екваторіальні здуття, змінюються в залежності від положень Місяця і Сонця по відношенню до Землі. Коли Місяць і Сонце знаходяться в площині земного екватора, моменти сил зникають, а коли схилення Місяця і

Сонця максимальні, то і величина моменту сил найбільша. Внаслідок коливань моментів сил тяжіння спостерігаються нутації осі обертання Землі, які складаються з ряду невеликих періодичних коливань. Основне з них має період 18,6 року – час звернення вузлів орбіти Місяця. Рух з цим періодом відбувається по еліпсу. Велика вісь еліпса перпендикулярна напрямку прецесійного руху і дорівнює $18,4''$; мала – паралельна йому і дорівнює $13,7''$. Далі за величиною амплітуди йдуть складові з періодом 0,5 року, 13,7 діб, 9,3 року, 1 рік, 27,6 діб тощо, тому траєкторія має вигляд “тонких мережив” (показано на збільшеному фрагменті в лівій частині рис. 5) [31–38].

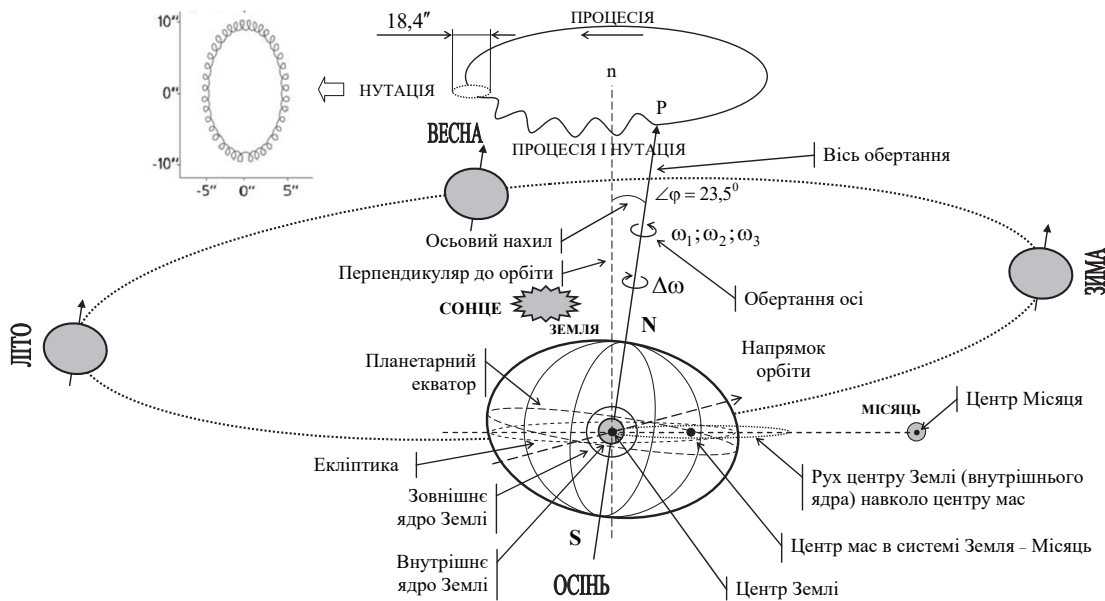


Рис. 5 Схема руху внутрішнього ядра Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць

2. В результаті ексцентричного обертання оболонки Землі навколо зміщеного внутрішнього ядра виникає тиск з боку твердого внутрішнього ядра і навколишнього розплаву (зовнішнього ядра) на мантію, яке видавлює оболонку зсередини. В інших частинах планети виникають сили, що стискають оболонку кулі, втягуючи її всередину до ядра. Даний процес має дві складові: вплив за рахунок річного переміщення центру внутрішнього ядра відносно центру Земної кулі (рис. 5–7); вплив за рахунок ексцентричного обертання ядра відносно нижньої мантії, коли за рахунок різниці в кутових швидкостях обертання ядра та нижньої мантії (ω_1 – кутова швидкість обертання мантії; ω_2 – кутова швидкість обертання зовнішнього ядра; ω_3 – кутова швидкість обертання внутрішнього ядра; $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ – кутова швидкість повороту зовнішнього ядра відносно мантії (“західний дрейф”)), тому спостерігаються

зони підвищеного тиску і розрядження ($P_1 \neq P_2$, де P_1 та P_2 – показники тиску внутрішнього ядра Земної кулі на її поверхню), які впливають на рівень сейсмічної активності поверхні Земної кулі (рис. 6). Існування таких зон буде підтримуватися до тих пір, поки існує різниця в кутових швидкостях обертання та зміщення ядра [39–44].

3. В процесі переміщення літосферних плит (рис. 7) виникають внутрішні пружні напруження, які є енергетичними джерелами землетрусів Z_0 [45–49]. Глибина виникнення пружних напружень залежить від характеру переміщення плит. Відносний рух літосферних плит призводить до виникнення неглибоких (не глибше 20–25 км) джерел землетрусів, а занурення літосферних плит в мантію провокує появу джерел глибоких (що перевищують 70 км) землетрусів. Зі збільшенням відстані від кордону поділу літосферних плит знижується ймовірність виникнення пружних напружень – джерел землетрусів.

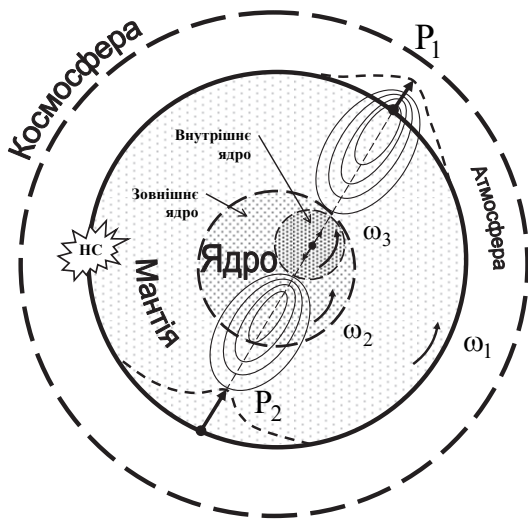


Рис. 6. Схема впливу коливань внутрішнього ядра на сейсмічну активність

4. Факторами поширення небезпеки від землетрусу Z_0 виступають поверхневі і об'ємні сейсмічні хвилі, які можуть викликати вторинні землетруси [49–50].

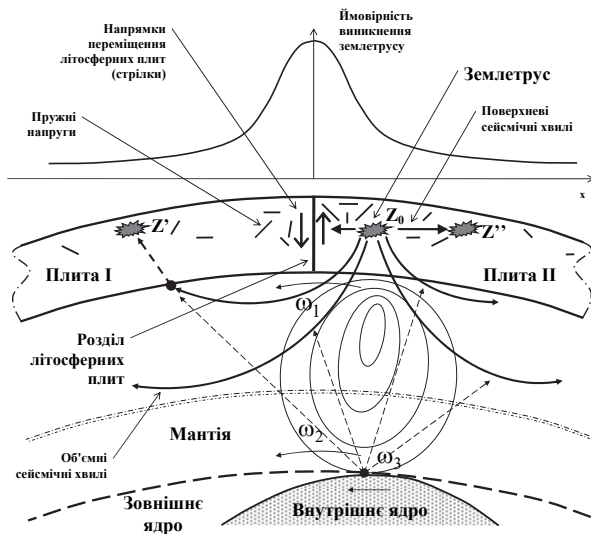


Рис. 7. Схема процесу виникнення землетрусів і поширення сейсмічної активності

5. В процесі просторово-коливального переміщення внутрішнього ядра Землі та його впливу на зовнішнє ядро підвищується ймовірність взаємного посилення або ослаблення об'ємних сейсмічних хвиль, а, отже, і можливість виникнення вторинних землетрусів Z' [51].

6. Не виключена можливість впливу поверхневих і об'ємних сейсмічних хвиль на напруженості в літосфері, що виникли поблизу землетрусу та проковують виникнення ланцюгової реакції поширення сейсмічної небезпеки Z'' [52–54].

7. Встановлено, що внаслідок руху внутрішнього ядра Землі відбуваються територіально-часові зміни інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), що проковують аномальні процеси в атмосфері, іоносфері та магнітосфері [55–69].

Для аналізу взято сім основних змінних (предикторів): $D(t)$ – дата землетрусу, що виник; $\Omega(t)$ – віддаленість внутрішнього ядра Землі від центру планети; $LOD(t) = S(t) - 86400c$ – зміна тривалості доби (де $S(t) = \frac{r_0}{r(t)} 86400c$ – тривалість

доби, $r_0 = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$ – постійна (середня) кутова швидкість власного обертання Землі, t – поточний час аналізу) [31–40]; L і B – довгота і широта точки в системі географічних координат, де виник землетрус; M – магнітуда землетрусу; E – енергія руйнування. Значення предикторів визначені на основі 4579 спостережень за період 2009–2018 рр.

В роботі [14] для проведення кластерного аналізу території Земної кулі за рівнем сейсмічної активності використана система поділу карт на окремі листи, яка заснована на міжнародній разграфке карт масштабу 1:1000000 відповідно до даних рис. 8.



Рис. 8. Схема системи розподілу карт на окремі листи

При цьому, розбивка на ряди паралелями проводиться від екватора через кожні 4^0 широти. Ряди позначають буквами латинського алфавіту: А, В, С, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, V, W. Колони в своїх кордонах збігаються з 6^0 зонами проєкції Гауса-Крюгера, але нумерація їх ведеться від меридіану $\pm 180^0$ на схід. Колони позначаються (за номерами) арабськими цифрами.

Результати кластеризації локальних територій Земної кулі, отримані в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за ступенем сейсмічної активності за період 2009–2018 рр. предста-

влені в графічному вигляді для північної та південної півкуль на рис. 9. Узагальнені результати представлені на рис. 10.

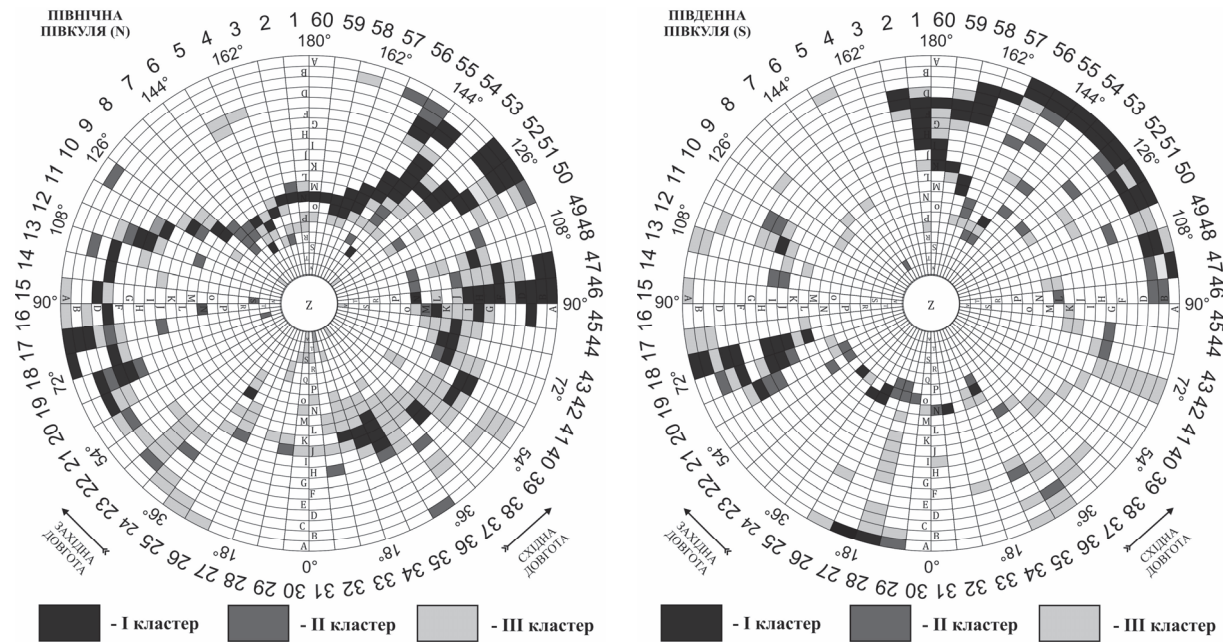


Рис. 9. Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій північної та південної півкуль Земної кулі за ступенем сейсмічної активності за період 2009–2018 рр.

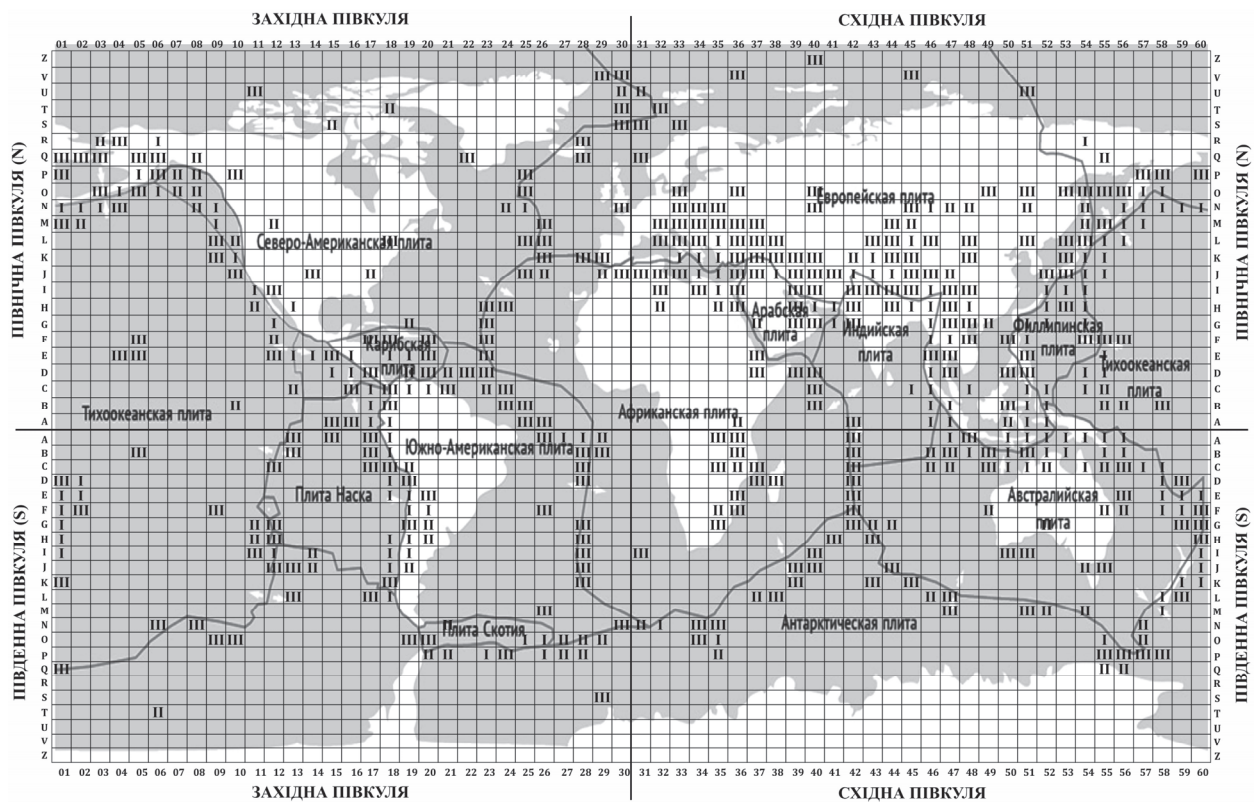


Рис. 10. Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності (I, II та III кластери) за період 2009–2018 рр.

Таким чином, в результаті об'єднання в кожному кластері, за методом Варда, значень змінних, що визначають рівень сейсмічної активності, а саме за кількістю виниклих землетрусів, а також діапазону магнітуд землетрусів, що виникли на певній локальній території за період 2009–2018 рр., встановлено ефект поділу сейсмічно активних локальних територій Земної кулі на три основних кластера, що характеризуються відносно високою (I кластер), середньою (II кластер) і низькою (III кластер) ступенями сейсмічної активності. Об'єднання проранжованих сейсмічно активних локальних територій Земної кулі у відповідності за рівнем небезпеки зони дозволило встановити, що зони з відносно високим ступенем сейсмічної активності перебувають: вздовж розділу Європейської та Тихоокеанської плит; навколо Філіппінської плити; вздовж розділу Північно-Американської та Тихоокеанської плит; навколо Карибської плити; вздовж розділу Австралійської та Тихоокеанської плит; вздовж розділу Південно-Американської плити та плити Наска. Отримані таким чином зони з відносно низьким ступенем сейсмічної активності перебувають: переважно вздовж південної частини Європейської плити на її розділі з Африканською, Арабською та Індійською плитами; вздовж розділу Європейської та Північно-Американської плит; переважно вздовж західної та східної частини Африканської плити на її розділі з Південно-Американською та Австралійською плитами; вздовж розділу Антарктичної плити з Тихоокеанською, Південно-Американською, Африканською та Австралійською плитами.

Побудову дерев класифікації на основі результатів кластерного аналізу [14] сейсмічно активних локальних територій Земної кулі (за ступенем сейсмічної активності) в роботі проведено з використанням статистичних пакетів STATISTICA 6.1 та SPSS 2.0.

Згідно [70–71] дерева класифікації являють собою послідовні ієрархічні структури, які складаються з вузлів, у яких закладені умови галуження. Кінцевими вузлами дерева є так зване “листя”, яке відповідає знайденим рішенням і об'єднує об'єкти вибірки, що класифікуються.

Процес побудови дерева класифікації складається з чотирьох основних етапів: вибору критерію точності прогнозу; вибору варіантів галуження; визначення моменту припинення галуження та визначення оптимального розміру дерева.

Точність прогнозу пов'язана з часткою неправильно класифікованих спостережень. Ціна неправильної класифікації об'єктів була обрана однаковою, тобто усі недіагональні елементи матриці цін помилок класифікації (де класи, що прогноуються, подані в таблиці рядками, а класи, що спостерігаються, – стовпцями) приймалися рівними 1. Априорні вірогідності оцінювались пропорційно розмірам класів залежної змінної.

Обраний спосіб галуження ґрунтується на галуженні за значеннями предикторних змінних, яке проводиться послідовно, починаючи з кореневої вершини та переходячи до дочірніх, поки подальше галуження не припиниться. У роботі здійснено повний перебір варіантів одномірного галуження методом CART. Як критерій згоди для вибору найкращого з усіх можливих варіантів галуження використано міру Джині, яка набуває нульового значення, якщо у вершині знаходиться всього один клас [70–71].

Зупинка розгалуження дерева проведена відсіканням по похибці класифікації на основі правила стандартної похибки.

На початку побудови дерев класифікації в роботі проведено ранжування значущості основних змінних, які, у відповідності до запропонованої на рис. 5–7 моделі, визначають рівень сейсмічної активності локальних територій Земної кулі. Результати ранжирування представлені на рис. 11, де показано, що високий рівень значущості притаманний показниками, що визначають географічні координати землетрусів, – довготи (100 одиниць) та широти (76 одиниць) точок виникнення землетрусів в системі географічних координат.

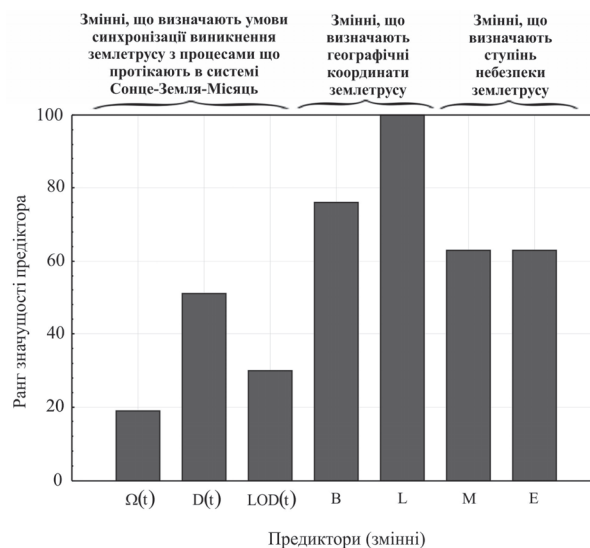


Рис. 11. Діаграма рангу значущості змінних (предикторів), що визначають рівень сейсмічної активності локальних територій Земної кулі

Високою значущістю (63 одиниці) характеризуються показники, що визначають ступінь небезпеки землетрусів, – магнітуда та енергія руйнування землетрусів, що виникли. У діапазоні від 19 одиниць до 51 одиниці рівня значущості знаходяться показники, що визначають умови синхронізації виникнення землетрусів з процесами, що протікають в системі Сонце-Земля-Місяць, – віддаленість внутрішнього ядра Землі від центру планети (19 одиниць); зміна тривалості доби (30 одиниць); дати виникнення землетрусів (51 одиниця).

З метою аналізу структури даних, що визначають рівень сейсмічної активності Земляної кулі й пошуку вирішального правила класифікації сейсмічно активних локальних територій Землі, в роботі побудовані дерева класифікації з урахуванням результатів ранжування змінних (рис. 11). Крім того, з урахуванням проведеної оцінки точності прогнозу, з аналізованої вибірки (розміром 4579 спостережень за період 2009 – 2018 рр.) виключені викиди, що становлять 21 спостереження.

Так, на рис. 12–13 представлені результати побудови дерев класифікації за показниками, визначаючих ступінь небезпеки землетрусів, що виникли, – по магнітудам (M) та енергії (E) руйнування. Представлені результати свідчать про наявність строгого дерева класифікації, що характеризує дихотомічне розгалуження. Корінь даного дерева включає 4558 спостережень по території Земної кулі за період 2009 – 2018 рр.

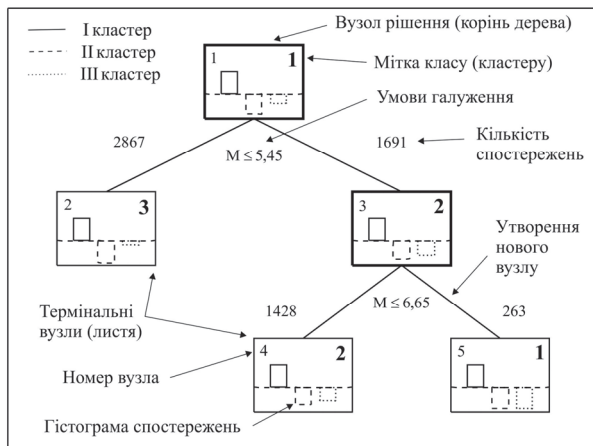


Рис. 12. Дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за магнітудами землетрусів, що виникли

На рис. 14–15 представлені результати побудови дерев класифікації за показниками, що визначають географічні координати землетрусів, що виникли, – довготи (L) та широти (B) точок в системі географічних координат. Отримані результати свідчать про наявність дерев з чотирма основними напрямками розгалуження.

Так, представлено на рис. 14 дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі по показнику L землетрусів, що виникли, в системі географічних координат має гілки A_1 , B_1 , V_1 та Γ_1 .

При цьому гілка A_1 характеризується наявністю 663 землетрусів, що виникли за період 2009–2018 рр. в системі географічних координат (рис. 10): вздовж розділу Північно-Американської та Тихоокеанської плит; навколо Карибської плити; вздовж розділу Південно-Американської плити і плити Наска.

Перше розгалуження при умовах $M \leq 5,45$ та $E \leq 9,58 \cdot 10^{19}$ Дж дозволяє отримати термінальний вузол (листок), що характеризує сейсмічно активні локальні території Земної кулі, що потрапили у третій кластер (2867 спостережень), а також отримати дочірню вершину (1691 спостережень). До складу дочірньої вершини увійшли сейсмічно активні локальні території Земної кулі першого і другого кластерів.

Друге розгалуження за умов $M \leq 6,65$ та $E \leq 6,05 \cdot 10^{21}$ Дж дозволяє провести класифікацію між сейсмічно активними локальними територіями Земної кулі першого (263 спостереження) та другого (1428 спостережень) кластерів. В результаті отримано дерево класифікацій, що має три (№ 2, 4 та 5) термінальних вузлів (листіків), що дозволяють класифікувати сейсмічно активні локальні території Земної кулі за трьома класами.

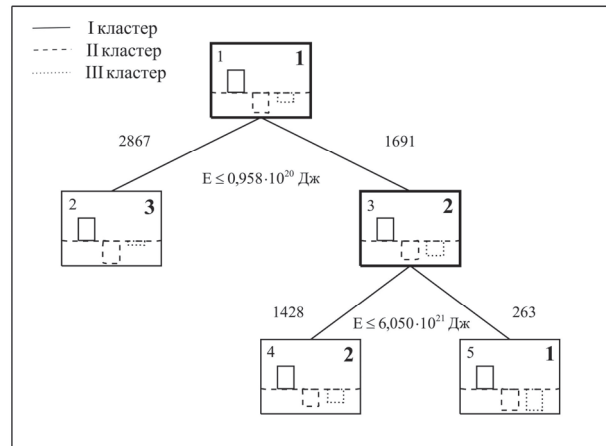


Рис. 13. Дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за руйнуючою енергією землетрусів, що виникли

Гілка B_1 характеризується наявністю 1164 землетрусів, що виникли: вздовж південній частині Європейської плити на її розділі з Африканською та Арабською плитами; вздовж розділу Європейської та Північно-Американської плит; вздовж західній частині Африканської плити на її розділі з Південно-Американською плитою; вздовж розділу Антарктичної плити з Південно-Американською та Африканською плитами.

Гілка V_1 характеризується наявністю 470 землетрусів, що виникли: вздовж південній частині Європейської плити на її розділі з Індійською та Австралійською плитами; уздовж східній частині Африканської плити на її розділі з Австралійською плитою; вздовж розділу Антарктичної плити з південно-східною частиною Австралійської плити.

Гілка Γ_1 характеризується наявністю 1772 землетрусів, що виникли: вздовж розділу Європейсь-

кої та Тихоокеанської плит; навколо Філіпінської плити; вздовж розділу Австралійської і Тихоокеан-

ської плит; вздовж розділу Антарктичної плити з південно-західною частиною Австралійської плити.

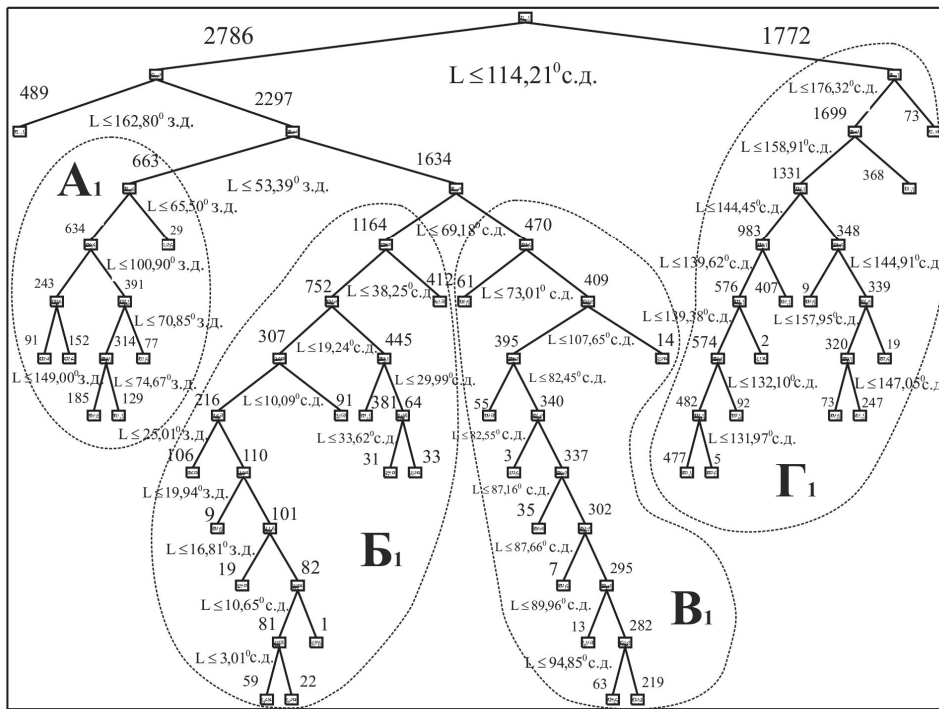


Рис. 14. Дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за показником довготи в системі географічних координат, де виникли землетруси

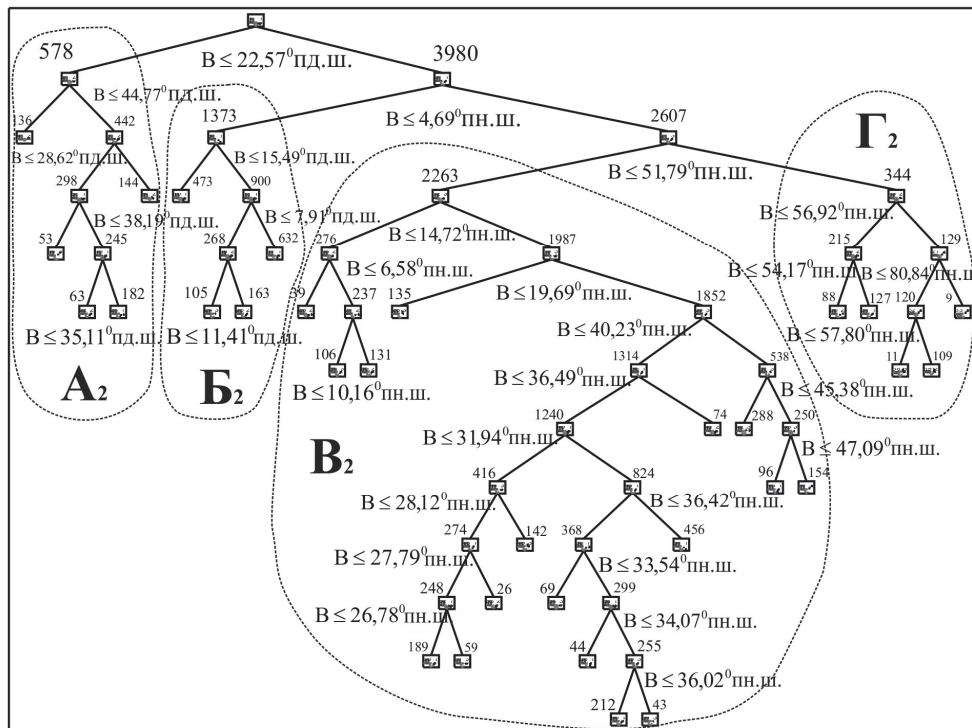


Рис. 15. Дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за показником широти в системі географічних координат, де виникли землетруси

Представлене на рис. 15 дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за показником B в системі географічних коор-

динат має гілки A_2 , B_2 , B_2 та G_2 . При цьому гілка A_2 характеризується наявністю 578 землетрусів, які

Представлене на рис. 16 дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за показником $\Omega(t)$ має три гілки A_3 , B_3 та B_3 , які характерні для руху, відповідно за даними рис. 18, ядра всередині Землі протягом року. При цьому, гілка A_3 характеризується наявністю 1216 землетрусів, які виникли у осінньо-весняний період 2009–2018 рр., при знаходженні внутрішнього ядра поблизу центру Землі. Гілка B_3 характеризується наявністю 1839 землетрусів, які виникли у літній період при видаленні внутрішнього ядра від центру Землі. Гілка B_3 характеризується наявністю 1503 землетрусів, які виникли у зимовий період при протилежному щодо літнього періоду видаленні внутрішнього ядра від центру Землі.

Представлене на рис. 17 дерево класифікації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за показником $LOD(t)$ має три гілки A_4 , B_4 та B_4 , які характерні для помісячної динаміки, відповідно за даними рис. 19, показників варіації швидкості осьового обертання Землі та видалення внутрішнього ядра від центру Земної кулі. При цьому, гілка A_4 характеризується наявністю 3342 землетрусів, які виникли у осінньо-весняний період 2009–2018 рр., при знаходженні внутрішнього ядра на видаленні від центру Землі та мінімальних значеннях показника $LOD(t)$. При цьому, аналіз даних рис. 16 та 17 дозволив встановити між ними залежність у вигляді: $A_4 = B_3 + B_3$.

Гілки B_4 (685 землетрусів) та B_4 (531 землетрусів) характеризуються наявністю землетрусів, які виникли у літньо-зимовий період 2009 – 2018 рр., при знаходженні внутрішнього ядра поблизу центру Землі та максимальних значеннях показника $LOD(t)$. При цьому, аналіз даних рис. 16 та 17 дозволив встановити між ними залежність у вигляді: $A_3 = B_4 + B_4$.

Представлені в роботі результати підтверджують висловлені нами в роботах [10–14] уявлення про існування впливу специфіки руху внутрішнього ядра Земної кулі в системі Сонце-Земля-Місяць на варіації швидкості осьового обертання Землі та розподіл землетрусів по поверхні планети. Встановлена нами комплексна закономірність визначається закономірностями перерозподілу енергії впливу внутрішнього ядра (в процесі його руху (див. рис. 5–7)) на тектонічні процеси, які протікають в оболонці планети.

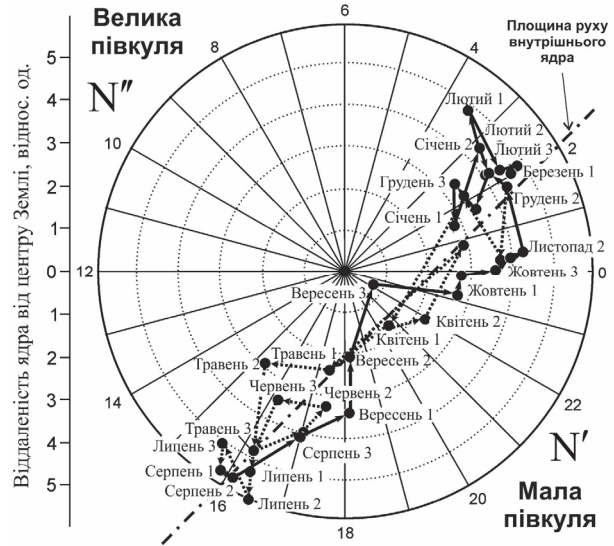


Рис. 18. Траса руху ядра всередині Землі протягом року (вид со сторони полюса) [41–42]: N' та N'' – півсфери відносно площини руху ядра (перетин в зонах 2 та 16 часових поясів)

В результаті виконаних досліджень методом дерев класифікації сейсмічно небезпечних зон та зіставлення цих результатів з показниками варіації швидкості осьового обертання Землі та видалення внутрішнього ядра від центру Землі, висловлені уявлення, що в періоди обертання Землі навколо Сонця, коли внутрішнє ядро максимально віддаляється від центру Землі і максимально наближається до її оболонки, відбувається максимальний енергетичний вплив внутрішнього ядра на швидкість осьового обертання Землі та, відповідно, на коливання тектонічних плит оболонки планети.

Це обумовлено, як показано на рис. 6, появою зон підвищеного тиску і розрядження ($P_1 \neq P_2$). Збільшення нерівномірного тиску внутрішнього ядра Землі на оболонку планети призводить до підвищення її сейсмічної активності на стиках геологічних плит.

Ця обставина обумовлена появою, в умовах нерівності кутових швидкостей $\omega_1 \neq \omega_2 \neq \omega_3$, обертального руху зон тиску внутрішнього ядра на оболонку планети навколо осі обертання Землі, отже появою ефектів територально-часового переміщення тиску внутрішнього ядра Землі по різних ділянках геологічних плит, що призводить до: активації різностного переміщення плит; появи додаткових, вздовж розділу геологічних плит, пружних напружень; збільшення ймовірності виникнення землетрусу.

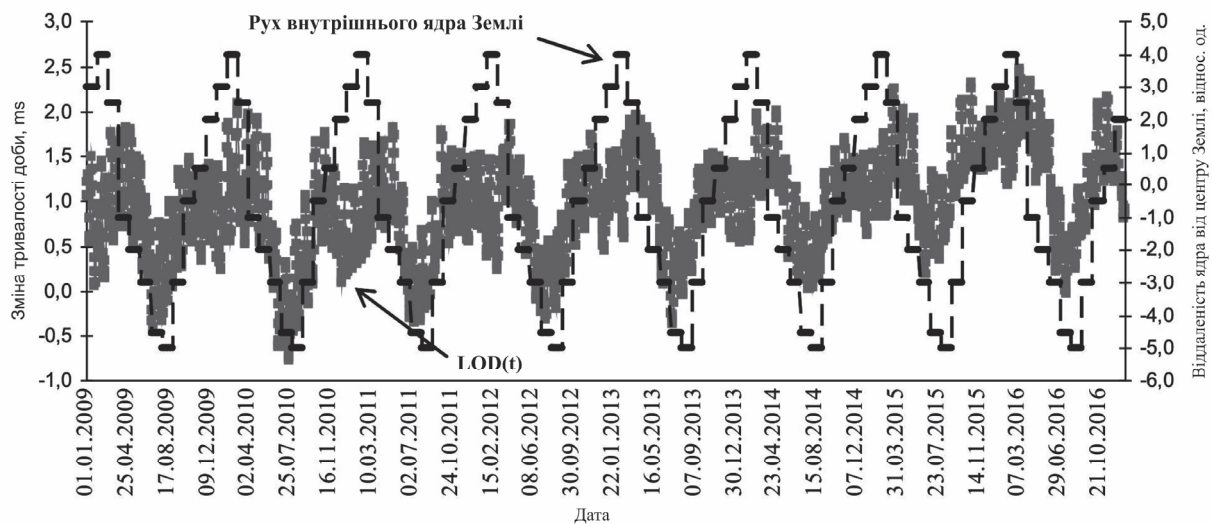


Рис. 19. Помісячна динаміка показників варіації швидкості осевого обертання Землі та видалення внутрішнього ядра від центру Земної кулі

Отримані в роботі теоретико-експериментальні результати базуються на уявленнях про використання (при вирішенні проблеми у сфері цивільного захисту з розробки моделей процесів виникнення і розвитку небезпек різного характеру, як необхідної складової для побудови інтегральної системи моніторингу НС) функціональної поверхні, горизонталі проєкції якої збігаються з конфігурацією локальної території, а її опуклості відповідають рівням небезпеки в місцях з конкретними географічними координатами [2; 8–9]. Дані уявлення формують науково-технічну основу розробки підходу для оцінки впливу сейсмічної активності Земної кулі на ступінь сейсмічної активності сейсмічно небезпечної локальної території.

Висновки

1. Створення комплексної чотирьохрівневої (з урахуванням взаємозв'язків між об'єктовим, міським, регіональним і державним рівнями) геоінформаційної системи моніторингу НС природного, техногенного, соціального і військового характеру, з підсистемою раннього виявлення осередків сейсмічної активності та автоматизованого прогнозування сейсмічної небезпеки по Земній кулі, є необхідною умовою для встановлення відповідного рівня сейсмічної безпеки функціонування контрольованої локальної території. Основою підсистеми раннього виявлення осередків сейсмічної активності та автоматизованого прогнозування сейсмічної небезпеки на контрольованій локальній території є класичний контур управління, що забезпечує збір, обробку та аналіз інформації, а також моделювання розвитку сейсмічної небезпеки по Земній кулі.

2. При розробці системного підходу для прогнозування процесів виникнення НС тектонічного

походження обґрунтовано механізм енергетичного впливу сезонних коливань ядра Земної кулі на варіації швидкості осевого обертання Земної кулі та рівень сейсмічної активності Земної кулі. На основі аналізу варіації швидкості осевого обертання Землі і ексцентричного рівномірного поступально-обертального динамічного руху внутрішнього ядра Земної кулі розглянута можливість встановлення періодичної осциляції сейсмічного стану планети. На основі отриманих результатів помісячної варіації швидкості осевого обертання Землі і сейсмічної активності по поверхні Земної кулі відносно траси руху її внутрішнього ядра встановлено сезонний перерозподіл енергетичного впливу внутрішнього ядра на швидкість осевого обертання Землі, а також на рівень сейсмічної активності сейсмічно нестабільних територій Земної кулі. На основі аналізу результатів обробки кількості землетрусів по поверхні Земної кулі встановлено наявність асиметричного розподілу НС тектонічного походження по поверхні Землі.

3. З метою розробки достовірної нейромережевої моделі прогнозу рівня сейсмічної активності локальної території в умовах впливу сейсмічної активності Земної кулі, як елемента системи нелінійних енергетичних взаємодій Сонце-Земля-Місяць, в роботі використані багатомірні методи статистичного аналізу. Для цього раніше, за допомогою методу ієрархічної кластеризації, проведено ранжування сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за основними параметрами, що визначають рівень сейсмічної активності, а саме за кількістю землетрусів, а також діапазону магнітуд землетрусів, що виникли на певній локальній території. В результаті об'єднання в кожному

кластері (за методом Варда) значень цих змінних за період 2009–2018 рр., встановлено ефект розподілу сейсмічно активних локальних територій Земної кулі на три основних кластери, які характеризуються відносно високим, середнім і низьким ступенями сейсмічної активності.

4. Об'єднання проранжованих сейсмічно активних локальних територій Земної кулі у відповідні за рівнем небезпеки зони дозволило встановити, що зони з відносно високим ступенем сейсмічної активності перебувають: вздовж розділу Європейської та Тихоокеанської плит; навколо Філіппінської плити; вздовж розділу Північно-Американської та Тихоокеанської плит; навколо Карібської плити; вздовж розділу Австралійської і Тихоокеанської плит; вздовж розділу Південно-Американської плити і плити Наска. Отримані таким чином зони з відносно низьким ступенем сейсмічної активності перебувають: переважно вздовж південної частини Європейської плити на її розділі з Африканською, Арабською і Індійською плитами; вздовж розділу Європейської та Північно-Американської плит; переважно

вздовж західної та східної частини Африканської плити на її розділі з Південно-Американською і Австралійською плитами; вздовж розділу Антарктичної плити з Тихоокеанською, Південно-Американською, Африканською і Австралійською плитами.

5. На основі побудови дерев класифікації отримані результати прогнозу належності сейсмічно активних локальних територій Земної кулі до відповідного кластеру (класу) в залежності від значень показників, що визначають географічні координати землетрусів, ступень їх небезпеки, а також умови синхронізації виникнення землетрусів з процесами, що протікають в системі Сонце-Земля-Місяць.

6. Отримані в роботі результати є основою для подальшого проведення комплексної оцінки взаємозв'язків між основними параметрами руху Земної кулі в системі Сонце-Земля-Місяць і основними параметрами тектонічної небезпеки сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, спрямованої на розвиток науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для виконання задач моніторингу НС тектонічного походження.

Список літератури

1. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
2. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171-194.
3. Первый Доклад Председателя Международного Комитета по Проблемам Глобальных Изменений Геологической Среды “GEOCHANGE”, 30.06.2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ru.geochng-report.org>.
4. Баришполец В.А. Системный анализ катастроф, происходящих в мире / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2010. – Т. 2. – № 1–2. – С. 162-176.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/>.
6. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012. – листопад № 220 (5470). – С. 4-20.
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 року № 11 “Про затвердження Положення про Єдину державну систему цивільного захисту” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>.
8. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – 2013. – № 9(116). – С. 204-216.
9. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: монографія / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.
10. Тютюник В.В. Оценка влияния энергетических эффектов в системе Солнце–Земля–Луна на уровень сейсмической активности территории земного шара / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугин, Т.Х. Агазаде // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – Вип. 6(46). – С. 238-246.
11. Оценка динамических и энергетических эффектов на планете Земля и влияние их на соотношение между уровнями сейсмической активности полушарий Земного шара / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугин, Т.Х. Агазаде // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – Київ: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017. – № 2(4). – С. 101-117.
12. Тютюник В.В. Оценка влияния вариаций скорости осевого вращения Земли на уровень сейсмической активности локальных территорий / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугин, Т.Х. Агазаде // GEOINFORMATIKA. – Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2018. – № 3(67). – С. 36-48.
13. Развитие основ геоинформационных систем мониторинга чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугин, Т.Х. Агазаде // Прикладна радіоелектроніка – Харків: Харківський

національний університет радіоелектроніки; Академія наук прикладної радіоелектроніки, 2019. – Т. 18. – Вип. 1–2. – С. 52-65.

14. Hierarchical clustering of seismic activity local territories Globe / Vadym Tiutiunyk, Vladimir Kalugin, Olha Pysklakova, Olexandr Yaschenko, Tural Agazade // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – № 4. – Р. 41-53.

15. Офіційний сайт Глобальної Мережі прогнозування землетрусів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://seismonet.org/index.htm>.

16. Офіційний сайт Міжнародного консорціуму сейсмологічних Інститутів (IRIS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iris.edu/hq/>.

17. US Geological Survey, National Earthquake Information Center [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.earthquake.usgs.gov>.

18. Офіційний сайт Національного центру даних США (USNDC, Флорида, США) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.usndcorps.org.

19. Офіційний сайт Європейського середземноморського сейсмологічного центру (EMSC, Париж, Франція) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.emsc-csem.org/#2.

20. Офіційний сайт Міжнародного сейсмологічного центру (ISC, Англія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isc.ac.uk/>.

21. Офіційний сайт Центру вивчення Землі Німеччини (GFZ, Потсдам, Германия) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gfz-potsdam.de/>.

22. Офіційний сайт Норвезького сейсмологічного центру (NORSAR) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.norsar.no/>.

23. В СНГ создадут межгосударственную систему космического мониторинга ЧС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://itar-tass.com/nauka/1529312>.

24. Создание системы космического мониторинга ЧС в странах СНГ обсудят в Алматы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://newskaz.ru/politics/20120605/3274666.html>.

25. Страны СНГ проследят за возникновением ЧС через космос [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lenta.ru/news/2014/10/24/spacecls>.

26. Офіційний сайт Центру даних Геофізичної служби Росії (ГС РАН, Обнінськ, Росія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eqru.gsras.ru/>.

27. Natal'in A. The Tectonic Evolution of Asia / A. Natal'in. – Cambridge University press, 2001. – Р. 486-638.

28. Офіційний сайт Казахстанського національного центру даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kncd.kz/>.

29. Офіційний сайт Республіканського Центру сейсмологічної Служби при Національній Академії Наук Азербайджану [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.seismology.az/>.

30. Офіційний сайт Головного центру спеціального контролю Національного Космічного агентства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nkau.gov.ua/>.

31. Жаров В.Е. Вариации параметров вращения Земли и их связь с сильнейшими землетрясениями мира / В.Е. Жаров, А.С. Конов, В.Б. Смирнов // Астрон. журн. – 1991. – Т. 68. – Вып. 1. – С. 187-196.

32. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды / Н.Н. Горькавый, Л.С. Левицкий, Т.А. Тайдакова, Ю.А. Трапезников, А.М. Фридман // Физика Земли. – 1994. – № 10. – С. 33-38.

33. Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли / Н.С. Сидоренков // Вестник РАН. – 2004. – Т. 74. – № 8. – С. 701-715.

34. Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум / А.Я. Сидорин // Сейсмические приборы. – 2004. – Вып. 40. – С. 71-80.

35. Левин Б.В. Свойства “критических широт”, вариации вращения и сейсмичность Земли / Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, А.В. Доманский // Вестник ДВО РАН. – 2013. – № 3. – С. 3-8.

36. Zharov V.E. Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes / V.E. Zharov // Astron. Astrophys. Transactions. – 1996. – Vol. 9. – Р. 317-327.

37. Wiemer S. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview / S. Wiemer, M. Wyss // Advances in Geophysics. – 2002. – Vol. 45. – Р. 259-302.

38. Atef A.H. Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States / A.H. Atef, K.H. Liu, S.S. Gao // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 2009. – Vol. 99. – № 4. – Р. 2273-2279.

39. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли / Н.С. Сидоренков. – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 384 с.

40. Клименко А.В. Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением: Диссер. ... канд. физ.-мат. наук / Клименко А.В. – М.: Московский государственный областной университет, 2005. – 87 с.

41. Малышков Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 2. – С. 152-172.

42. Малышков Ю.П. Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, С.Г. Шгалин [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2352961С2, МПК G01V3/00, 20.04.2009.

43. Ромашов А.Н. В поисках обобщающей геотектонической концепции / А.Н. Ромашов, С.С. Цыганков // Геотектоника. – 1996. – № 4. – С. 3-12.
44. Фридман А.М. О некоторых корреляциях в сейсмодинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли / А.М. Фридман, Е.В. Поляченко, Н.Р. Насырканов // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180. – № 3. – С. 303-312.
45. Райс Дж. Механика очага землетрясения / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
46. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
47. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
48. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд. – Королев, М.О.: ЦНИИ-Маш, 2007. – 160 с.
49. Березняков А.І. Фізика Землі / А.І. Березняков, К.А. Немець. – Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
50. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны / Е.Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
51. Малышков Ю.П. Способ прогноза землетрясений / Ю.П. Малышков, К.Б. Джумабаев, С.Ю. Малышков // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2238575, МПК G01V3/00, 20.10.2004.
52. Пшеничников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры / К.В. Пшеничников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
53. Гульельми А.В. Форшоки и афтершоки сильных землетрясений в свете теории катастроф / А.В. Гульельми // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185. – № 4. – С. 415-429.
54. Левин Б.В. Великое Японское землетрясение / Б.В. Левин, М.В. Родкин, И.Н. Тихонов // Природа. – 2011. – № 10. – С. 14-22.
55. Электромагнитные предвестники землетрясений / Под ред. М.А. Садовского. – М.: Наука, 1982. – 69 с.
56. Ремизов Л.Т. Регистрация изменений естественного электромагнитного поля в периоды времени, предшествующие землетрясениям / Л.Т. Ремизов // Радиотехника и электроника – 1991. – Т. 36. – № 6. – С. 1041-1080.
57. Тертышников А.В. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере / А.В. Тертышников // Гелиогеофизические исследования. – 2012. – Вып. 2. – С. 54-59.
58. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями / А.С. Беляков, В.С. Лавров, А.В. Николаев, Л.Л. Худзинский // Физика Земли. – 1999. – № 12. – С. 39-46.
59. Смирнов В.М. Исследование возможности применения спутниковых навигационных систем для мониторинга сейсмических явлений / В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова // Вопросы электромеханики. – 2008. – Т. 105. – С. 94-104.
60. Тертышников А.В. Перспективы мониторинга сейсмических условий из космоса / А.В. Тертышников, В.В. Платонов // Электронный журнал “Исследовано в России” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/031.pdf>.
61. Ионосферные аномалии, наблюдаемые в GPS TEC измерениях перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M6.8) / И.Е. Захаренкова, И.И. Шагимуратов, А. Кранковски, А.Ф. Лаговский // Электронный журнал “Исследовано в России” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/110.pdf>.
62. Черногор Л.Ф. Эффективность мониторинга катастрофических процессов космического и земного происхождения / Л.Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 38-47.
63. The shock-acoustic waves generated by the earthquakes / E.L. Afraimovich, N.P. Perevalova, A.V. Plotnikov, A.M. Uralov // Annales Geophysicae. – 2001. – Vol. 19. – № 4. – P. 395-409.
64. Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data / R. Garcia, F. Crespon, V. Ducic, P. Lognonne // Geophys. J. Int. – 2005. – Vol. 163. – P. 1049-1064.
65. Heki K. Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array / K. Heki, J. Ping // Earth Planet. Sci. Lett. – 2005. – Vol. 236. – P. 845-855.
66. Features of precursor fields before and after the Datong-Yarg-gao Earthquake swarm / Ma Li, Chen Jianmin, Chen Qifu, Liu Guiping // J. Earth. Predict. Res. – 1995. – Vol. 4. – № 1. – P. 1-30.
67. Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement / J.Y. Liu, Y.J. Chuo, S.J. Shan, Y.B. Tsai, Y.I. Chen, S.A. Pulinet, S.B. Yu // Annales Geophysicae. – 2004. – Vol. 22. – P. 1585-1593.
68. Chernogor L.F. Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011 / L.F. Chernogor // Geomagnetism and Aeronomy. – 2019. – Vol. 59, № 1. – P. 62-75.
69. Chernogor L.F. Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes / L.F. Chernogor // Geomagnetism and Aeronomy. – 2019. – Vol. 59, No. 3. – P. 374-382.
70. Ким Дж.О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
71. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – М.: ООО “Бином-Пресс”, 2007. – 512 с.

References

1. Chernogor, L.F. (2012), “*Fizika i ekologiya katastrof*” [Physics and ecology of disasters], Kharkivskiy natsionalnyy universitet im. V.N. Karazina, Kharkiv, 556 p.
2. Tiutiunyk, V.V., Chernogor, L.F. and Kaluhin, V.D. (2011), “Systemnyi pidkhid do otsinky nebezpeky zhyttiedialnosti pry terytorialno chasovomu rozpodili enerhii dzherel nadzvychainykh sytuatsii” [System approach to the estimation of danger of

- vital functions at the emergencies sources energy territorial-temporal distribution], *Problemy nadzvychajnykh situacij*, No. 14, pp. 171-194.
3. Chairman of the International Committee on Problems of Global Changes in the Geological Environment (2010), "Pervyj Doklad "GEOCHANGE"" [First Report "GEOCHANGE"], available at: www.ru.geochng-report.org.
4. Barishpolets, V.A. (2010), "Sistemnyy analiz katastrof, proiskhodyashchikh v mire" [System analysis of disasters occurring in the world], *Radioelektronika. Nanosistemy. Informatsionnye tekhnologii*, Vol. 2, No. 1-2, pp. 162-176.
5. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychajnykh situacij (2019), "Nacionaljna dopovidj pro stan tekhnoghennoji ta pryrodnoji bezpeky v Ukraini" [National report on the state of technogenic and natural security in Ukraine], available at: www.dsns.gov.ua/.
6. The Law of Ukraine (2012), "Kodeks cyvilnogo zahystu Ukrainy vid 2 zhovtnya 2012 roku No. 5403-VI" [Code of Civil Protection of Ukraine dated October 2, 2012 No. 5403-VI], *Golos Ukrainy*, No. 220(5470), pp. 4-20.
7. The Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2014), "Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Yedynu derzhavnu systemu cvilnogo zahystu vid 9.01.2014 No. 11" [On Approval of the Regulation on the Unified State Civil Protection System dated 9.01.2014 No. 11], available at: www.zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF.
8. Kalugin, V.D., Tyutyunyk, V.V., Chornogor, L.F. and Shevchenko, R.I. (2013), "Rozrobka naukovo-tehnichnykh osnov dlya stvorennya systemy monitoryngu, poperedzhennya ta likvidaciyi nadzvychajnykh situacij pryrodnoho ta tekhnogennogo xarakteru ta zabezpechennya ekologichnoyi bezpeky" [Development of scientific and technical basis for establishment of monitoring, prevention and liquidation of emergency situations of natural and man-made nature, and also ensuring of environmental of ecological security], *Information Processing Systems*, No. 9 (116), pp. 204-216.
9. Andronov, V.A., Divizinyuk, M.M., Kalugin, V.D. and Tyutyunyk, V.V. (2016), "Naukovo-konstruktorski osnovy stvorennya kompleksnoyi systemy monitoryngu nadzvychajnykh situacij v Ukraini" [Scientific and design basis for creation of a comprehensive system of emergency monitoring in Ukraine], National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, 319 p.
10. Tyutyunyk, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2017), "Otsenka vliyaniya energeticheskikh effektov v sisteme Solntse-Zemlya-Luna na uroven seismicheskoy aktivnosti territorii Zemnogo shara" [Assessment of the effect of energy effects in the Sun – Earth – Moon system on the level of seismic activity of the Globe], *Conrol, Navigation and Communication Systems*, No. 6(46), pp. 238-246.
11. Tyutyunyk, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2017), "Otsenka dinamicheskikh i energeticheskikh effektov na planeti Zemlya i vliyanie ikh na sootnoshenie mezhd urovniami seismicheskoy aktivnosti polushariy Zemnogo shara" [Assessment of dynamic and energy effects on planet Earth and their influence on the relationship between seismic activity levels of the hemispheres of the Globe], *Civil protection and fire safety*, No. 2(4), pp. 101-117.
12. Tyutyunyk, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2018), "Otsenka vliyaniya variatsiy skorosti oseвого vrashcheniya Zemli na uroven seismicheskoy aktivnosti lokalnykh territoriy" [Assessment of the influence of variations in the axial rotation speed of the Earth on the level of seismic activity of local territories], *GEOINFORMATIKA*, No. 3(67), pp. 36-48.
13. Tyutyunyk, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2019), "Razvitie osnov geoinformatsionnykh sistem monitoringa chrezvychaynykh situatsiy tektonicheskogo proiskhozhdeniya" [Development of the basics of geoinformation systems for monitoring emergency situations of tectonic origin], *Prykladna radioelektronika*, Vol. 18, No. 1–2, pp. 52-65.
14. Tiutiunyk, Vadym, Kalugin, Vladimir, Pysklakova, Olha, Yaschenko, Olexandr and Agazade, Tural (2019), Hierarchical clustering of seismic activity local territories Globe, *EUREKA: Physics and Engineering*, No. 4, pp. 41-53.
15. The official site of Global Earthquake Prediction Network, available at: www.seismonet.org/index.htm.
16. The Official Site of IRIS (2018), *Incorporated Research Institutions for Seismology*, available at: <https://www.iris.edu/hq/>.
17. US Geological Survey (2018), *National Earthquake Information Center*, available at: <http://www.earthquake.usgs.gov>.
18. The official site of US National Data Center (USNDC, Florida, USA), available at: www.usndcorps.org.
19. The official site of the European Mediterranean Seismological Center (EMSC, Paris, France), available at: www.emsc-csem.org/#2.
20. The official site of the International Seismological Center (ISC, England) (2019), *ISC locations: 1964 to present*, available at: www.isc.ac.uk/.
21. The official site of the Center for the Study of the Earth of Germany (GFZ, Potsdam, Germany) (2019), *Neue Erkundungsmethode für die Geothermie*, available at: <https://www.gfz-potsdam.de/>.
22. The official site of the Norwegian Seismological Center (NORSAR) (2019), *Insight through modelling*, available at: <https://www.norsar.no/>.
23. The official site of TASS (2019), "V SNG sozdatut mezhgosudarstvennyyu sistemuyu kosmicheskogo monitoringa ChS" [The CIS will create an interstate space monitoring system for emergencies], available at: www.itar-tass.com/nauka/1529312.
24. The official site of Sputnik Kazakhstan (2019), "Sozdanie systemy kosmicheskogo monitoringa ChS v stranakh SNG obsudyat v Almaty" [The creation of a space-based emergency monitoring system in the CIS countries will be discussed in Almaty], available at: www.newskaz.ru/politics/20120605/3274666.html.
25. Lenta.ru (2019), "Strany SNG prosledyat za vozniknoveniem ChS cherez kosmos" [CIS countries will track emergencies through space], available at: www.lenta.ru/news/2014/10/24/spacecls.
26. The official site of the Data Center of the Geophysical Service of Russia (GS RAS, Obninsk, Russia) (2019), "Baza Danykh "Zemletrjasenyja Rossyy" [Russia's earthquake database], available at: www.eqru.gsr.ru/.
27. Natal'in, A. (2001), *The Tectonic Evolution of Asia*, Cambridge University press, pp. 486-638.

28. The official site of Kazakhstan National Data Center (2019), “*Seismycheskiye bjulleteny*” [*Seismic Bulletins*], available at: <http://www.kndc.kz/>.
29. The official site of the Republican Center of Seismological Service at the National Academy of Sciences of Azerbaijan (2019), “*Seismoproghnoztycheskiye nabljudenyja na terrytoryy Azerbajdzhana*” [*Seismoprognosis observations in the territory of Azerbaijan*], available at: <http://www.seismology.az/>.
30. The official site of the Main Center for Special Control of the National Space Agency of Ukraine (2019), “*Gholovnyj centr specialjnogho kontrolju*” [*The main center of special control*], available at: <http://www.nkau.gov.ua/>.
31. Zharov, V.E., Konov, A.S. and Smirnov, V.B. (1991), “Variatsii parametrov vrashcheniya Zemli i ikh svyaz' s sil'neyshimi zemletryasenyami mira” [Variations of the Earth's rotation parameters and their relationship with the strongest earthquakes in the world], *Astronomicheskij zhurnal*, Vol. 68, No. 1, pp. 187-196.
32. Gor'kavyy, N.N., Levitskiy, L.S., Taydakova, T.A., Trapeznikov, Yu.A. and Fridman, A.M. (1994), “O korrelyatsii grafikov uglovoy skorosti vrashcheniya Zemli i modulya ee vremennoy proizvodnoy s chastotoy zemletryasenyi v zavisimosti ot ikh magnitudy” [On the correlation of the graphs of the angular velocity of rotation of the Earth and the module of its temporal derivative with the frequency of earthquakes depending on their magnitude], *Fizika Zemli*, No. 10, pp. 33-38.
33. Sidorenkov, N.S. (2004), “Nestabil'nost' vrashcheniya Zemli” [Earth rotation instability], *Vestnik RAN*, Vol. 74, No. 8, pp. 701-715.
34. Sidorin, A.Ya. (2004), “Vliyanie Solntsa na seysmichnost' i seysmicheskiy shum” [Influence of the Sun on seismicity and seismic noise], *Seysmicheskie pribory*, No. 40, pp. 71-80.
35. Levin, B.V., Sasorova, E.V. and Domanskiy, A.V. (2013), “Svoystva “kriticheskikh shirot”, variatsii vrashcheniya i seysmichnost' Zemli” [Properties of “critical latitudes”, rotation variations and seismicity of the Earth], *Vestnik DVO RAN*, No. 3, pp. 3-8.
36. Zharov, V.E. (1996), Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquakes, *Astron. Astrophys. Transactions*, Vol. 9, pp. 317-327.
37. Wiemer, S. and Wyss, M. (2002), Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview, *Advances in Geophysics*, Vol. 45, pp. 259-302.
38. Atef, A.H., Liu, K.H. and Gao, S.S. (2009), Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, Vol. 99, No. 4, pp. 2273-2279.
39. Sidorenkov, N.S. (2002), “*Fizika nestabil'nostej vrashheniya Zemli*” [Earth rotation instability physics], Nauka, Fizmatlit, Moscow, 384 p.
40. Klimenko, A.V. (2005), “*Global'nye svoystva seysmicheskoy aktivnosti Zemli i ikh svyaz' s ee vrashcheniem: dissertatsiya*” [Global properties of Earth's seismic activity and their relationship with its rotation: dissertation], Moskovskiy gosudarstvennyy oblastnoy universitet, Moscow, 87 p.
41. Malyshkov, Yu.P. and Malyshkov, S.Yu. (2009), “Periodicheskie variatsii geofizicheskikh poley i seysmichnosti, ikh vozmozhnaya svyaz' s dvizheniem yadra Zemli” [Periodic variations of geophysical fields and seismicity, their possible connection with the motion of the Earth's core], *Geologiya i geofizika*, Vol. 50, No. 2, pp. 152-172.
42. Malyshkov, Yu.P., Malyshkov, S.Yu. and Shtalin, S.G. (2009), “*Sposob opredeleniya prostranstvennogo polozheniya i parametrov dvizheniya vnutrennego yadra Zemli*” [A method for determining the spatial position and motion parameters of the Earth's inner core], Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem, Patent RF no. 2352961S2, MPK G01V3/00, 20.04.2009.
43. Romashov, A.N. and Tsygankov, S.S. (1996), “V poiskakh obobshchayushchey geotektonicheskoy kontseptsii” [In search of a generalized geotectonic concept], *Geotektonika*, No. 4, pp. 3-12.
44. Fridman, A.M., Polyachenko, E.V. and Nasyrkanov, N.R. (2010), “O nekotorykh korrelyatsiyakh v seysmodinamike i dvukh komponentakh seysmicheskoy aktivnosti Zemli” [On some correlations in seismodynamics and two components of the Earth's seismic activity], *Uspekhi fizicheskikh nauk*, Vol. 180, No. 3, pp. 303-312.
45. Rays, Dzh. (1982), “*Mekhanika ochaga zemletryaseniya*” [Earthquake focal mechanics], Mir, Moscow, 217 p.
46. Kasakhara, K. (1985), “*Mekhanika zemletryasenyi*” [Earthquake mechanics], Mir, Moscow, 264 p.
47. Trukhin, V.I., Pokazeev, K.V. and Kunitsyn, V.E. (2005), “*Obshchaya i ekologicheskaya geofizika*” [General and environmental geophysics], FIZMATLIT, Moscow, 576 p.
48. Gufel'd, I.L. (2007), “*Seysmicheskiy protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty*” [Seismic process. Physicochemical aspects], TsNIIMash, Korolev, 160 p.
49. Bereznyakov, A.I. and Nyemecz, K.A. (2010), “*Fizyka Zemli*” [Earth Physics], Kharkivskiy natsional'nyy universitet im. V.N. Karazina, Kharkiv, 268 p.
50. Savarenskiy, E.F. (1972), “*Seysmicheskie volny*” [Seismic waves], Nedra, Moscow, 296 p.
51. Malyshkov, Yu.P., Dzhumabaev, K.B. and Malyshkov, S.Yu. (2004), “*Sposob prognoza zemletryasenyi*” [Earthquake prediction method], Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem, Patent RF no. 2238575, MPK G01V3/00, 20.10.2004.
52. Pshennikov, K.V. (1965), “*Mekhanizm vozniknoveniya aftershokov i neuprugie svoystva zemnoy kory*” [The mechanism of occurrence of aftershocks and inelastic properties of the earth's crust], Nauka, Moscow, 87 p.
53. Gul'el'mi, A.V. (2015), “Forshoki i aftershoki sil'nykh zemletryasenyi v svete teorii katastrof” [Foreshocks and aftershocks of strong earthquakes in the light of catastrophe theory], *Uspekhi fizicheskikh nauk*, Vol. 185, No. 4, pp. 415-429.
54. Levin, B.V., Rodkin, M.V. and Tikhonov, I.N. (2011), “Velikoe Yaponskoe zemletryasenie” [Great Japanese earthquake], *Priroda*, No. 10, pp. 14-22.

55. Sadovskiy, M.A. (1982), “*Elektromagnitnye predvestniki zemletryaseniy*” [*Electromagnetic earthquake precursors*], Nauka, Moscow, 69 p.
56. Remizov, L.T. (1991), “Registratsiya izmeneniy estestvennogo elektromagnitnogo polya v periody vremeni, predshestvuyushchie zemletryaseniyam” [Registration of changes in the natural electromagnetic field in time periods preceding earthquakes], *Radiotekhnika i elektronika*, Vol. 36, No. 6, pp. 1041-1080.
57. Tertyshnikov, A.V. (2012), “Predvestniki sil'nykh zemletryaseniy v ozonosfere” [Harbingers of strong earthquakes in the ozonosphere], *Geliogeofizicheskie issledovaniya*, No. 2, pp. 54-59.
58. Belyakov, A.S., Lavrov, V.S., Nikolaev, A.V. and Khudzinskiy, L.L. (1999), “Podzemnyy fonovyy zvuk i ego svyaz' s prilivnymi deformatsiyami” [Underground background sound and its relation to tidal deformations], *Geliogeofizicheskie issledovaniya*, No. 12, pp. 39-46.
59. Smirnov, V.M. and Smirnova, E.V. (2008), “Issledovanie vozmozhnosti primeneniya sputnikovykh navigatsionnykh sistem dlya monitoringa seysmicheskikh yavleniy” [Study of the possibility of using satellite navigation systems for monitoring seismic phenomena], *Voprosy elektromekhaniki*, No. 105, pp. 94-104.
60. Tertyshnikov, A.V. and Platonov, V.V. (2007), “Perspektivy monitoringa seysmicheskikh usloviy iz kosmosa” [Prospects for monitoring seismic conditions from space], *Issledovano v Rossii*, available at: www.zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/031.pdf.
61. Zakharenkova, I.E., Shagimuratov, I.I., Krankovski, A. and Lagovskiy, A.F. (2006), “Ionosfernye anomalii, nablyudaemye v GPS TEC izmereniyakh pered zemletryaseniem v Gretsii 8 yanvarya 2006 g. (M6.8)” [Ionospheric anomalies observed in GPS TEC measurements before the earthquake in Greece on January 8, 2006 (M6.8)], *Issledovano v Rossii*, available at: www.zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/110.pdf.
62. Chernogor, L.F. (2019), “Effektivnost monytorynга katastroficheskyyh processov kosmicheskogo y zemnogo proyshozhdeniya” [Effectiveness monitoring of catastrophic processes of space and terrestrial origin], *Space science and technology*, Vol. 25, No. 16, pp. 38-47.
63. Afraimovich, E.L., Perevalova, N.P., Plotnikov, A.V. and Uralov, A.M. (2001), The shock-acoustic waves generated by the earthquakes, *Annales Geophysicae*, Vol. 19, No. 4, pp. 395-409.
64. Garcia, R., Crespon, F., Ducic, V. and Lognonne, P. (2005), Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data, *Geophys. J. Int.*, Vol. 163, pp. 1049-1064.
65. Heki, K. and Ping, J. (2005), Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array, *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 236, pp. 845-855.
66. Li, Ma, Jianmin, Chen, Qifu, Chen and Guiping, Liu (1995), Features of precursor fields before and after the Datong-Yarg-gao Earthquake swarm, *J. Earth. Predict. Res.* Vol. 4, No. 1, pp. 1-30.
67. Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A. and Yu, S.B. (2004), Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement, *Annales Geophysicae*, Vol. 22, pp. 1585-1593.
68. Chernogor, L.F. (2019), Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 59, No. 1, pp. 62-75.
69. Chernogor, L.F. (2019), Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 59, No. 3, pp. 374-382.
70. Kim, Dzh.O., Myuller, Ch.U. and Klekka, U.R. (1989), “*Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz*” [*Factor, discriminant and cluster analysis*], *Finansy i statistika*, Moscow, 215 p.
71. Khalafyan, A.A. (2007), “*STATISTICA 6. Statisticheskyy analiz dannykh*” [*STATISTICA 6. Statistical data analysis*], Binom-Press, Moscow, 512 p.

Надійшла до редколегії 10.10.2019

Схвалена до друку 19.11.2019

Відомості про авторів:

Тютюнник Вадим Володимирович

доктор технічних наук старший науковий співробітник
начальник кафедри Національного університету
цивільного захисту України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Чорногор Леонід Феоктистович

доктор фізико-математичних наук професор
професор кафедри Харківського національного
університету ім. В.Н. Каразіна,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

Information about the authors:

Vadym Tiutiunyk

Doctor of Technical Sciences Senior Research
Head of Department of National University
of Civil Defense of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Leonid Chernogor

Doctor of Physic and Mathematics Professor
Professor of Department of V.N. Karazin
Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

Калугін Володимир Дмитрович

доктор хімічних наук професор
професор кафедри Національного університету
цивільного захисту України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Vladimir Kalugin

Doctor of Chemical Sciences Professor
Professor of Department of National University
of Civil Defense of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Агазаде Турал Ханлар огли

ад'юнкт Національного університету
цивільного захисту України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0165-1118>

Tural Agazade

Doctoral Student of National University
of Civil Defense of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0165-1118>

**ДЕРЕВЬЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗЕМНОГО ШАРА
В СИСТЕМЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ-ЛУНА**

В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугин, Т.Х. Агазаде

С целью дальнейшего развития научно-технических основ создания системы искусственного интеллекта для выполнения задач по мониторингу чрезвычайных ситуаций (ЧС) тектонического происхождения, в работе представлены результаты построения деревьев классификации сейсмически активных локальных территорий Земного шара в зависимости от показателей, определяющих географические координаты возникших землетрясений, степень опасности возникших землетрясений, а также условия синхронизации возникших землетрясений с процессами, протекающими в системе нелинейных энергетических взаимодействий Солнце-Земля-Луна.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, сейсмическая активность, сейсмическая опасность, мониторинг чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения, деревья классификации.

**THE TREES OF CLASSIFICATION SEISMICALLY ACTIVE LOCAL TERRITORIES
OF THE EARTH IN THE SYSTEM OF NONLINEAR ENERGY INTERACTIONS SUN-EARTH-MOON**

V. Tiutiunyk, L. Chernogor, V. Kalugin, T. Agazade

In this article with the purpose of further developing the scientific and technical foundations for creating an artificial intelligence system to perform tasks of monitoring emergencies of tectonic origin has been presented. The results of constructing classification trees for seismically active local territories of the Earth depending on indicators determining the geographical coordinates of the earthquakes and degree the hazard of earthquakes have been occurred. These have that arisen, as well as the conditions for synchronizing earthquakes with processes occurring in system of nonlinear energy interactions Sun-Earth-Moon.

The construction of classification trees based on the results of cluster analysis of seismically active local territories of the globe (according to the degree of seismic activity) was carried out using the statistical packages STATISTICA 6.1 and SPSS 2.0.

The results obtained in this work are the basis for further comprehensive assessment of the interconnections between the main parameters of the Earth's movement in the Sun – Earth – Moon system and the main parameters of the tectonic hazard of seismically active local territories of the Earth, aimed at developing the scientific and technical foundations for creating an artificial intelligence system for monitoring emergencies of tectonic origin.

Keywords: emergency, seismic activity, seismic hazard, local territory, system of nonlinear energy interactions Sun-Earth-Moon, monitoring of emergency situations tectonic origin, artificial intelligence system, trees classification.