

Інформаційні технології для запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій

УДК 351.861

DOI: 10.30748/soi.2020.161.12

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

¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків

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

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗЕМНОЇ КУЛІ

З метою подальшого розвитку науково-технічних основ створення системи штучного інтелекту для моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій (НС) тектонічного походження, в роботі, на основі уявлень щодо динаміки фізичних процесів, які протікають в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць та впливають на рівень сейсмічної небезпеки функціонування локальної території планети Земля, представлені результати регресійного моделювання залежності кількості виникнення землетрусів на локальній території від загальної кількості виникнення землетрусів на Земній кулі. Отримані результати лягли в основу розробки інформаційно-технічного методу моніторингу та прогнозування НС тектонічного походження (землетрусів).

Ключові слова: надзвичайна ситуація, землетрус, система нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць, моніторинг надзвичайних ситуацій тектонічного походження, прогнозування рівня сейсмічної активності, регресійна модель, інформаційно-технічний метод.

Вступ

Постановка проблеми. При розв'язанні проблеми моніторингу та прогнозування НС тектонічного походження, як однієї з основних функцій класичного контуру управління в сфері цивільного захисту, схематично представленого на рис. 1 [1–4], виникає необхідність дослідження процесів виникнення та розповсюдження рівня сейсмічної активності локальної території в умовах впливу сейсмічної активності Земної кулі, як елемента системи нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць [5–23]. Це і визначає напрямок наших наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базуючись на результатах сучасних досліджень і публікацій в галузі прогнозування НС тектонічного походження, землетрус є наслідком динамічного поширення розриву товщі земних надр. Випромінювані розривом, що рухається, хвилі досягають земної поверхні через декілька секунд, що і викликає руйнування будівель та споруд. Землетруси виникають в наслідок розрядки існуючих в Землі механічних напруг, які обумовлені постійно діючими процесами диференціації земної речовини, конвективними течіями гірських мас, що знаходяться у нерівноваговому стані по щільності та температурі. Розрив щільності середовища відбувається при досяжності критичного рівня деформації в земній корі [24–28].

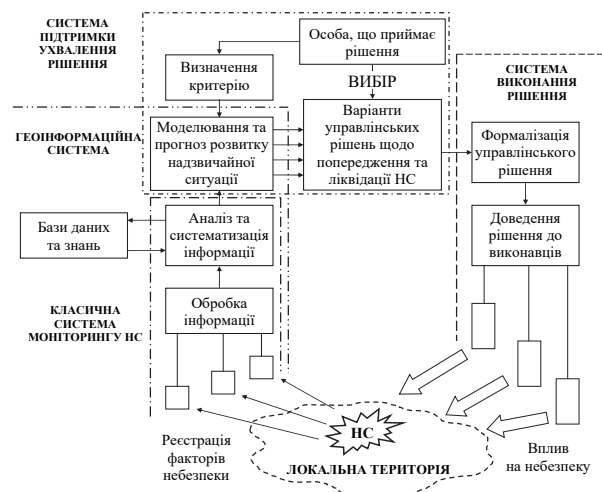


Рис. 1. Структура моніторингу надзвичайних ситуацій як засобу управління

Джерело сильного землетрусу є деяким рапто-вим зсувом в певному об'ємі порід по відносно обширній площині розриву, тому механізм землетрусу є кінематикою руху у джерелі. Відправною точкою для розробки різних теорій механізму землетрусів є гіпотеза пружної віддачі геофізика Рейда. Основні положення теорії Рейду наступні [29–31]: розрив гірських порід, що викликає землетрус, настає в результаті накопичення пружних деформацій вище межі, яку може витримати гірська порода, при цьому, деформації виникають при переміщенні блоків

земної кори один щодо іншого; відносні переміщення блоків нарастають поступово; рух у момент землетрусу є тільки пружною віддачею різкого зсуву сторін розриву в положення, в якому відсутні пружні деформації; сейсмічні хвилі виникають на поверхні розриву – спочатку на обмеженій ділянці, потім площа поверхні, з якою випромінюються хвилі, росте, але швидкість її росту не перевищує швидкості поширення сейсмічних хвиль; енергія, звільнена під час землетрусу, є енергією пружної деформації гірських порід.

Основу сучасних уявлень про виникнення джерела землетрусу складають положення механіки руйнувань. В якийсь момент тріщина втрачає стійкість і починає лавиноподібно розповсюджуватися. Якщо застосувати положення механіки руйнувань до процесу виникнення землетрусів, то можна сказати, що землетрус – це лавиноподібне поширення тріщини в неоднорідному матеріалі – земній корі.

Область виникнення підземного удару – осередок землетрусу – є деяким об'ємом в товщі Землі, в межах якого відбувається процес накопичення за тривалий час енергії, яка згодом у виді удару вивільнюється. Визначається сейсмоактивна зона – зона в межах сейсмоактивного регіону, яка виділяється по комплексу сейсмологічних і геофізичних ознак. В геологічному значенні джерело – це розрив або група розривів, по яким відбувається майже миттєве зміщення гірських мас. В центрі джерела умовно виділяється точка, іменована гіпоцентром (рис. 2).

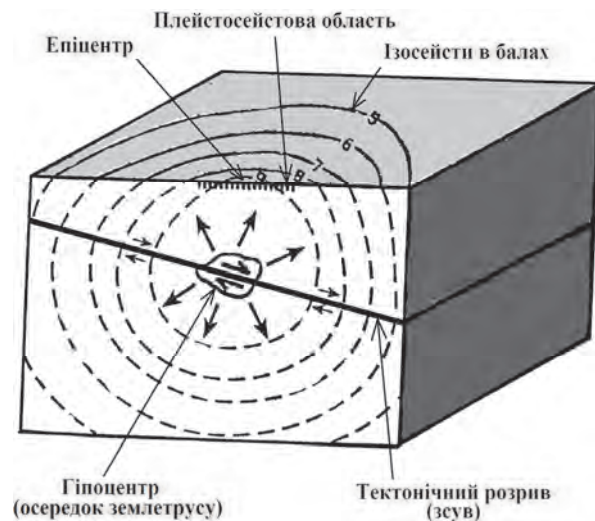


Рис. 2. Гіпоцентр і епіцентр землетрусу

Виникнення землетрусів на розломах відбувається при тривалому зсуві в протилежні сторони тектонічних блоків або плит, що контактують по розлому. При цьому сили зчеплення утримують крила розлому від прослизання, і зона розлому випробовує поступово зростаючу сдвигову деформацію. Проекція гіпоцентру на поверхню Землі називається епіцентром. Навкруги нього розташовується область найбільших руйнувань – плейстосейстова область. Лінії, які сполучають пункти на поверхні Землі з однаковою інтенсивністю коливань (в балах), називаються ізосейстами.

На сьогодні, основою прогностичних спостережень є знання фізичних законів механізму землетрусів і контроль стану фізичних полів в сейсмоактивній зоні [24–31]. В основу цих досліджень закладені уявлення про відсутність впливу зовнішніх для досліджуваної території факторів, які виникають у системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць. Механістичний підхід, що вже досить тривалий час розвивається в різних країнах світу, дозволив отримати відповіді з багатьох питань підготовки землетрусу. На даний час розроблено більше десятка моделей землетрусів, з яких найбільш відомі [32–51]:

- модель лавинно-нестійкого тріщиноутворення (ЛНТ), що полягає в швидкому наростанні кількості тріщин, їх взаємодії між собою і врешті-решт виникненні головного або магістрального розриву, зсув по якому миттєво скидає напругу, що накопичилася, з утворенням пружних хвиль;
- дилатантно-дифузійна модель (ДД), в якій тріщиноутворенню також відводиться вирішальна роль, але на відміну від моделі ЛНТ, виникають тріщини відриву й істотною є наявність води в гірських породах епіцентральної області;
- консолідаційна модель підготовки землетрусу (модель Добровольського І.П.), описує підготовку землетрусу як процес виникнення й еволюції жорсткої неоднорідності в суцільному середовищі.

Існують також деякі інші моделі, які виникли як узагальнення дослідження процесів напруження та руйнування твердих зразків в лабораторних умовах та їх подальшого перенесення на природні сейсмічні події.

В той же час, для отримання порівняльної оцінки рівня небезпеки життєдіяльності в умовах прояву НС різного характеру зараз використовуються наступні методи [52–64]:

- статистичний, що базується на аналізі статистики НС за локальними територіями протягом кількох років для визначення показників небезпеки;
- імовірний, оснований на застосуванні математичних моделей, що пов'язує передумови до виникнення НС із можливістю їх прояву;
- експертний, що базується на експертному оцінюванні у поєднанні з теорією нечітких множин.

Перевагою статистичного методу є об'єктивність. Імовірний та експертний методи дозволяють враховувати джерела потенційної небезпеки, що виявляються у формі НС рідко, але наслідки від якої є катастрофічними. Однак імовірний метод є надзвичайно громіздким і трудомістким, вимагає вели-

кого числа вихідних даних, що призводить до низької точності одержуваних результатів. За відсутністю апробованих математичних моделей і досить достовірних вихідних даних для них оцінку впливу на можливість реалізації масштабних НС великого числа важко формалізованих вихідних даних доцільно проводити експертним методом.

Так, перспективи використання статистично-імовірнісного підходу щодо прогнозування землетрусів на окремій території Земної кулі, без врахування впливу зовнішніх для цієї території (як елементу системи нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць) факторів, наведені в роботі [65]. В цій роботі представлені результати дослідження прогнозування землетрусів у північно-західному районі В’єтнаму за допомогою нейромережових технологій.

В той же час одним з перспективних напрямків розвитку підходів щодо прогнозування землетрусів є оцінка 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 цивільного захисту щодо моніторингу НС тектонічного походження [19–23].

Мета статті – розробка, на базі системи штучного інтелекту, інформаційно-технічного методу моніторингу та прогнозування рівня сейсмічної небезпеки локальної території в умовах сейсмічної активності Земної кулі, шляхом побудови математичних моделей прогнозування рівня сейсмічної небезпеки локальних територій Земної кулі за кількістю та руйнівною енергією НС тектонічного походження в умовах впливу сейсмічної активності планети, як

елемента системи 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. 3–5, та охарактеризувати наступними особливостями просторових будов.

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. 3). Вершина конуса збігається з центром Землі. Точки рівнодення та сонцестояння рухаються по екліптиці назустріч Сонцю. Моменти сил тяжіння, які діють на екваторіальні здугтя, змінюються у залежності від положень Місяця та Сонця по відношенню до Землі. Коли Місяць та Сонце знаходяться в площині земного екватора, моменти сил зникають, а коли схилення Місяця та 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. 3) [5–12].

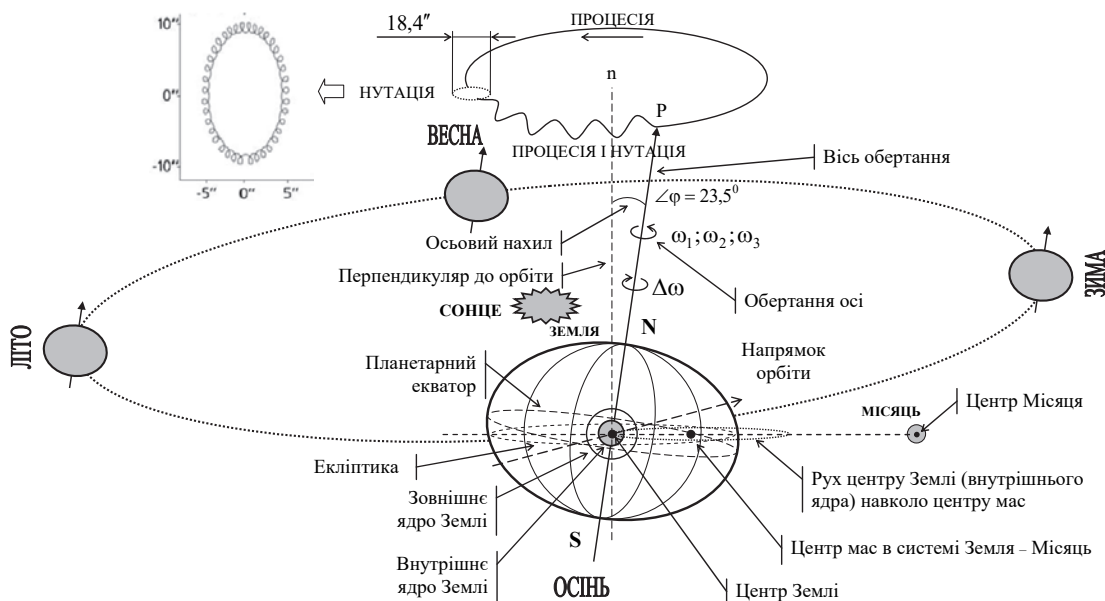


Рис. 3. Схема руху внутрішнього ядра Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць

2. В результаті ексцентричного обертання оболонки Землі навколо зміщеного внутрішнього ядра виникає тиск з боку твердого внутрішнього ядра та навколишнього розплаву (зовнішнього ядра) на мантию, 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. 3–5); вплив за рахунок ексцентричного обертання ядра відносно нижньої мантиї, коли за рахунок різниці в кутових швидкостях обертань ядра та нижньої мантиї (ω_1 – кутова швидкість обертання мантиї; 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 мантиї (“західний дрейф”)), тому спостерігаються зони підвищеного тиску та 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. 4). Існування таких зон буде підтримуватися до тих пір, поки існує різниця в кутових швидкостях обертання та зміщення ядра [13–18].

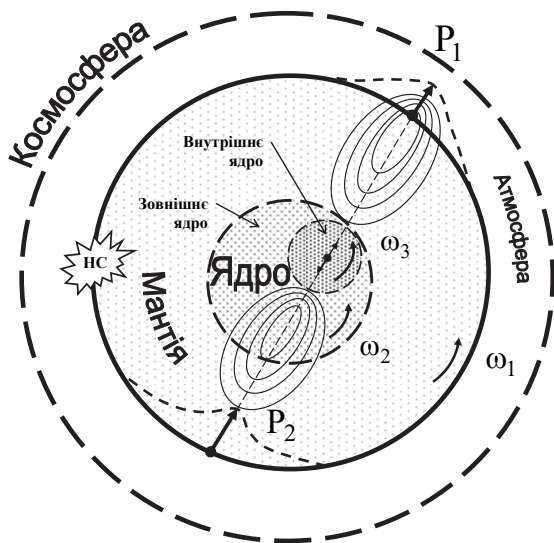


Рис. 4. Вплив коливань внутрішнього ядра на сейсмічну активність Земної кулі

3. В процесі переміщення літосферних плит (рис. 5) виникають внутрішні пружні напруження, які є енергетичними джерелами землетрусів Z_0 [24–26]. Глибина виникнення пружних напружень залежить від характеру переміщення плит. Відносний рух літосферних плит призводить до виникнення неглибоких (не глибше 20–25 км) осередків землетрусів, а занурення літосферних плит в мантию провокує по-

яву осередків глибоких (що перевищують 70 км) землетрусів. Зі збільшенням відстані від кордону поділу літосферних плит знижується ймовірність виникнення пружних напружень – осередків землетрусів.

4. Факторами поширення небезпеки від землетрусу Z_0 виступають поверхневі і об'ємні сейсмічні хвилі, які можуть викликати вторинні землетруси [27–28].

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' [29–32].

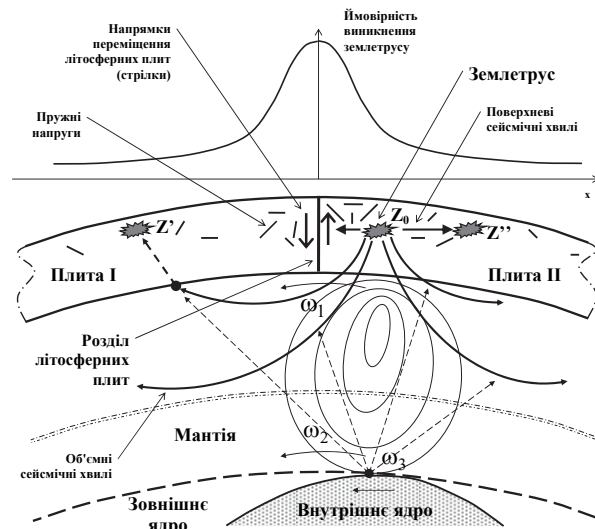


Рис. 5. Схема процесу виникнення землетрусів і поширення сейсмічної активності

6. Не є випадком можливість впливу поверхневих і об'ємних сейсмічних хвиль на напруження в літосфері, що виникли поблизу землетрусу та провокують виникнення ланцюгової реакції поширення сейсмічної небезпеки Z'' [33–35].

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 [36–51].

Розвиток науково-технічних основ створення системи моніторингу НС тектонічного походження на локальній території Земної кулі, на основі фізичних уявлень, які розкрито у графічному вигляді на рис. 3–5, в роботі проведено на основі регресійного моделювання залежності кількості виникнення землетрусів на локальній території Земної кулі від загальної кількості виникнення землетрусів на планеті.

У якості регресійної моделі обрано степеневу функцію у вигляді:

$$N_{ЛТ}(N_{\Sigma}(t)) = A_{ЛТ} (N_{\Sigma}(t) - N_{ЛТ0})^{\alpha_{ЛТ}}, \quad (1)$$

де $N_{ЛТ}(t)$ – прогнозована кількість землетрусів на локальній території Земної кулі; $A_{ЛТ}$ та $\alpha_{ЛТ}$ – показники, які характеризують фізичні властивості сейсмічної активності локальної території Земної кулі; $N_{ЛТ0}$ – показник, який визначає прояви “ефекту триггеру” щодо сейсмічної активності локальної території в енергетичних мовах сейсмічної активності Земної кулі; $N_{\Sigma}(t)$ – загальна кількість землетрусів на Земній кулі; t – час спостереження.

Адекватність представленої регресійної моделі перевірено шляхом аналізу сейсмічної активності декількох локальних територій Земної кулі, з різним ступенем їх сейсмічної активності, який був оцінено шляхом проведення кластерного аналізу сейсмічно активних локальних територій Земної кулі. Результати кластеризації наведено у роботі [23]. Виходячи з цих результатів, в роботі проведено аналіз сейсмічної активності таких трьох сейсмічно активних локальних територій планети, як: територія Японії (територія з відносно високим ступенем сейсмічної активності), територія Азербайджану (територія з відносно середнім ступенем сейсмічної активності) та гір Вранча (територія Румунії з відносно низьким ступенем сейсмічної активності, але саме ця територія становить небезпеку для території України).

Результати регресійного моделювання зміни за період 2009–2018 рр. рівня сейсмічної активності

території Японії від динаміки сейсмічної активності Земної кулі представлено на рис. 6. Моделювання проведено для землетрусів з магнітудою $5,0 \leq M < 6,0$ та за даними, які представлені Головним центром спеціального контролю Державного космічного агенства України [66].

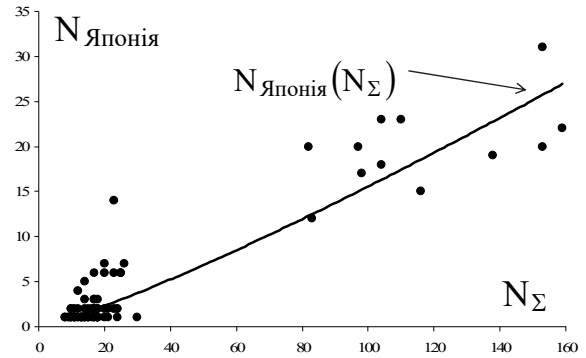


Рис. 6. Залежності кількості виникнення землетрусів в Японії від загальної кількості землетрусів на Земній кулі

За результатами аналізу даних рис. 6, функція залежності кількості виникнення землетрусів в Японії ($N_{Японія}(t)$) від загальної кількості землетрусів на Земній кулі ($N_{\Sigma}(t)$) має вигляд:

$$N_{Японія}(N_{\Sigma}(t)) = 9,4 \cdot 10^{-2} N_{\Sigma}(t)^{1,1264}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Результати помісячного прогнозування сейсмічної активності території Японії в залежності від рівня сейсмічної активності Земної кулі у 2019 році

t	2019 рік											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
$N_{\Sigma}^*(t)$	104	88	98	97	78	93	102	108	121	127	126	102
$N_{Японія}^*(t)$	16	16	20	16	15	10	15	19	10	10	12	21
$N_{Японія}(t)$	17	15	16	16	13	15	17	18	20	22	21	17
$\delta_{N_{Японія}(t)}, \%$	9	9	18	–	15	50	4	5	100	110	81	18

Примітка: $N_{\Sigma}^*(t)$ – загальна кількість землетрусів на Земній кулі, що спостерігалася; $N_{Японія}^*(t)$ – кількість землетрусів в Японії, що спостерігалася; $N_{Японія}(t)$ – прогнозована кількість землетрусів в Японії;

$\delta_{N_{Японія}(t)} = \left| \frac{N_{Японія}(t) - N_{Японія}^*(t)}{N_{Японія}^*(t)} \right| \cdot 100\%$ – відносна похибка прогнозування.

Коефіцієнт кореляції між показниками $N_{Японія}(t)$ і $N_{\Sigma}(t)$ дорівнює $r_{N_{Японія}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,724$. Підвищити рівень достовірності прогнозування можливо у перспективі за рахунок збільшення розміру вибірки даних в умовах збільшення часу аналізу. При цьому результати, які

представлені у цій роботі, базуються на розмірі вибірки у 4579 спостережень по Земній кулі за період 2009–2018 рр.

Представлені в табл. 1 результати прогнозування свідчать про обмеженість роботи математичної моделі для території Японії в осінній період спостережень, що потребує додаткових досліджень.

Відповідний рівень достовірності отриманих результатів при аналізі сейсмічної активності території Японії дозволяє стверджувати про наявність залежностей від рівня сейсмічної активності Земної кулі рівней сейсмічної активності інших сейсмічно активних локальних територій планети.

Так, результати регресійного моделювання зміни за період 2009–2018 рр. рівня сейсмічної активності території Азербайджану від динаміки сейсмічної активності Земної кулі (враховані землетруси з магнітудою $5,0 \leq M < 6,0$) представлено на рис. 7.

За результатами аналізу даних рис. 7, функція залежності кількості виникнення землетрусів в Азербайджані ($N_{\text{Азерб.}}(t)$) від загальної кількості землетрусів на Земній кулі ($N_{\Sigma}(t)$) має вигляд:

$$N_{\text{Азерб.}}(N_{\Sigma}(t)) = 4,4 \cdot 10^{-3} (N_{\Sigma}(t) - 180)^{1,0288} . (3)$$

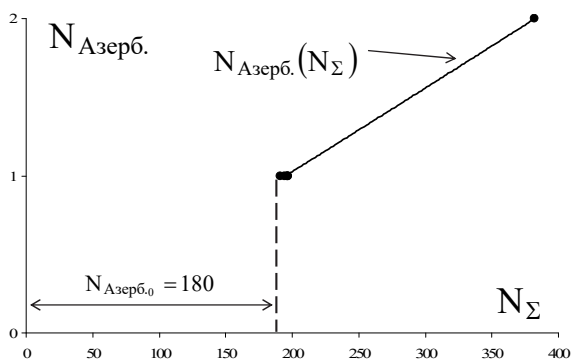


Рис. 7. Залежність кількості виникнення землетрусів в Азербайджані від загальної кількості землетрусів на Земній кулі

Отримана регресійна модель характеризується показником, який визначає прояви “ефекту триггеру” щодо сейсмічної активності території Азербайджану в енергетичних мовах сейсмічної активності Земної кулі, на рівні $N_{\text{Азерб.}0} = 180$ землетрусів (це мінімальна кількість землетрусів з магнітудою $M \geq 5,0$, які виникли по Земній кулі у проміжок між землетрусами в Азербайджані) та дозволяє прогнозувати рівень сейсмічної активності території Азербайджану з адекватністю на рівні $r_{N_{\text{Азерб.}}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,871$.

Результати регресійного моделювання зміни за період 2009–2018 рр. рівня сейсмічної активності гір Вранча (ця територія становить небезпеку для території України) від динаміки сейсмічної активності Земної кулі (враховані землетруси з магнітудою $5,0 \leq M < 6,0$) представлено на рис. 8.

За результатами аналізу даних рис. 8, функція залежності кількості виникнення землетрусів в Румунії ($N_{\text{Румунія}}(t)$) від загальної кількості землетрусів на Земній кулі ($N_{\Sigma}(t)$) має вигляд:

мунії ($N_{\text{Румунія}}(t)$) від загальної кількості землетрусів на Земній кулі ($N_{\Sigma}(t)$) має вигляд:

$$N_{\text{Румунія}}(N_{\Sigma}(t)) = 1,5 \cdot 10^{-2} (N_{\Sigma}(t) - 180)^{0,7785} . (4)$$

Отримана регресійна модель характеризується показником, який визначає прояви “ефекту триггеру” щодо сейсмічної активності території Румунії в енергетичних мовах сейсмічної активності Земної кулі, на рівні $N_{\text{Румунія}0} = 200$ землетрусів (це мінімальна кількість землетрусів з магнітудою $M \geq 5,0$, які виникли по Земній кулі у проміжок між землетрусами в Румунії) та дозволяє прогнозувати рівень сейсмічної активності території Румунії з адекватністю на рівні $r_{N_{\text{Румунія}}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,868$.

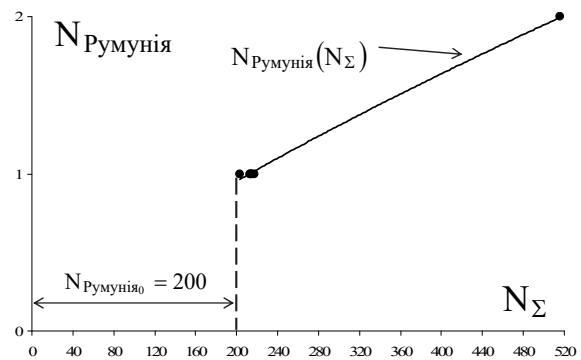


Рис. 8. Залежність кількості виникнення землетрусів в Румунії (гори Вранча) від загальної кількості землетрусів на Земній кулі

Отримані в роботі результати математичного моделювання залежності кількості виникнення землетрусів на локальній території Земної кулі від загальної кількості виникнення землетрусів на планеті лягли в основу розробки інформаційно-технічного методу моніторингу та прогнозування НС тектонічного походження (землетрусів), реалізація якого передбачає, у відповідності до схеми рис. 9, комплексне виконання в системі єдиного часу наступних п’яти функцій.

1. Безперервний моніторинг параметрів руху Земної кулі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць (віддалення внутрішнього ядра Землі від центру планети ($\Omega(t)$) та зміна тривалості доби ($LOD(t)$)) та сейсмічної активності Земної кулі ($N_{\Sigma}(t)$). Інформація у реальному масштабі часу надходить від Міжнародної служби обертання Землі та Міжнародної системи моніторингу організації Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань.

2. Безперервний моніторинг сейсмічної активності локальної території. Інформація в залежності від локальної території, що контролюється, у реальному масштабі часу надходить від Національної системи сейсмічного моніторингу Головного центру

спеціального контролю Державного космічного агентства України, Республіканського центру сейсмологічної служби при Національній академії наук Азербайджану тощо.

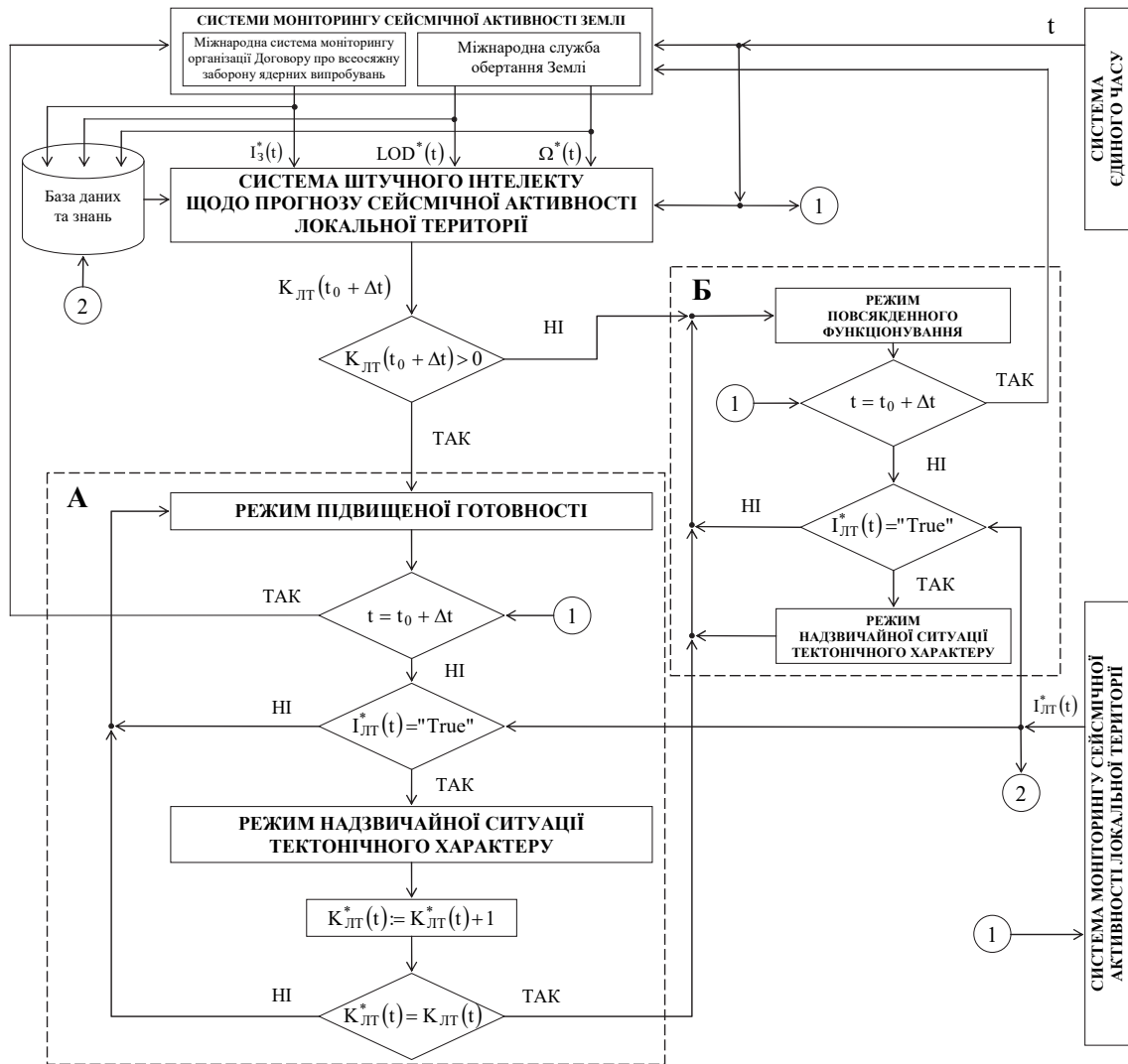


Рис. 9. Схема реалізації інформаційно-технічного методу моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій тектонічного походження (землетрусів)

3. Прогнозування, за результатами моніторингових спостережень, сейсмічної активності локальної території ($N_{ЛТ}(t)$). Процедуру прогнозу представлено на рис. 10, яка характеризується оцінкою рівня сейсмічної активності локальних територій Земної кулі в залежності від сейсмічної активності планети за графічними залежностями, які представлені на рис. 6–8. Прогнозування, з дискретністю в один місяць, загального рівня сейсмічної активності Земної кулі ($N_{\Sigma}(t)$) реалізується шляхом використання математичних моделей, які отримані авторами на базі нейромережевих технологій щодо оцінки

процесів, що протікають в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць.

4. Реалізація на локальній території, за результатами прогнозу її сейсмічної активності, режиму підвищеної готовності між органами влади, силовими структурами, а також комунальними та іншими службами. При встановленні цього режиму:

– здійснюється оповіщення органів влади, силових структур, комунальних та інших служб, а також населення про загрозу виникнення НС тектонічного походження й інформування його про дії у можливій зоні НС тектонічного походження;

– формуються оперативні групи для виявлення причин погіршення обстановки та підготовки пропозицій щодо її нормалізації;

– посилюється спостереження та контроль за гідрометеорологічною обстановкою, ситуацією на потенційно небезпечних об'єктах, на території об'єктів підвищеної небезпеки та/або за їх межами, на території, на якій існує загроза виникнення геологічних і гідрогеологічних явищ і процесів, а також здійснюється постійне прогнозування можливості виникнення НС тектонічного походження та її масштабів;

– уточнюються плани реагування на НС тектонічного походження;

– уточнюються та здійснюються заходи щодо захисту населення та територій від можливої НС тектонічного походження;

– приводяться у повну готовність наявні сили та засоби.

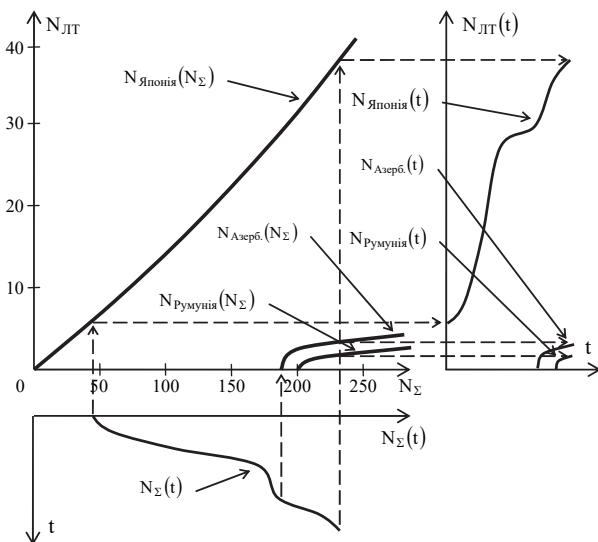


Рис. 10. Процедура прогнозування сейсмічної активності локальних територій ($N_{LT}(t)$) в умовах динаміки сейсмічної активності Земної кулі ($N_{\Sigma}(t)$)

5. Реалізація на локальній території, за результатами безперервного моніторингу її сейсмічної активності, режиму надзвичайної ситуації тектонічного походження (землетрус). У разі виникнення НС тектонічного походження:

– здійснюється оповіщення органів влади, силових структур, комунальних та інших служб, а також населення про землетрус та інформування його про дії в умовах такої ситуації;

– призначається керівник робіт із ліквідації наслідків НС тектонічного походження та утворюється у разі потреби спеціальна комісія з ліквідації наслідків землетрусу;

– визначається зона НС тектонічного походження;

– здійснюється постійне прогнозування зони можливого поширення наслідків землетрусу;

– організуються роботи з локалізації й ліквідації наслідків землетрусу, залучаються для цього необхідні сили і засоби (розвідка; витяг людей із-під завалів, а також порятунок людей з напівзруйнованих і палаючих будівель; локалізація та ліквідація аварій в комунальних та енергетичних мережах; обвалення або зміцнення нестійких конструкцій будівель та споруд тощо);

– організуються та здійснюються заходи щодо життєзабезпечення постраждалого населення (обладнання пунктів харчування та водопостачання; організація комендантської служби тощо);

– організуються та здійснюються евакуаційні заходи (обладнання пунктів збору постраждалих; обладнання медичних пунктів тощо);

– здійснюється безперервний контроль за обстановкою на потенційно небезпечних об'єктах, об'єктах підвищеної небезпеки, об'єктах радіаційної, хімічної та біологічної небезпеки та прилеглих до них територіях;

– організується безперервне у реальному масштабі часу інформування органів влади, органів управління силових структур, органів управління комунальних та інших служб та населення про обстановку в зоні ураження від землетрусу, а також про можливий каскадний розвиток НС різного походження від землетрусу, поширення їх наслідків та заходи, що здійснюються для їх локалізації та ліквідації.

Особливістю функціонування схеми на рис. 9 щодо реалізації інформаційно-технічного методу моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій тектонічного походження (землетрусів) є блоки А і Б.

Блок А функціонує в умовах, коли передбачається на наступний місяць кількість виникнення землетрусів більше від нуля ($K_{LT}(t) > 0$).

Завершення роботи блоку А обумовлено наступними умовами: а) завершення терміну прогнозу ($t = \Delta t$) в умовах виникнення меншої кількості землетрусів ніж прогнозовано ($K_{LT}^*(t) < K_{LT}(t)$). У цьому випадку відбувається перехід до систем моніторингу сейсмічної активності Землі та штучного інтелекту щодо прогнозу сейсмічної активності локальної території на наступний термін прогнозу; б) виникнення прогнозованої кількості землетрусів ($K_{LT}^*(t) = K_{LT}(t)$) в умовах незавершення терміну прогнозу ($t < \Delta t$). У цьому випадку відбувається перехід до блоку Б.

Блок Б функціонує в умовах: а) прогнозована кількість землетрусів дорівнює нулю ($K_{\Sigma}(t) = 0$), а термін прогнозу незавершено ($t < \Delta t$); б) відбувається перехід з блоку А до завершення терміну прогнозу.

Таким чином, розроблений в роботі інформаційно-технічний метод моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій тектонічного походження (землетрусів) дозволить підвищити готовність в режимах підвищеної готовності та надзвичайної ситуації органів влади, силових структур, комунальних та інших служб, а також населення до дій за призначенням, за рахунок об'єднаного використання систем глобального моніторингу сейсмічної активності Земної кулі, систем моніторингу сейсмічної активності окремих локальних територій планети та систем штучного інтелекту щодо прогнозу сейсмічної активності 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 та військового характеру, з підсистемою раннього виявлення осередків сейсмічної активності й 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 й автоматизованого прогнозування сейсмічної небезпеки на контрольованій локальній території є класичний контур управління, що забезпечує збір, обробку й 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 й 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 осьового обертання Землі та 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. У рамках поставленої мети дослідження та базуючись на уявленнях щодо динаміки фізичних процесів, які протікають в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць та впливають на рівень сейсмічної небезпеки функціонування локальної території планети Земля, у роботі отримано регресійну модель залежності кількості виникнення землетрусів на локальній території від загальної кількості виникнення землетрусів на Земній кулі. Проведено аналіз сейсмічної активності таких трьох сейсмічно активних локальних територій планети, як: територія Японії (територія з відносно високим ступенем сейсмічної активності), територія Азербайджану (територія з відносно середнім ступенем сейсмічної активності) та гір Вранча (територія Румунії з відносно низьким ступенем сейсмічної активності, але саме ця територія становить небезпеку для території України). Отримані регресійні залежності дозволяють прогнозувати рівень сейсмічної активності цих сейсмічно активних локальних територій з адекватністю на рівні

$$r_{N_{\text{Японія}}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,724, \quad r_{N_{\text{Азерб.}}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,871 \quad \text{і}$$

$$r_{N_{\text{Румунія}}(t)N_{\Sigma}(t)}^2 \approx 0,868.$$

4. Розроблено інформаційно-технічний метод моніторингу та прогнозування НС тектонічного походження (землетрусів), реалізація якого передбачає комплексне виконання в системі єдиного часу наступних п'яти функцій: 1) безперервний моніторинг параметрів руху Земної кулі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць та сейсмічної активності Земної кулі; 2) безперервний моніторинг сейсмічної активності локальної території; 3) прогнозування, за результатами моніторингових спостережень, сейсмічної активності локальної території; 4) реалізація на локальній території, за результатами прогнозу її сейсмічної активності, режиму підвищеної готовності між органами влади, силовими структурами, а також комунальними та іншими службами; 5) реалізація на локальній території, за результатами безперервного моніторингу її сейсмічної активності, режиму надзвичайної ситуації тектонічного походження (землетрус).

Список літератури

1. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012. – листопад (№ 220 (5470)). – С. 4-20.

2. 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>.
3. 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. – Вип. 9(116). – С. 204-216.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли / Н.С. Сидоренко // Вестник РАН. – 2004. – Т. 74. – № 8. – С. 701-715.
8. Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум / А.Я. Сидорин // Сейсмические приборы. – 2004. – Вып. 40. – С. 71-80.
9. 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.
10. 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. – P. 317-327.
11. Wiemer S. Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview / S. Wiemer, M. Wyss // Advances in Geophysics. – 2002. – Vol. 45. – P. 259-302.
12. 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. – No. 4. – P. 2273-2279.
13. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли / Н.С. Сидоренков. – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 384 с.
14. Клименко А.В. Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Клименко А.В. – М.: Московский государственный областной университет, 2005. – 87 с.
15. 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.
16. Малышков Ю.П. Способ определения пространственного положения и параметров движения внутреннего ядра Земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, С.Г. Шталин [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Патент РФ № 2352961С2, МПК G01V3/00, 20.04.2009.
17. Ромашов А.Н. В поисках обобщающей геотектонической концепции / А.Н. Ромашов, С.С. Цыганков // Геотектоника. – 1996. – № 4. – С. 3-12.
18. Фридман А.М. О некоторых корреляциях в сейсμοдинимике 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Hierarchical clustering of seismic activity local territories / V. Tiutiunyk, V. Kalugin, O. Pysklakova, O. Yaschenko, T. Agazade // EUREKA: Physics and Engineering. – 2019. – No. 4. – P. 41-53.
24. Райс Дж. Механика очага землетрясения / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
25. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
26. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
27. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны / Е.Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
28. Болт Б. Землетрясения / Б. Болт. – М.: Мир, 1981. – 256 с.
29. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений / Г.А. Соболев. – М.: Наука, 1993. – 313 с.
30. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд. – Королев, М.О.: ЦНИИ-Маш, 2007. – 160 с.
31. Березняков А.І. Фізика Землі / А.І. Березняков, К.А. Немець. – Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
32. Малышков Ю.П. Способ прогноза землетрясений / 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.

33. Пшеников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры / К.В. Пшеников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
34. 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.
35. Левин Б.В. Великое Японское землетрясение / Б.В. Левин, М.В. Родкин, И.Н. Тихонов // Природа. – 2011. – № 10. – С. 14-22.
36. Родкин М.В. Фундаментальные проблемы мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф / М.В. Родкин, В.И. Мухин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Химки: ФГБОУ ВПО “АГЗ МЧС России”, 2010. – № 1. – С. 9-14.
37. Электромагнитные предвестники землетрясений / Под ред. М.А. Садовского. – М.: Наука, 1982. – 69 с.
38. 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.
39. Тертышников А.В. Предвестники сильных землетрясений в озоносфере / А.В. Тертышников // Гелиогеофизические исследования. – 2012. – Вып. 2. – С. 54-59.
40. 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.
41. 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.
42. Тертышников А.В. Перспективы мониторинга сейсмических условий из космоса [Электронный ресурс] / А.В. Тертышников, В.В. Платонов // Электронный журнал “ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ”. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/031.pdf>.
43. Ионосферные аномалии, наблюдаемые в GPS TEC измерениях перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M6.8) [Электронный ресурс] / И.Е. Захаренкова, И.И. Шагмуратов, А. Кранковски, А.Ф. Лаговский // Электронный журнал “ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ”. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/110.pdf>.
44. 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.
45. 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. – No. 4. – P. 395-409.
46. 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.
47. 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.
48. Features of precursor fields before and after the Datong-Yang-gao Earthquake swarm / Ma Li, Chen Jianmin, Chen Qifu, Liu Guiping // J. Earth. Predict. Res. – 1995. – Vol. 4. – No. 1. – P. 1-30.
49. 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.
50. Chernogor L.F. Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011 / L.F. Chernogor // Geomagnetism and Aeronomy. – 2019. – Vol. 59, No. 1. – P. 62-75.
51. 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.
52. Котовенко О.А. Стохастичне моделювання при дослідженні процесів під дією природокористування в регіоні / О.А. Котовенко, Л.І. Соболевська, О.Ю. Мірошніченко // Вост.-Европ. журнал передових технологій. – 2012. – № 2/14. – С. 37-41.
53. Соколов Ю.Н. Динамические процессы в экологических системах / Ю.Н. Соколов. – О.: ТЕС, 2012. – 119 с.
54. Тютюник В.В. Оцінка відносної інтенсивності між надзвичайними ситуаціями природного та техногенного характеру в регіонах України / В.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2015. – Вып. 21. – С. 112-120.
55. Брушлинский Н.Н. Снова о рисках и управлении безопасностью / Н.Н. Брушлинский // ВИНТИ. Пробл. безопасности при чрезв. ситуациях. – 2002. – Вып. 4. – С. 230-234.
56. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов. – М.: Академия, 2003. – 506 с.
57. Беляев Н.Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2013. – 158 с.
58. Гражданкин А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 12-20.
59. Лепихин А.М. Комплексные показатели безопасности территорий / А.М. Лепихин // Проблемы безопасности и ЧС. – 2008. – № 5. – С. 93-98.
60. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
61. Бондарь В.А. Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений / В.А. Бондарь, Ю.П. Попов // Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 10. – С. 39-42.
62. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и антикризисное управление / Я.Д. Вишняков, К.А. Кирсанов, С.Г. Васин, Ю.А. Буковская // Проблемы безопасности при ЧС. – 2004. – № 2. – С. 38-47.
63. Моделювання і прогнозування стану довкілля / Т.В. Михалевська, В.М. Ісаєнко, В.М. Криворотько, В.А. Гроза. – К.: НАУ, 2006. – 212 с.
64. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар, Г.М. Франчук, Є.М. Варламов. – К.: Вид-во Нац. авіа. ун-ту “НАУ-друк”, 2009. – 312 с.

65. Пупков К.А. Применение нейросетевых технологий в задачах прогнозирования землетрясений (на примере северо-западного района Вьетнама) / К.А. Пупков, Као Динь Чонг // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. – 2012. – № 2. – С. 70-78.

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

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2012), “Kodeks cyvil'nogo zahystu Ukrayiny vid 2 zhovtnya 2012 roku No. 5403-VI” [Code of Civil Protection of Ukraine of October 2, 2012 No. 5403-VI], *Golos Ukrayiny*, No. 220 (5470), pp. 4-20.

2. The Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2014), “Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Yedynu derzhavnu systemu cyvilnogo zahystu vid 9 sichnya 2014 roku No. 11” [On Approval of the Regulation on the Unified State Civil Protection System dated January 9, 2014 No. 11], available at: www.zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF.

3. Kaluhin, V.D., Tiutiunyk, V.V., Chornohor, L.F. and Shevchenko, R.I. (2013), “Rozrobka naukovo-tekhnichnykh osnov dlia stvorennia systemy monitorynhu, poperedzhennia ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii pryrodnoho ta tekhnohennoho kharakteru ta zabezpechennia ekolohichnoi 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.

4. Andronov, V.A., Divizinyuk, M.M., Kalugin, V.D. and Tiutiunyk, V.V. (2016), “Naukovo-konstruktorski osnovy stvorennia kompleksnoi systemy monitoryngu nadzvychajnykh sytuatsij v Ukrayini” [Scientific and design basis for creation of a comprehensive system of emergency monitoring in Ukraine], *Nacionalnyj universytet cyvilnogo zahystu Ukrayiny*, Kharkiv, 319 p.

5. Zharov, V.E., Konov, A.S. and Smirnov, V.B. (1991), “Variatsii parametrov vrashcheniya Zemli i ikh svyaz s silneyshimi 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.

6. Gorkavyi, N.N., Levitskiy, L.S., Taydakova, T.A., Trapeznikov, Yu.A. and Fridman, A.M. (1994), “O korrelyatsii grafikov uglovy skorosti vrashcheniya Zemli i modulya ee vremennoy proizvodnoy s chastotoy zemletryaseny 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.

7. Sidorenkov, N.S. (2004), “Nestabil'nost' vrashcheniya Zemli” [Earth rotation instability], *Vestnik RAN*, Vol. 74, No. 8, pp. 701-715.

8. Sidorin, A.Ya. (2004), “Vliyanie Solntsa na seysmichnost i seysmicheskij shum” [Influence of the Sun on seismicity and seismic noise], *Seysmicheskie pribory*, No. 40, pp. 71-80.

9. Levin, B.V., Satorova, 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.

10. 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.

11. Wiemer, S. and Wyss, M. (2002), Mapping spatial variability of the frequency-magnitude distribution of earthquakes: An overview, *Advances in Geophysics*, No. 45, pp. 259-302.

12. 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.

13. Sidorenkov, N.S. (2002), “Fizika nestabil'nostej vrashheniya Zemli” [Earth rotation instability physics], Nauka, Fizmatlit, Moscow, 384 p.

14. 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.

15. Malyshev, Yu.P. and Malyshev, 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.

16. Malyshev, Yu.P., Malyshev, 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], Patent RF No. 2352961S2, MPK G01V3/00.

17. 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.

18. 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.

19. Tyutyunik, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2017), “Otsenka vliyaniya energeticheskikh effektov v sisteme Solntse–Zemlya–Luna na uroven' seysmicheskoy 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], *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 6(46), pp. 238-246.

20. Tyutyunik, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2017), “Otsenka dinamicheskikh i energeticheskikh effektov na planete Zemlya i vliyanie ikh na sootnoshenie mezhdru urovniami seysmicheskoy 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], *Naukovyiy visnyk: Cyvilnyy zahyst ta pozhezhna bezpeka*, No. 2(4), pp. 101-117.

21. Tyutyunik, V.V., Chernogor, L.F., Kalugin, V.D. and Agazade, T.Kh. (2018), “Otsenka vliyaniya variatsiy skorosti oseвого vrashcheniya Zemli na uroven' seysmicheskoy aktivnosti lokal'nykh 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.
22. Tyutyunik, 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] *Applied Radio Electronics*, Vol. 18, No. 1, 2, pp. 52-65.
 23. Tiutiunyk, V., Kalugin, V., Pysklakova, O., Yaschenko, O. and Agazade, T. (2019), Hierarchical clustering of seismic activity local territories Globe, *EUREKA: Physics and Engineering*, No. 4, pp. 41-53.
 24. Rays, Dzh. (1982), "Mekhanika ochaga zemletryaseniya" [Earthquake focal mechanics], Mir, Moscow, 217 p.
 25. Kasakhara, K. (1985), "Mekhanika zemletryaseniya" [Earthquake mechanics], Mir, Moscow, 264 p.
 26. Trukhin, V.I., Pokazeev, K.V. and Kunitsyn, V.E. (2005), "Obshchaya i ekologicheskaya geofizika" [General and environmental geophysics], FIZMATLIT, Moscow, 576 p.
 27. Savarenskiy, E.F. (1972), "Seysmicheskie volny" [Seismic waves], Nedra, Moscow, 296 p.
 28. Bolt, B. (1981), "Zemletryaseniya" [Earthquakes], Mir, Moscow, 256 p.
 29. Sobolev, G.A. (1993), "Osnovy prognoza zemletryaseniya" [Basics of Earthquake Prediction], Nauka, Moscow, 313 p.
 30. Gufel'd, I.L. (2007), "Seysmicheskiy protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty" [Seismic process. Physicochemical aspects], M.O. TsNIIMash, 160 p.
 31. Bereznyakov, A.I. and Nyemecz, K.A. (2010), "Fizyka Zemli" [Earth Physics], Kharkovskiy natsionalnyy universitet im. V.N. Karazina, Kharkiv, 268 p.
 32. Malyshev, Yu.P., Dzhumabaev, K.B. and Malyshev, S.Yu. (2004), "Sposob prognoza zemletryaseniya" [Earthquake prediction method], Institut monitoringa klimaticheskikh i ekologicheskikh sistem, Patent RF no. 2238575, MPK G01V3/00.
 33. 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.
 34. Gul'el'mi, A.V. (2015), "Forshoki i aftershoki sil'nykh zemletryaseniya 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.
 35. Levin, B.V., Rodkin, M.V. and Tikhonov, I.N. (2011), "Velikoe Yaponskoe zemletryasenie" [Great Japanese earthquake], *Priroda*, No. 10, pp. 14-22.
 36. Rodkin, M.V. and Mukhin, V.I. (2010), "Fundamental'nye problemy monitoringa i prognozirovaniya prirodnykh i tekhnogennykh katastrof" [Fundamental problems of monitoring and forecasting natural and man-made disasters], *Nauchnye i obrazovatelnye problemy grazhdanskoj zashchity*, No. 1, pp. 9-14.
 37. Sadovskiy, M.A. (1982), "Elektromagnitnye predvestniki zemletryaseniya" [Electromagnetic earthquake precursors], Nauka, Moscow, 69 p.
 38. Remizov, L.T. (1991), "Registratsiya izmeneniy estestvennogo elektromagnitnogo polya v periody vremeni, predshestvuyushchie zemletryaseniya" [Registration of changes in the natural electromagnetic field in time periods preceding earthquakes], *Radiotekhnika i elektronika*, Vol. 36, No. 6, pp. 1041-1080.
 39. Tertyshnikov, A.V. (2012), "Predvestniki sil'nykh zemletryaseniya v ozonosfere" [Harbingers of strong earthquakes in the ozonosphere], *Geliogeofizicheskie issledovaniya*, No. 2, pp. 54-59.
 40. 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.
 41. Smirnov, V.M. and Smirnova, E.V. (2008), "Issledovanie vozmozhnosti primeneniya sputnikovyykh 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.
 42. 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.
 43. Zakharenko, 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.
 44. Chernogor, L.F. (2019), "Effektivnost monitorynga katastroficheskyykh 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.
 45. 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.
 46. 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.
 47. 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.
 48. 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.
 49. 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.
 50. 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.
 51. Chernogor, L.F. (2019), Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 59, No. 3, pp. 374-382.
 52. Kotovenko, O.A., Sobolevsjka, L.I. and Miroshnychenko, O.Ju. (2012), "Stokhastychno modeljuvannja pry doslidzhenni procesiv pid dijeju pryrodokorystuvannja v rehioni" [Stochastic modeling in the study of processes under the influence of environmental management in the region], *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 2/14, pp. 37-41.

53. Sokolov, Yu.N. (2012), “Dinamicheskie protsessy v ekologicheskikh sistemakh” [Dynamic processes in ecological systems], TES, 119 p.
54. Tyutyunik, V.V. (2015), “Ocinka vidnosnoji intensyvnosti mizh nadzvychajnyimi sytuacijamy pryrodnoho ta tekhnogennogo kharakteru v rehionakh Ukrainy” [Assessment of relative intensity between emergency situations of natural and technogenic character in regions of Ukraine], *Problemy nadzvychajnykh situacij*, No. 21, pp. 112-120.
55. Brushlinskiy, N.N. (2002), “Snova o riskakh i upravlenii bezopasnost'yu” [Risk and safety management again], *VINITI. Problemy bezopasnosti pri chrezvychnykh situatsiyakh*, No. 4, pp. 230-234.
56. Belov, P.G. (2003), “Sistemnyy analiz i modelirovanie opasnykh protsessov v tekhnosfere” [System analysis and modeling of hazardous processes in the technosphere], Akademiya, Moscow, 506 p.
57. Belyaev, N.N., Gun'ko, E.Yu. and Mashikhina, P.B. (2013), “Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh ekologicheskoy bezopasnosti i monitoringa chrezvychnykh situatsiy” [Mathematical modeling in environmental safety and emergency monitoring], Aktsent PP, Dnepropetrovsk, 158 p.
58. Grazhdankin, A.I., Lisanov, M.V. and Pecherkin, A.S. (2002), “Ispolzovanie veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov” [The use of probabilistic assessments in the analysis of the safety of hazardous production facilities], *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, No. 2, pp. 12-20.
59. Lepikhin, A.M. (2008), “Kompleksnye pokazateli bezopasnosti territoriy” [Integrated Territory Security Indicators]. *Problemy bezopasnosti i ChS*, No. 5, pp. 93-98.
60. Saati, T. (1993), “Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy” [Making decisions. Hierarchy Analysis Method], Radio i svyaz, Moscow, 278 p.
61. Bondar', V.A. and Popov, Yu.P. (1997), “Risk, nadezhnost' i bezopasnost'. Sistema ponyatiy i oboznacheniy” [Risk, reliability and safety. System of concepts and notation], *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, No. 10, pp. 39-42.
62. Vishnyakov, Ya.D., Kirsanov, K.A., Vasin, S.G. and Bukovskaya, Yu.A. (2004), “Prognozirovaniye chrezvychnykh situatsiy i antikrizisnoye upravleniye” [Emergency Forecasting and Crisis Management], *Problemy bezopasnosti pri ChS*, No. 2, pp. 38-47.
63. Mykhalevsjka, T.V., Isajenko, V.M., Kryvorotjko, V.M. and Groza, V.A. (2016), “Modeljuvannja i prognozuvannja stanu dovkilja” [Modeling and forecasting of the environment], NAU, Kyiv, 212 p.
64. Isajenko, V.M., Lysyhenko, Gh.V., Dudar, T.V., Franchuk, Gh.M. and Varlamov, Je.M. (2009), “Monitoryng i metody vymirjuvannja parametriv navkolynshnjogho seredovysjha” [Monitoring and measurement methods for environmental parameters], Vydavnytstvo Nacionaljnogho aviacijnogho universytetu “NAU-druk”, Kyiv, 312 p.
65. Pupkov, K.A., Chong Kao Din' (2012), “Primenenie neyrosetevykh tekhnologiy v zadachakh prognozirovaniya zemletryaseniy (na primere severo-zapadnogo rayona V'etnama)” [The use of neural network technologies in earthquake prediction problems (for example, the north-western region of Vietnam)], *Vestnik MGTU imeni N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, No. 2, pp. 70-78.
66. The Official Site of the Main Center for Special Control of the National Space Agency of Ukraine (2020), “Derzhavne kosmichne aghenstvo Ukrainy” [State Space Agency of Ukraine], available at: www.nkau.gov.ua/.

Надійшла до редколегії 13.03.2020

Схвалена до друку 12.05.2020

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>

Калугін Володимир Дмитрович

доктор хімічних наук професор
професор кафедри Національного університету
цивільного захисту України,
Харків, Україна
<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>

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>

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>

Tural Agazade

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

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗЕМНОГО ШАРА**

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, на основе представлений о динамике физических процессов, протекающих в системе нелинейных энергетических взаимодействий Солнце–Земля–Луна и влияющих на уровень сейсмической опасности функционирования локальной территории планеты Земля, представлены результаты регрессионного моделирования зависимости количества возникновения землетрясений на локальной территории от общего количества возникновения землетрясений на Земном шаре. Полученные результаты лягли в основу разработки информационно-технического метода мониторинга и прогнозирования ЧС тектонического происхождения (землетрясений).

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, землетрясение, система нелинейных энергетических взаимодействий Солнце–Земля–Луна, мониторинг чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения, прогнозирование уровня сейсмической активности, регрессионная модель, информационно-технический метод

**INFORMATION AND TECHNICAL METHOD OF MONITORING AND FORECASTING
THE SEISMIC DANGER OF THE LOCAL TERRITORY OF THE EARTH**

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

With the aim of further developing the scientific and technical foundations for creating an artificial intelligence system to perform tasks on monitoring emergencies of tectonic origin, in work, based on ideas about the dynamics of physical processes in the Sun–Earth–Moon nonlinear energy system and affecting the level of seismic hazard of the functioning of the local territory of planet Earth, the results of regression modeling of the dependence of the number of occurrence of earthquakes are presented phenomena in the local territory of the total number of earthquakes on the Globe. The results formed the basis for the development of an information and technical method for monitoring and predicting emergencies of tectonic origin (earthquakes).

The implementation of the information and technical method involves complex execution of the following five functions in a single-time system: 1) continuous monitoring of the parameters of the motion of the globe in the system of nonlinear energy interactions of the Sun–Earth–Moon and seismic activity of the Globe; 2) continuous monitoring of seismic activity of the local territory; 3) forecasting, according to the results of monitoring observations, seismic activity of the local territory; 4) implementation on the local territory, according to the results of its seismic activity forecast, the regime of high readiness between the authorities, power structures, as well as communal and other services; 5) implementation on the local territory, by the results of continuous monitoring of its seismic activity, the regime of emergency of tectonic origin (earthquake).

Keywords: emergency, earthquake, system of nonlinear energy interactions Sun–Earth–Moon, monitoring of emergencies of tectonic origin, predicting the level of seismic activity, regression model, information and technical method.