

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

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

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

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ОПИС РАЙОНУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗЕМНОЇ КУЛІ ЗА КІЛЬКІСТЮ ТА РУЙНІВНОЮ ЕНЕРГІЄЮ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕКТОНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

З метою подальшого розвитку науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу надзвичайних ситуацій (НС) тектонічного походження, в роботі представлені результати функціонального опису результатів ієрархічної кластеризації (районування) локальних територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією (магнітудою) НС тектонічного походження. Результати отримані методами дискримінантного та канонічного багатомірного статистичного аналізу сейсмічної активності Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, сейсмічна небезпека, сейсмічна активність, моніторинг надзвичайних ситуацій тектонічного походження, дискримінантний аналіз, канонічний аналіз

Постановка проблеми

Безліч процесів, що протікають при функціонуванні природно-техногенно-соціальної системи Земної кулі, та їх взаємна трансформація генерують безліч небезпечних для біосфери Землі природних явищ, таких, як землетруси, цунамі, виверження вулканів, повені, урагани тощо [1, 2].

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 природи на Земній кулі [3 – 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 представлено на рис. 1 [6 – 9].

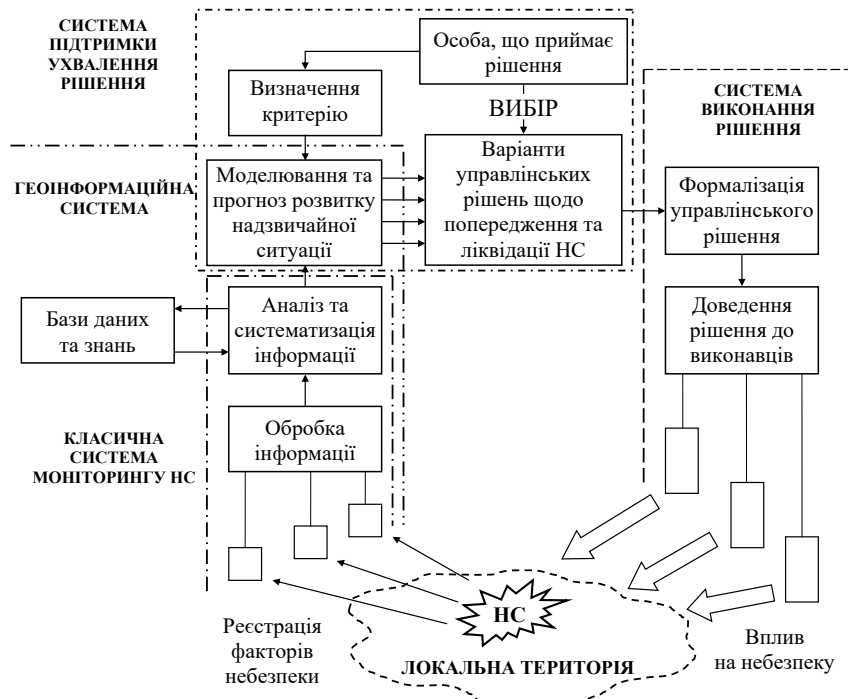


Рис. 1. Схема структури моніторингу надзвичайних ситуацій як засобу управління

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 дискримінантного та канонічного багатомірного статистичного аналізу результатів ієрархічної клас-

теризації (районування) локальних територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією (магнітудою) НС тектонічного походження.

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].

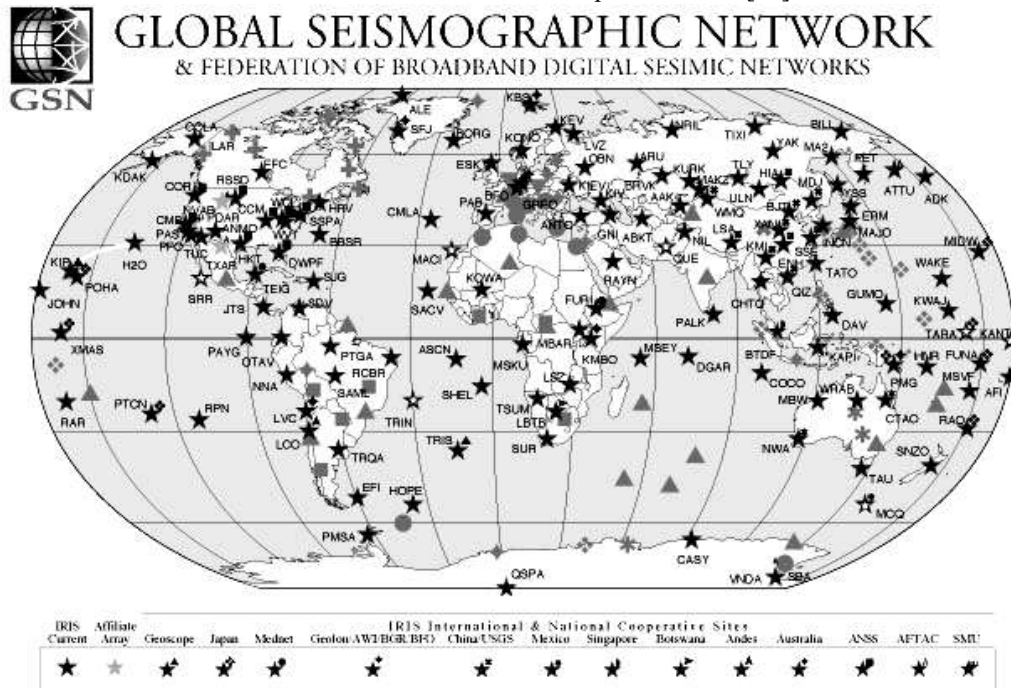


Рис. 2. Глобальна цифрова сейсмографічна мережа IRIS GSN [16]

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

Європейська сейсмологічна мережа складається з ширококутних 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 сейсмічної 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 добичу вуглеводнів.

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

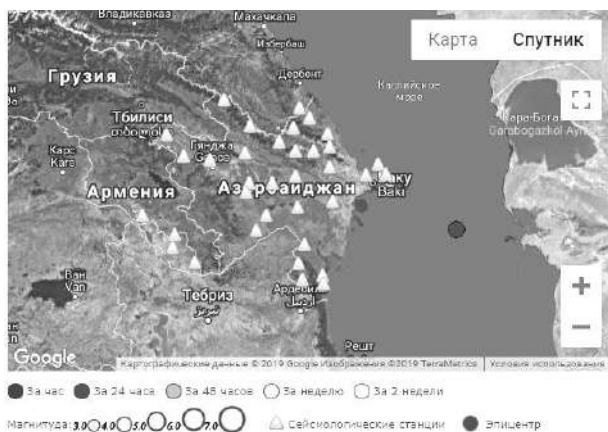


Рис. 3. Сейсмографічна мережа РЦСС НАНА [29]

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, на території республіки Центром було встановлено 24 GPS станції. 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. Підлужи (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, Одеська 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.

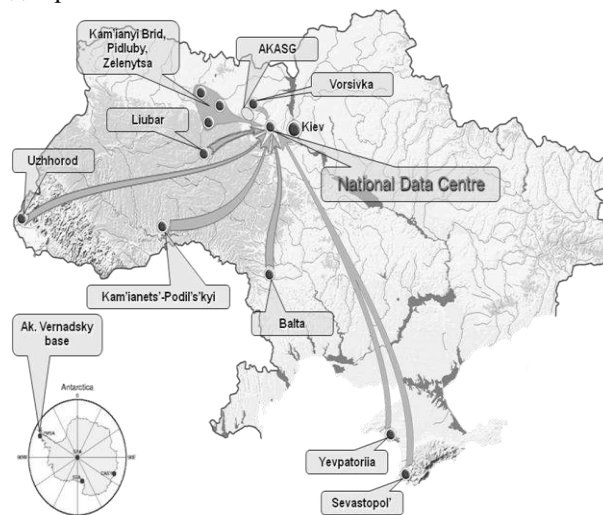


Рис. 4. Мережа пунктів спостережень ГЦСК ДКА України [30]

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].

Виклад основного матеріалу

Метою даної роботи є розвиток науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу НС тектонічного походження, що реалізується шляхом функціонального опису результатів ієрархічної кластеризації (районування) локальних територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією (магнітудою) НС тектонічного походження.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлено завдання використання дискримінантного і канонічного методів багатовимірного статистичного аналізу для оцінки сейсмічної активності Землі в

системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце-Земля-Місяць.

Дискримінантний і канонічний аналізи результатів ієрархічної кластеризації (районування) локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності в роботі проведені з використанням статистичних пакетів STATISTICA 6.1 та SPSS 2.0.

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].

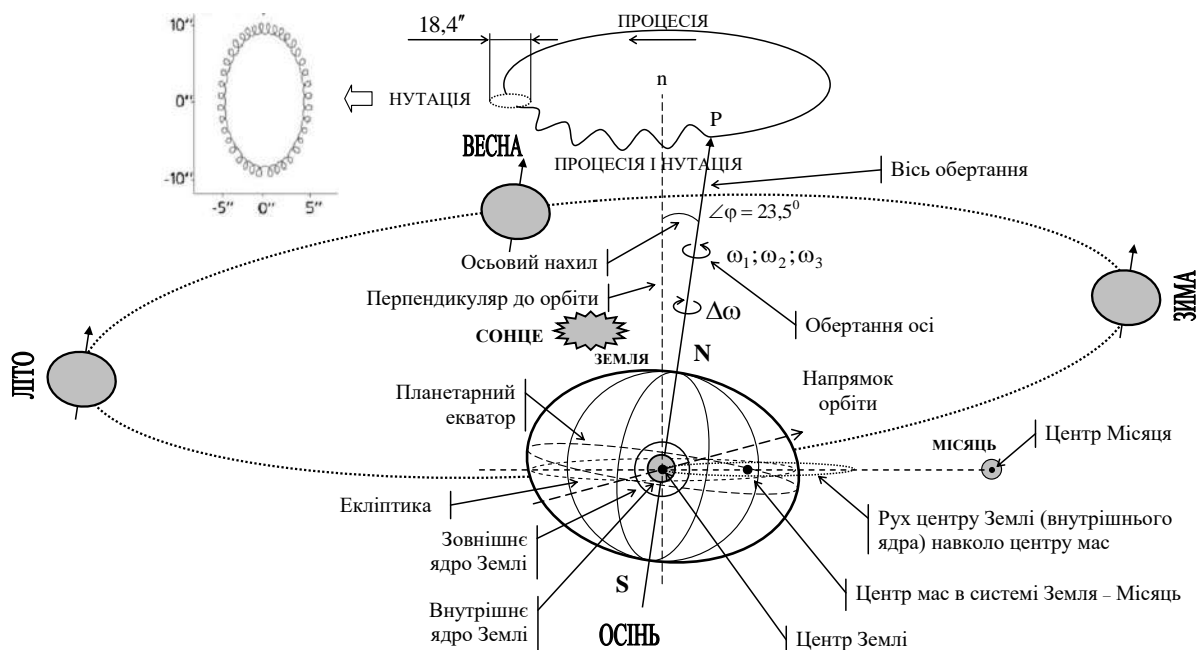


Рис. 5 Схема руху Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце-Земля-Місяць

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, який видавлює оболонку зсередини. В протилежних 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 обертань 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 напруги, 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.

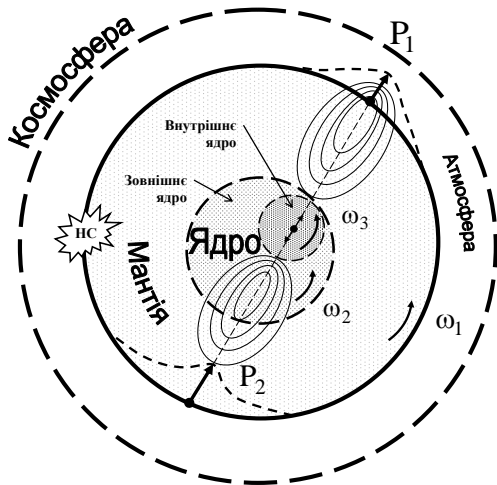


Рис. 6. Схема впливу коливань внутрішнього ядра на сейсмічну активність

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

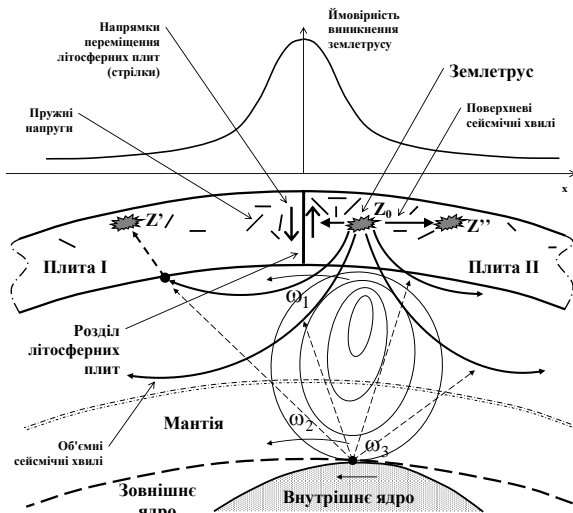


Рис. 7. Схема процесу виникнення землетрусів та поширення сейсмічної активності

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 провокують 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 провокують 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,

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



Рис. 8. Схема системи розподілу карт на окремі листи

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. 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 b^0 зонами проекції Гаусса-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. представлені в графічному вигляді для північної та південної півкуль на рис. 9. Узагальнені результати представлені на рис. 10.

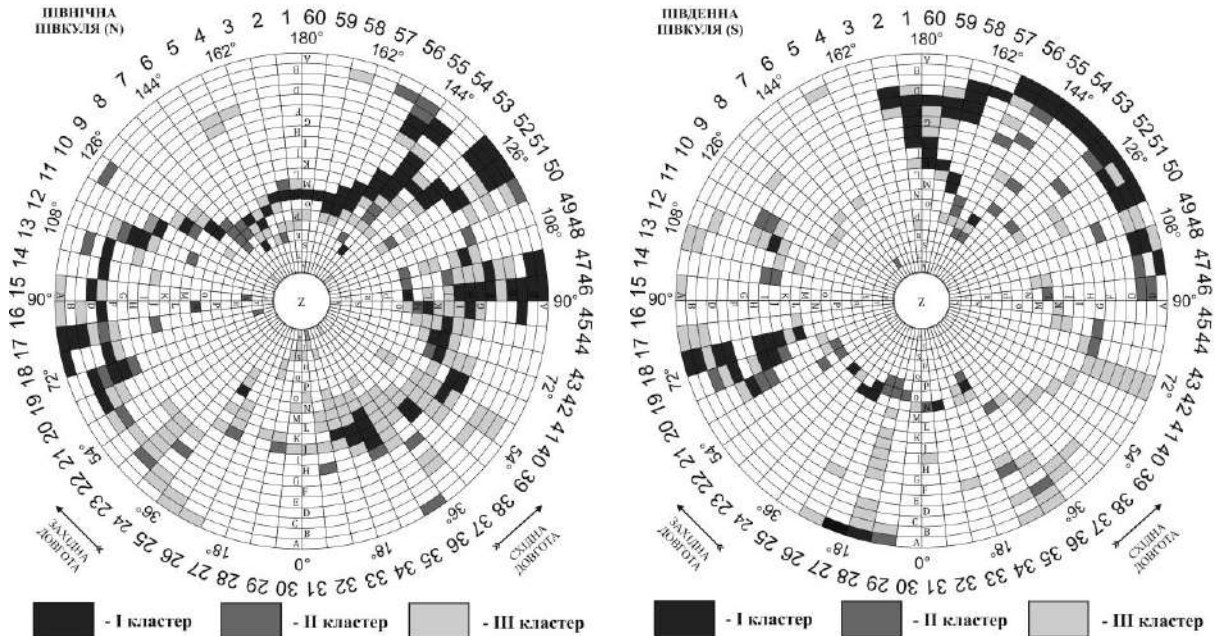


Рис. 9. Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій північної та південної півкуль Земної кулі за ступенем сейсмічної активності за період 2009 – 2018 рр.

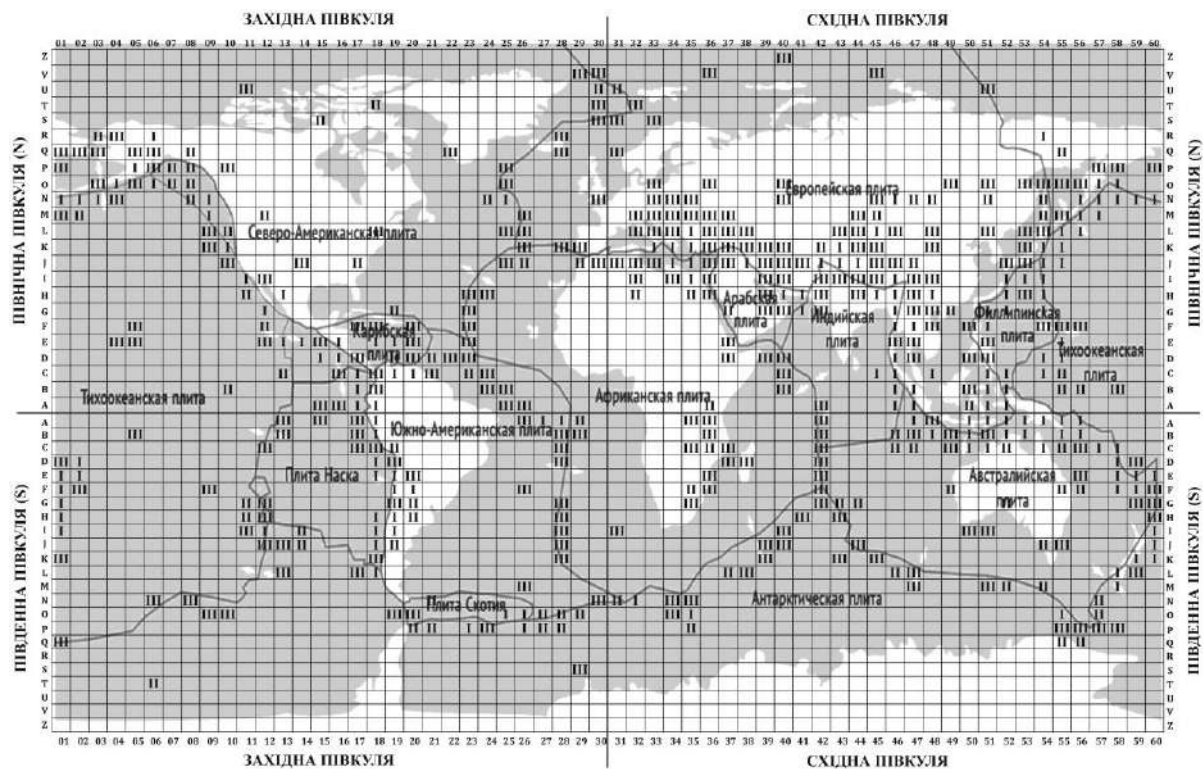


Рис. 10. Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності (I, II та III кластери) за період 2009 – 2018 рр.

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), середньої (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 Карібської 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.

З метою формування математичної основи достовірної класифікації та районування локальних

територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності, для розвитку науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу НС тектонічного походження в роботі використані дискримінантний і канонічний методи багатовимірної статистичного аналізу.

Основною метою дискримінантного аналізу є визначення лінійних комбінацій змінних, які оптимально розділять групи, що аналізуються:

$$h_k = b_{k0} + b_{k1}X_1 + b_{k2}X_2 + \dots + b_{kp}X_p, \quad (1)$$

де h_k – значення функції класифікації для k -го класу (кластеру), $b_{k0} \dots b_{kp}$ – дискримінантні коефіцієнти (дискримінантні ваги); $X_1 \dots X_p$ – предиктори.

Відповідно до запропонованої на рис. 5 – 7 фізичної інтерпретації та за умов того, що апріорну ймовірність класифікації обрано однаковою для всіх груп, функції районування локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності мають вигляд:

$$\begin{aligned} h_I &= -0,289 + 0,047D(t) + 0,042\Omega(t) - \\ &\quad - 0,010LOD(t) - 0,014L - 0,018B + \\ &\quad + 0,122M - 0,003E; \\ h_{II} &= -4,214 - 0,611D(t) - 0,159\Omega(t) + \\ &\quad + 0,252LOD(t) + 0,195L - 0,304B + \\ &\quad + 0,459M - 0,126E; \\ h_{III} &= -1,610 - 0,091D(t) - 0,126(t) + \\ &\quad + 0,001LOD(t) + 0,028L + 0,099B - \\ &\quad - 0,457M + 0,022E. \end{aligned} \quad (2)$$

Таблиця 1

Результати аналізу дискримінантної моделі районування локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності

Змінні	Λ	Λ^*	F	p	Толерантність
D(t)	0,9306	0,9917	18,9956	0,0000	0,6528
$\Omega(t)$	0,9262	0,9964	8,1961	0,0003	0,6718
LOD(t)	0,9240	0,9989	2,5390	0,0791	0,6635
L	0,9241	0,9987	2,9706	0,0514	0,9925
B	0,9267	0,9959	9,2413	0,0001	0,9073
M	0,9542	0,9673	76,9887	0,0000	0,5915
E	0,9234	0,9995	1,1119	0,3290	0,9735

У зв'язку з тим, що дискримінаторні функції були визначені за вибірковими даними, вони потребують перевірки статистичної значущості. Визначальною для дискримінантного аналізу є перевірка гіпотези про відсутність різниці між груповими середніми $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, де μ_k – 7-мірний вектор середніх значень 7 основних показників сейсмічної активності території Земної кулі, врахованих у моделі, поданій на рис. 5 – 7. Перевірці гіпотези у

роботі проведено за умов використання статистики Уїлкса, де як критерій дискримінації використано лямбду Уїлкса [70, 71]:

$$\Lambda = \frac{\det W}{\det T}, \quad (3)$$

де W – матриця внутрішньокласового розкиду; T – матриця загального розкиду.

Результати оцінки моделі (2) представлено у табл. 1, де Λ – лямбда Уїлкса, Λ^* – часткова лямбда Уїлкса, F – показник критерію Фішера, p – рівень значущості

Показник Λ використано для визначення у моделі статистичної значущості потужності дискримінації (потужність дискримінації тим вище, чим менше показник лямбда Уїлкса). Наведені в табл. 1 значення Λ свідчать про те, що в моделі, поданій на рис. 5 – 7, потужність дискримінації у предикторов розподілилася наступним чином: $E > LOD(t) > L > \Omega(t) > B > D(t) > M$.

Часткова лямбда Уїлкса (Λ^*) використовується для оцінки одиночних внесків відповідних змінних у дискримінацію між сукупностями, де, навпаки від показника Λ , більший одиночний внесок змінної у ступінь дискримінації визначається відповідним великим значенням Λ^* . Так, найбільшими рівнями внесків у ступінь дискримінації характеризуються змінні: E ($\Lambda^* = 0,9995$) і $LOD(t)$ ($\Lambda^* = 0,9989$). Також значним рівнем внеску у ступінь дискримінації можна охарактеризувати наступні параметри: L ($\Lambda^* = 0,9987$), $\Omega(t)$ ($\Lambda^* = 0,9964$) і B ($\Lambda^* = 0,9959$).

Як критерій для оцінки внеску змінних у результат дискримінації застосовано F -показник Фішера за відповідних рівнів значущості (p) та толерантності. Значення толерантності відповідної змінної розраховується як $1-r^2$, де r – коефіцієнт кореляції цієї змінної з іншими змінними.

Для визначення природи дискримінації основних показників сейсмічної активності, з метою визначення показників, що впливають на результати кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за ступенем сейсмічної активності (результати кластеризації представлені на рис. 9 та 10), в роботі проведено канонічний аналіз поданої на рис. 5 – 7 моделі прояву сейсмічної активності локальних територій Земної кулі.

Канонічний аналіз дозволяє дослідити взаємозв'язок між двома наборами змінних, тобто оцінити рівень канонічної кореляції, який базується на аналізі канонічних дискримінантних функцій, так званих канонічних коренів, – лінійних комбінацій дискримінантних змінних:

$$f_{km} = u_0 + u_1 X_{1km} + u_2 X_{2km} + \dots + u_q X_{qkm}, \quad (4)$$

де f_{km} – значення канонічної дискримінантної функції (канонічних коренів) для m -го об'єкта у k -й групі; X_{ikm} – значення дискримінантної змінної X_i для m -го об'єкта у k -й групі; u_i – коефіцієнти канонічної дискримінації (канонічні значущості).

Максимальна кількість дискримінантних функцій визначається кількістю класів без одиниці, що дозволило у роботі визначити канонічну модель із двома канонічними коренями. Стандартизовані коефіцієнти (які відносяться до нормованих змінних, що дає змогу аналізувати порівнянні масштаби) канонічної дискримінації цих коренів представлені у табл. 2.

Таблиця 2
Стандартизовані коефіцієнти дискримінуючих функцій канонічної моделі районування локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності

Змінні	Корінь 1	Корінь 2
$D(t)$	0,0279	1,0582
$\Omega(t)$	-0,1634	0,5622
$LOD(t)$	-0,0709	-0,3454
L	-0,0102	-0,3404
B	0,2529	0,1344
M	-0,8735	0,6365
E	0,0749	0,1065
Власне значення	7,1290	1,1413
Кумулятивна частка	0,8620	0,1380

Перша дискримінантна функція (корінь 1) є статистично значущою (власне значення дорівнює 7,1290) та найбільш навантаженою за величинами: M (-0,8735), B (0,2529) і $\Omega(t)$ (-0,1634).

Друга дискримінантна функція (корінь 2) відмічена головним чином величинами $D(t)$ (1,0582),

M (0,6365), $\Omega(t)$ (0,5622), $LOD(t)$ (-0,3454) і L (-0,3404), однак вона статистично є малозначущою – власне значення дорівнює 1,1413.

Крім того, кумулятивна доля дисперсії, описана першою функцією, становить 86,20 %, що вказує

на переважну значущість першої функції у порівнянні з другою.

Оцінку внесків канонічних коренів у рівень статистичної значущості моделі проведено за критерієм χ^2 -квадрат [70, 71]:

$$\chi^2 = \left[-N - 1 - \frac{q + g + 1}{2} \right] \ln(L), \quad (5)$$

де N – кількість спостережень, q – кількість дискримінантних змінних, g – кількість класів. Результат оцінки подано у табл. 3.

Таблиця 3

Результати оцінки впливу видалення канонічних коренів на рівень статистичної значущості канонічної моделі районування локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності за критерієм χ^2 -квадрат

Видалені корні	Власні значення	Канонічні значення	L	χ^2	Ступень свободи	p
0	7,1290	0,2579	0,9229	365,1241	14	0,0000
1	1,1400	0,1062	0,9887	51,6575	6	0,0000

Представлений у табл. 3 результат свідчить про значне зменшення рівня статистичної значущості канонічної моделі за умов покрокового видалення з неї канонічних коренів. Так, перший рядок містить результати значущості за умов урахування всіх коренів. Другий же рядок інформує про падіння рівня статистичної значущості моделі

($L = 0,9229 \rightarrow 0,9887$; $\chi^2 = 365,1241 \rightarrow 51,6575$) за умов видалення з неї одного з коренів.

Матриця факторної структури, яка визначає кореляції між змінними та дискримінуючими функціями, представлена у табл. 4.

Таблиця 4

Кореляції між змінними, що визначають умови районування локальних територій Земної кулі за рівнем сейсмічної активності, та дискримінуючими функціями

Змінні	Корінь 1	Корінь 2
D(t)	0,5223	0,6840
$\Omega(t)$	-0,1953	0,3127
LOD(t)	-0,2759	-0,0101
L	-0,0269	-0,3167
B	0,4486	-0,0441
M	-0,9444	-0,0324
E	-0,0622	0,1465

Найбільша, за даними табл. 4, кореляція з найзначимішою дискримінуючою функцією (корінь 1) спостерігається з показниками, такими як: M (-0,9444), D(t) (0,5223), B (0,4486) і LOD(t) (-0,2759). Найбільша кореляція з дискримінуючою функцією (корінь 2) спостерігається із показниками, такими як: D(t) (0,6840), L (-0,3167) и $\Omega(t)$ (0,3127).

Визначення природи дискримінації кожного канонічного кореня базується на аналізі розподілу числа спостережень (за даними 4579 спостережень сейсмічної активності по території Земної кулі за період 2009 – 2018 рр.) відносно значень дискримінантних функцій. Результати представлено на рис. 11.

Середні значення канонічних змінних в групах (кластерах), що визначають умови класифікації локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності, представлено в табл. 5.

Дискримінуюча функція «Корінь 1» має значний розкид між середніми значеннями канонічних змін-

них в групах (кластерах), які визначають умови класифікації локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності, що дозволяє з відносною надійністю ідентифікувати локальні території Земної кулі, які відносяться до різних кластерів за ступенем сейсмічної активності.

Дискримінуюча функція «Корінь 2» дозволяє ідентифікувати локальні території Земної кулі, що знаходяться в другому кластері. Однак ця функція не дозволяє надійно ідентифікувати відмінності між локальними територіями Земної кулі першого і третього кластерів. Це призводить до необхідності інтерпретації результатів ідентифікації локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності шляхом використання двох дискримінуючих функцій.

Діаграми розсіювання значень двох дискримінантних функцій при класифікації локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності, шляхом їх групування в три кластери, представлені на рис. 12.

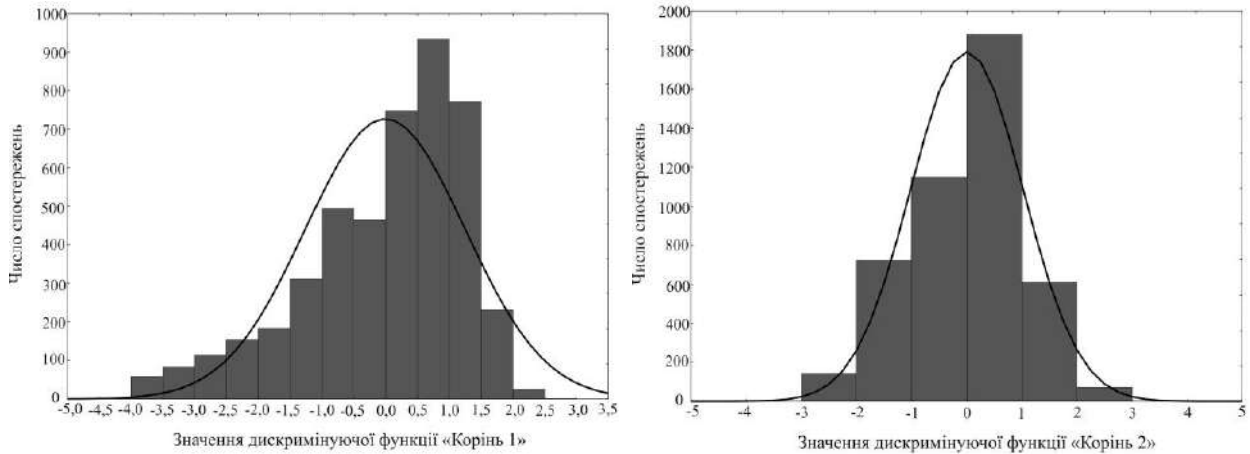


Рис. 11. Гістограми розподілу числа спостережень сейсмічної активності локальних територій Земної кулі за період 2009 – 2018 рр. відносно значень дискримінантних функцій

Таблиця 5

Середні значення канонічних змінних в групах (кластерах), які визначають умови класифікації локальних територій Земної кулі за ступенем сейсмічної активності

Група	Корінь 1	Корінь 2
I кластер	-0,0982	0,0468
II кластер	-0,9029	-1,5465
III кластер	-1,4405	-0,0957

Як видно з рис. 12, діапазон розсіювання значень дискримінантної функції «Корінь 1» становить порядку 7 одиниць (від -4,0 до 3,0 одиниць). Діапазон розсіювання цієї функції для першого кластеру перебуває в діапазоні від -3,0 до 2,0 одиниць, при цьому, більшість точок вимірювання знаходяться в діапазоні від -1,0 до 2,0 одиниць. Для другого кластеру діапазон розсіювання знаходиться в діапазоні від -3,5 до 1,2 одиниць, при цьому, більшість точок вимірювання знаходяться в діапазоні від -2,0 до 0,0 одиниць. Для третього кластеру діапазон розсіювання знаходиться в діапазоні від -4,0 до 2,0 одиниць, при цьому, точки вимірювання практично рівномірно розподілилися в зазначеному діапазоні.

Діапазон розсіювання значень дискримінантної функції «Корінь 2» становить порядку 6 одиниць (від -3,0 до 3,0 одиниць). Діапазон розсіювання цієї функції для першого кластеру знаходиться в діапазоні від -3,0 до 3,0 одиниць, при цьому, більшість точок вимірювання знаходяться в діапазоні від -2,0 до 1,5 одиниць. Для другого кластеру діапазон розсіювання знаходиться в діапазоні від -2,5 до 0,5 одиниць, при цьому, більшість точок вимірювання знаходяться в діапазоні від -2,0 до 0,0 одиниць. Для третього кластеру діапазон розсіювання знаходиться в діапазоні від -2,0 до 2,5 одиниць, при цьому, більшість точок вимірювання знаходяться в діапазоні від -1,0 до 1,0 одиниць.

Ступінь розсіювання представлених на рис. 12 результатів обумовлена необхідністю врахування: 1) неоднорідності будови земної кори; 2) взаємної ланцюгової генерації виникнення землетрусів в зоні великих розломів геотектонических плит, які є факторами проявів вторинної і наступної сейсмічної активності планети; 3) впливу результатів випробувань ядерної зброї на рівень сейсмічної активності планети; 4) невизначеностей, які виникають в процесі руху Земної кулі в енергетичній системі Сонце-Земля-Місяць в умовах випадкових впливів з Космосу; 5) падіння великих метеоритів; 6) вулканізму.

Тому, взаємне використання двох дискримінантних функцій дозволяє ідентифікувати, з урахуванням семи обраних в роботі змінних (а саме: 1) дата виникнення землетрусу; 2) віддаленість внутрішнього ядра Землі від центру планети; 3) зміна тривалості доби; 4) довгота точки в системі географічних координат, де виникло землетрус; 5) широта точки в системі географічних координат, де виникло землетрус; 6) магнітуда землетрусу; 7) енергія руйнування землетрусу), рівень небезпеки сейсмічно активних районів Земної кулі на відповідному рівні достовірності, що відповідає значенням, наведеним у табл. 3 та 5.

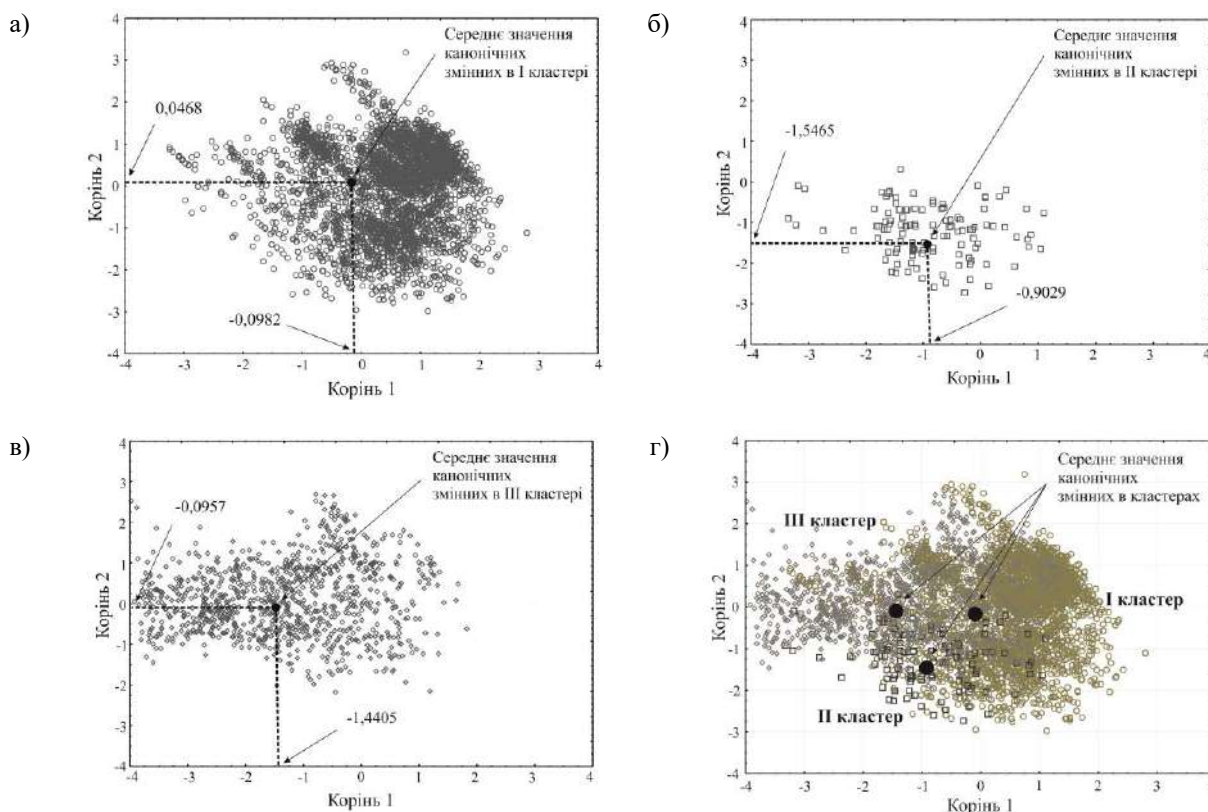


Рис. 12. Діаграми розсіювання дискримінантних функцій: а) для першого кластеру; б) для другого кластеру; в) для третього кластеру; г) для трьох кластерів (сумарна)

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 осьового обертання Земної кулі та рівень сейсмічної активності Земної кулі. На основі аналізу варіації швидкості осьового обертання Землі і ексцентричного рівномірного поступально-обертального динамічного руху внутрішнього ядра Земної кулі розгля-

нута можливість встановлення періодичної осциляції сейсмічного стану планети. На основі отриманих результатів помісячної варіації швидкості осьового обертання Землі і сейсмічної активності по поверхні Земної кулі відносно траєкторії руху її внутрішнього ядра встановлено сезонний перерозподіл енергетичного впливу внутрішнього ядра на швидкість осьового 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 нейросетевий 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 районування 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 мето-

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

4. Об'єднання 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. Шляхом використання дискримінантного і канонічного методів багатовимірного статистичного аналізу сейсмічної активності Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце-Земля-Місяць отримані математичні залежності, що враховують сім основних параметрів (а саме: 1) дата, яка виникла землетрусу; 2) віддаленість внутрішнього ядра Землі від центру планети; 3) зміна тривалості доби; 4) довгота точки в системі географічних координат, де виникло землетрус; 5) широта точки в системі географічних координат, де виникло землетрус; 6) магнітуда землетрусу; 7) енергія руйнування землетрусу), для класифікації та районування територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією НС тектонічного походження.

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.

Література

1. Черногор, Л.Ф. Физика и экология катастроф [Текст] / 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 [Текст] / 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. Баршшоплец, В.А. Системный анализ катастроф, происходящих в мире [Текст] / В.А. Баршшоплец // 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 [Текст] // 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. Калугін, В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки [Текст] / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.
9. Андронов, В.А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні [Текст] : 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 [Текст] / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін, 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. Тютюник, В.В. Оценка динамических и энергетических эффектов на планете Земля и влияние их на соотношение между уровнями сейсмической активности полушарий Земного шара [Текст] / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін, 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 [Текст] / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін, Т.Х. Агазаде // GEOINFORMATIKA – Київ: Інститут геологічних наук НАН України, 2018. – № 3(67) – С. 36 – 48.
13. Тютюник, В.В. Развитие основ геоинформационных систем мониторинга чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения [Текст] / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін, Т.Х. Агазаде // Прикладна радіоелектроніка –

- Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки; Академія наук прикладної радіоелектроніки, 2019. – Т.18. – Вип. 1, 2. – С. 52 – 65.
14. Vadym Tiutiunyk, Vladimir Kalugin, Olha Pysklakova, Olexandr Yaschenko & Tural Agazade. (2019). Hierarchical clustering of seismic activity local territories Globe. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 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.usnrcorps.org
19. Офіційний сайт Європейського середземноморського сейсмологічного центру (EMSC, Париж, Франція) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kndc.kz/>
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. (2001). *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University press. 486-638
28. Офіційний сайт Казахстанського національного центру даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kndc.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 [Текст] / В.Е. Жаров, А.С. Конов, В.Б. Смирнов // *Астрон. журн.* – 1991. – Т.68. – Вып. 1. – С. 187 – 196.
32. Горькавый, Н.Н. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды [Текст] / 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 [Текст] / Н.С. Сидоренков // *Вестник РАН.* – 2004. – Т. 74. – № 8. – С. 701 – 715.
34. Сидорин, А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум [Текст] / А.Я. Сидорин // *Сейсмические приборы.* – 2004. – Вып. 40. – С. 71 – 80.
35. Левин, Б.В. Свойства «критических широт», вариации вращения и сейсмичность Земли [Текст] / Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, А.В. Доманский // *Вестник ДВО РАН.* – 2013. – № 3. – С. 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*, 9, 317 – 327.
37. Wiemer, S. & M. Wyss (2002). Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview. *Advances in Geophysics*, 45, 259 – 302.
38. Atef, A.H., Liu, K.H., Gao, S.S. & Atef, A.H. (2009). Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, V.99, N 4, 2273 – 2279.
39. Сидоренков, Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли. [Текст] / Н.С. Сидоренков – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 384 с.
40. Клименко, А.В. Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением [Текст] / А.В. Клименко // *Диссер. ... канд. физ.-мат. наук.* – М.: Московский государственный областной университет, 2005. – 87 с.
41. Мальшиков, Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли [Текст] / Ю.П. Мальшиков, С.Ю. Мальшиков // *Геология и геофизика.* – 2009. – Т. 50. – № 2. – С. 152 – 172.
42. Мальшиков, Ю.П. Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли [Текст] / Ю.П. Мальшиков, С.Ю. Мальшиков, С.Г. Шталин [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 [Текст] / А.Н. Ромашов, С.С. Цыганков // *Геотектоника.* – 1996. – № 4. – С. 3 – 12.
44. Фридман, А.М. О некоторых корреляциях в сейсродинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли [Текст] / 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 [Текст] / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
46. Касахара, К. Механика землетрясений [Текст] / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
47. Трухин, В.И. Общая и экологическая геофизика [Текст] / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
48. Гуфельд, И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты [Текст] / И.Л. Гуфельд. – Королев, М.О.: ЦНИИМаши, 2007. – 160 с.
49. Березняков, А.І. Фізика Землі [Текст] / А.І. Березняков, К.А. Немець. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
50. Саваренский, Е.Ф. Сейсмические волны [Текст] / Е.Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.

51. Малышков, Ю.П. Способ прогноза землетрясений [Текст] / Ю.П. Малышков, К.Б. Джумабаев, С.Ю. Малышков [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2238575, МПК G01V3/00, 20.10.2004.
52. Пиенников, К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры [Текст] / К.В. Пиенников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
53. Гульельми, А.В. Форшоки и афтершоки сильных землетрясений в свете теории катастроф [Текст] / А.В. Гульельми // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185. – № 4. – С. 415–429.
54. Левин, Б.В. Великое Японское землетрясение [Текст] / Б.В. Левин, М.В. Родкин, И.Н. Тихонов // Природа. – 2011. – № 10. – С. 14–22.
55. Электромагнитные предвестники землетрясений [Текст] / Под ред. М.А. Садовского. – М.: Наука, 1982. – 69 с.
56. Ремизов, Л.Т. Регистрация изменений естественного электромагнитного поля в периоды времени, предшествующие землетрясениям [Текст] / Л.Т. Ремизов // Радиотехника и электроника – 1991. – Т. 36. – № 6. – С. 1041–1080.
57. Тертышников, А.В. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере [Текст] / А.В. Тертышников // Гелиогеофизические исследования. – 2012. – Вып. 2. – С. 54–59.
58. Беляков, А.С. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями [Текст] / 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 [Текст] / 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. Захаренкова, И.Е. Ионосферные аномалии, наблюдаемые в GPS TEC измерениях перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M6.8) / И.Е. Захаренкова, И.И. Шагимурастов, 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 [Текст] / Л.Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. – 2019. – Т. 25, № 1. – С. 38–47.
63. Afraimovich, E.L., Perevalova, N.P., Plotnikov, A.V. & Uralov, A.M. (2001). The shock-acoustic waves generated by the earthquakes. *Annales Geophysicae*. V.19, 4, 395–409.
64. Garcia, R., Crespon, F., Ducic, V. & Lognonne, P. (2005). Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data. *Geophys*, 163, 1049–1064.
65. Heki, K. & Ping, J. (2005). Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array. *Earth Planet. Sci. Lett.* 236, 845–855.
66. Li Ma, Jianmin Chen, Qifu Chen & Guiping Liu (1995). Features of precursor fields before and after the Datong-Yarg-gao Earthquake swarm. *J. Earth. Predict. Res.* V. 4, 1. 1–30.
67. Liu J.Y., Chuo Y.J., Shan S.J., Tsai Y.B., Chen Y.I., Pulinets S.A., & Yu S.B. (2004). Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement. *Annales Geophysicae*. 22, 1585–1593.
68. Chernogor L.F. (2019). Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 59, 1, 62–75.
69. Chernogor L.F. (2019). Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 59, 3, 374–382.
70. Ким, Дж.О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ [Текст]: 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 [Текст] / А.А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

References

1. Chernogor L.F. (2012). Fizika i ekologiya katastrof. Khar'kov, Khar'kovskiy natsional'nyy universitet im. V.N. Karazina, 556 p.
2. Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F. & Kalugin V.D. (2011). Systemnyi pidkhdid do otsinky nebezpeky zhyttdiidialnosti pry terytorialno chasovomu rozpodili enerhii dzhherel nadzvychainykh sytuatsii. *Trudy "Problemy` nadzvy`chajny`x sy`tuacij"*, 14, 171–194.
3. Pervyy Doklad Predsedatelya Mezhdunarodnogo Komiteta po Problemam Global'nykh Izmeneniy Geologicheskoy Sredy „GEOCHANGE“. (2010). Available at: <http://www.ru.geochngereport.org>
4. Barishpolets V.A. (2010). Sistemnyy analiz katastrof, proiskhodyashchikh v mire. *Trudy "Radioelektronika. Nanosistemy. Informatsionnye tekhnologii"*, Vol. 2, 1-2, 162–176.
5. Nacional'na dopovid` pro stan texnogennoyi ta pry`rodnoyi bezpeky` v Ukraini. Available at: <http://www.dns.gov.ua/>
6. Kodeksy` vil'nogo zaxy`stu Ukrayiny` vid 2 zhovtnya 2012 roku No. 5403-VI. (2012). *Golos Ukrayiny*, 220 (5470), 4–20.
7. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny` vid 9 sichnya 2014 roku No. 11 «Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Yedy`nu derzhavnu sy`stemu cy`vil'nogo zaxy`stu». Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>
8. Kalugin V.D., Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F. & Shevchenko R.I. (2013). Rozrobka naukovo-texnichny`x osnov dlya stvorenniya sy`stemy` monitory`ngu, poperedzhennya ta likvidatsii nadzvy`chajny`x sy`tuacij pry`rodnogo ta texnogenного karakteru ta zabezpechennya ekologichnoyi bezpeky`. *Publishing centre "Xarkivskiy`y` universy`tet Povitryany`x Sy`l im. Ivana Kozheduba"*, 9 (116), 204–216.
9. Andronov V.A., Divizinyuk M.M., Kalugin V.D. & Tiutiunyk V.V. (2016). Naukovo-konstruktors`ki osnovy` stvorenniya kompleksnoyi sy`stemy` monitory`ngu nadzvy`chajny`x sy`tuacij v Ukraini. *Nacional'ny`j universy`tet cy`vil'nogo zaxy`stu Ukrayiny`*, 319 p.
10. Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D. & Agazade T.Kh. (2017). Otsenka vliyaniya energeticheskikh effektov v sisteme Solntse–Zemlya–Luna na uroven` seymicheskoy aktivnosti territorii Zemnogo shara. *Trudy "Sy`stemy` upravlinnya, navigatsiyi ta zv'yazku"*, 6(46), 238–246.
11. Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D. & Agazade T.Kh. (2017). Otsenka dinamicheskikh i energeticheskikh effektov na planete Zemlya i vliyanie ikh na sootnoshenie mezhdou urovniami seymicheskoy aktivnosti polushariy Zemnogo shara. *Trudy "Naukovy`j visny`k: Cy`vil'ny`j zaxy`st ta pozhezhma bezpeka"*, 2(4), 101–117.
12. Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D. & Agazade T.Kh. (2018). Otsenka vliyaniya variatsiy skorosti oseвого vrashcheniya Zemli na uroven` seymicheskoy aktivnosti lokal'nykh territoriy. *GEOINFORMATIKA*, 3(67), 36–48.
13. Tiutiunyk V.V., Chernogor L.F., Kalugin V.D. & Agazade T.Kh. (2019). Razvitie osnov geoinformatsionnykh sistem

- monitoringa chrezvychnykh situatsiy tektonicheskogo proiskhozhdeniya. *Prykladna radioelektronika*, V. 18, 1, 2, 52 – 65.
14. Vadym Tiutiunyk, Vladimir Kalugin, Olha Pysklakova, Olexandr Yaschenko & Tural Agazade. (2019). Hierarchical clustering of seismic activity local territories Globe. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 41 – 53.
15. Ofitsial'nyy sayt Global'noy Seti Prognozirovaniya Zemletryaseniy. Retrieved from <http://seismonet.org/index.htm>
16. Ofitsial'nyy sayt Mezhdunarodnogo konsortsiumu seysmologicheskikh Institutov (IRIS). Retrieved from <https://www.iris.edu/hq/>
17. US Geological Survey, National Earthquake Information Center. Retrieved from <http://www.earthquake.usgs.gov>
18. Ofitsial'nyy sayt Natsional'nogo tsentra dannykh USA (USNDC, Florida, USA). Retrieved from www.usndcorps.org
19. Ofitsial'nyy sayt Evropeyskogo sredizemnomorskogo seysmologicheskogo tsentra (EMSC, Parizh, Frantsiya). Retrieved from <http://www.knrc.kz/>
20. Ofitsial'nyy sayt Mezhdunarodnogo seysmologicheskogo tsentra (ISC, England). Retrieved from <http://www.isc.ac.uk/>
21. Ofitsial'nyy sayt Tsentra izucheniya Zemli Germanii (GFZ, Potsdam, Germany). Retrieved from <https://www.gfz-potsdam.de/>
22. Ofitsial'nyy sayt Norvezhskogo seysmologicheskogo tsentra (NORSAR). Retrieved from <https://www.norsar.no/>
23. V SNG sozhdut mezhgosudarstvennyu sistemu kosmicheskogo monitoringa ChS. Retrieved from <http://itar-tass.com/nauka/1529312>
24. Sozdanie sistemy kosmicheskogo monitoringa ChS v stranakh SNG obsudyat v Almaty. Retrieved from <http://newskaz.ru/politics/20120605/3274666.html>
25. Strany SNG prosledyat za vznikeniem ChS cherez kosmos. Retrieved from <http://lenta.ru/news/2014/10/24/spacecls>
26. Ofitsial'nyy sayt Tsentra dannykh Geofizicheskoy sluzhby Rossii (GS RAN, Obninsk, Russia). Retrieved from <http://eqru.gsras.ru/>
27. Natal'in A. (2001). The Tectonic Evolution of Asia. *Cambridge University press*. 486-638
28. Ofitsial'nyy sayt Kazakhstanskogo natsional'nogo tsentra dannykh. Retrieved from <http://www.knrc.kz/>
29. Ofitsial'nyy sayt Respublikanskogo Tsentra Seysmologicheskoy Sluzhby pri Natsional'noy Akademii Nauk Azerbaydzhana. Retrieved from <http://www.seismology.az/>
30. Internet-sajt Golovnogo centru special'nogo kontrolyu Nacional'nogo Kosmicheskogo agentstva Ukrayiny. Retrieved from <http://www.nkau.gov.ua/>
31. Zharov V.E., Konov A.S. & Smirnov V.B. (1991). Variatsii parametrov vrashcheniya Zemli i ikh svyaz' s sil'neyshimi zemletryaseniymi mira. *Astronomicheskij zhurnal*. V. 68, 1, 187 – 196.
32. Gor'kavyi N.N., Levitskiy L.S., Taydakova T.A., Trapeznikov Yu.A. & Fridman A.M. (1994). O korrelyatsii grafikov uglovoy skorosti vrashcheniya Zemli i modulya ee vremennoy proizvodnoy s chastotoy zemletryaseniya v zavisimosti ot ikh magnitudy. *Fizika Zemli*, 10, 33 – 38.
33. Sidorenkov N.S. (2004). Nestabil'nost' vrashcheniya Zemli. *Vestnik RAN*, V.74, 8, 701 – 715.
34. Sidorin A.Ya. (2004). Vliyaniye Solntsa na seysmichnost' i seysmicheskij shum. *Seysmicheskije pribory*, 40, 71 – 80.
35. Levin B.V., Sasorova E.V. & Domanskiy A.V. (2013). Svoystva «kriticheskikh shirok», variatsii vrashcheniya i seysmichnost' Zemli. *Vestnik DVO RAN*, 3, 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*, 9, 317 – 327.
37. Wiemer S. & M. Wyss (2002). Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview. *Advances in Geophysics*, 45, 259 – 302.
38. Atef A.H., Liu K.H., Gao S.S. & Atef A.H. (2009). Apparent weekly and daily earthquake periodicities in the Western United States. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, V.99, N 4, 2273 – 2279.
39. Sidorenkov N.S. (2008). Fizika nestabil'nostej vrashheniya Zemli. *Nauka, Fizmatlit*, 384 p.
40. Klimenko A.V. (2005). Global'nye svoystva seysmicheskoy aktivnosti Zemli i ikh svyaz' s ee vrashcheniem. *Disser. ... kand. fiz.-mat. nauk. Moskva. Moskovskiy gosudarstvennyy oblastnoy universitet*, 87 p.
41. Malyshev Yu.P. & Malyshev S.Yu. (2009). Periodicheskie variatsii geofizicheskikh poley i seysmichnosti, ikh vozmozhnaya svyaz' s dvizheniem yadra Zemli. *Geologiya i geofizika*, V.50, no. 2, 152 – 172.
42. Malyshev Yu.P., Malyshev S.Yu. & Shtalin S.G. (2009). Sposob opredeleniya prostranstvennogo polozheniya i parametrov dvizheniya vnutrennego yadra Zemli". *Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem*. Patent RF no. 2352961S2, MPK G01V3/00.
43. Romashov A.N. & Tsygankov S.S. (1996). V poiskakh obobshchayushchey geotektonicheskoy kontseptsii. *Geotektonika*, 4, 3 – 12.
44. Fridman A.M., Polyachenko E.V. & Nasyrkanov N.R. (2010). O nekotorykh korrelyatsiyakh v seysmodinamike i dvukh komponentakh seysmicheskoy aktivnosti Zemli. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, V.180, 3, 303 – 312.
45. Rays Dzh. (1982). Mekhanika ochaga zemletryaseniya. *Mir*, 1982, 217.
46. Kasakhara K. (1985). Mekhanika zemletryaseniya. *Mir*, 264.
47. Trukhin V.I., Pokazeev K.V. & Kunitsyn V.E. (2005). Obshchaya i ekologicheskaya geofizika. *FIZMATLIT*, 576.
48. Gufel'd I.L. (2007). Seysmicheskij protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty. *M.O. TsNIIMash*, 160.
49. Bereznyakov A.I. & Nyemecz' K.A. (2010). Fyzyka Zemli. *Khar'kovskiy natsional'nyy universitet im. V.N. Karazina*, 268.
50. Savarenskiy E.F. (1972). Seysmicheskije volny. *Nedra*, 296.
51. Malyshev Yu.P., Dzhumabaev K.B. & Malyshev S.Yu. (2004). Sposob prognoza zemletryaseniya. *Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem*. Patent RF no. 2238575, MPK G01V3/00.
52. Pshennikov K.V. (1965). Mekhanizm vznikeniya aftershokov i neuprugie svoystva zemnoy kory. *Nauka*, 87.
53. Gul'el'mi A.V. (2015). Forshoki i aftershoki sil'nykh zemletryaseniya v svete teorii katastrof. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, V. 185, no. 4, 415 – 429.
54. Levin B.V., Rodkin M.V. & Tikhonov I.N. (2011). Velikoe Yaponskoe zemletryasenie. *Priroda*, 10, 14 – 22.
55. Elektromagnitnye predvestniki zemletryaseniya. (1982). Pod red. Sadovskogo M.A. *Nauka*, 69.
56. Remizov L.T. (1991). Registratsiya izmeneniy estestvennogo elektromagnitnogo polya v periody vremeni, predshestvuyushchie zemletryaseniyam. *Radiotekhnika i elektronika*. V. 36, 6, 1041 – 1080.
57. Tertysnikov A.V. (2012). Predvestniki sil'nykh zemletryaseniya v ozonosfere. *Geliogeofizicheskie issledovaniya*, 2, 54 – 59.
58. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V. & Khudzinskiy L.L. (1999). Podzemnyy fonovyy zvuk i ego svyaz' s prilivnymi deformatsiyami. *Geliogeofizicheskie issledovaniya*, 12, 39 – 46.
59. Smirnov V.M. & Smirnova E.V. (2008). Issledovanie vozmozhnosti primeneniya sputnikovyykh navigatsionnykh sistem dlya monitoringa seysmicheskikh yavleniy. *Voprosy elektromekhaniki*, 105, 94–104.
60. Tertysnikov A.V. & Platonov V.V. (2007). Perspektivy monitoringa seysmicheskikh usloviy iz kosmosa. *Elektronnyy zhurnal «ISSLEDOVANO V ROSSII»*. Retrieved from <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/031.pdf>
61. Zakharenkova I.E., Shagimuratov I.I., Krankovski A. & Lagovskiy A.F. (2006). Ionosfernye anomalii, nablyudaemye v GPS TEC izmereniyakh pered zemletryaseniem v Gretsii 8

- yanvaryaya 2006 g. (M6.8). *Elektronnyy zhurnal «ISSLEDOVANO V ROSSII»*. Retrieved from <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/110.pdf>
62. Chernogor L.F. (2019). Effekty vnost' mony'tory'ng'a katastrofy chesky'x processov kosmy'cheskogo y' zemnogo proy'sozhdeny'ya. *Space science and technology*. V. 25, 16, 38–47.
63. Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V. & Uralov A.M. (2001). The shock-acoustic waves generated by the earthquakes. *Annales Geophysicae*. V.19, 4, 395–409.
64. Garcia R., Crespon F., Ducic V. & Lognonne P. (2005). Three-dimensional ionospheric tomography of post-seismic perturbations produced by the Denali earthquake from GPS data. *Geophys*, 163, 1049–1064.
65. Heki K. & Ping J. (2005). Directivity and apparent velocity of the coseismic traveling ionospheric disturbances observed with a dense GPS array. *Earth Planet. Sci. Lett.* 236, 845–855.
66. Li Ma, Jianmin Chen, Qifu Chen & Guiping Liu (1995). Features of precursor fields before and after the Datong-Yarg-gao Earthquake swarm. *J. Earth. Predict. Res.* V. 4, 1, 1–30.
67. Liu J.Y., Chuo Y.J., Shan S.J., Tsai Y.B., Chen Y.I., Pulinet S.A., & Yu S.B. (2004). Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement. *Annales Geophysicae*. 22, 1585–1593.
68. Chernogor L.F. (2019). Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 59, 1, 62–75.
69. Chernogor L.F. (2019). Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 59, 3, 374–382.
70. Kim Dzh.O., Myuller Ch.U. & Klekka U.R. (1989). Faktorny, diskriminantnyy i klasternyy analiz. *Finansy i statistika*, 215.
71. Khalafyan A.A. (2007). STATISTICA 6. Statisticheskyy analiz dannykh. OOO «Binom-Press», 512 p.

Рецензент: д-р техн. наук, професор Г.А. Кучук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Автор: ТЮТЮНИК Вадим Володимирович
доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – tutunik_v@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5394-6367>

Автор: ЧОРНОГОР Леонід Феоктистович
доктор фізико-математичних наук, професор
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
E-mail – leonid.f.chernogor@univer.kharkov.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5777-2392>

Автор: КАЛУГІН Володимир Дмитрович
доктор хімічних наук, професор
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – kalugin.v.d@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6899-1010>

Автор: АГАЗАДЕ Турал Ханлар огли
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – agazade.tural.2019@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0165-1118>

FUNCTIONAL DESCRIPTION OF THE ZONING OF LOCAL TERRITORIES OF THE GLOBE BY QUANTITY AND DESTRUCTIVE ENERGY OF TECTONIC EXTREME ORIGIN SITUATIONS

V. Tiutiunyk¹, L. Chernogor², V. Kalugin¹, T. Agazade¹

¹National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

In conditions of uneven distribution of sources of danger across the territory of the state, each territory has its own levels of natural, technogenic, social and military loads, which influence on the composition of forces, tactical and technical characteristics of the means of the functioning geoinformation security system, namely the national security system.

In Ukraine the civil defense system is functioning to ensure the implementation of state policy in the field of civil defense for protection of the population, territories, environment and property from emergencies by preventing such situations, eliminating their consequences and providing assistance to victims in peacetime and during a special period. The system consists of functional and territorial subsystems and is aimed to solving the issues of ensuring the necessary level of security of the state in the conditions of emergency. At the same time, the issues of implementation of the monitoring function and development of effective decisions by all local subsystems, which aimed at prevention and localization of different emergencies, remain completely open to the state.

In this paper in order to further develop the scientific and technical foundations for creating an artificial intelligence system for monitoring emergencies of tectonic origin have been presented the results of a mathematical description of the hierarchical clustering local territories of the globe in terms of the amount and of destructive energy of tectonic origin emergency situations. The results have been obtained by discriminant and canonical multivariate statistical analysis of the Earth's seismic activity in the Sun – Earth – Moon nonlinear energy interaction system. The discriminant and canonical analyzes of the results of hierarchical clustering (zoning) of the local territories of the globe according to the level of seismic activity were 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, emergency monitoring of tectonic origin, discriminant analysis, canonical analysis