

## ДИСКУСІЇ

УДК 351.861

**В.В. ТЮТЮНИК<sup>1</sup>, В.Д. КАЛУГІН<sup>1</sup>, Л.Ф. ЧОРНОГОР<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків

### **ОЦІНКА РИЗИКУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННО-СОЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИ СЕЗОННИХ КОЛИВАННЯХ СЕЙСМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ**

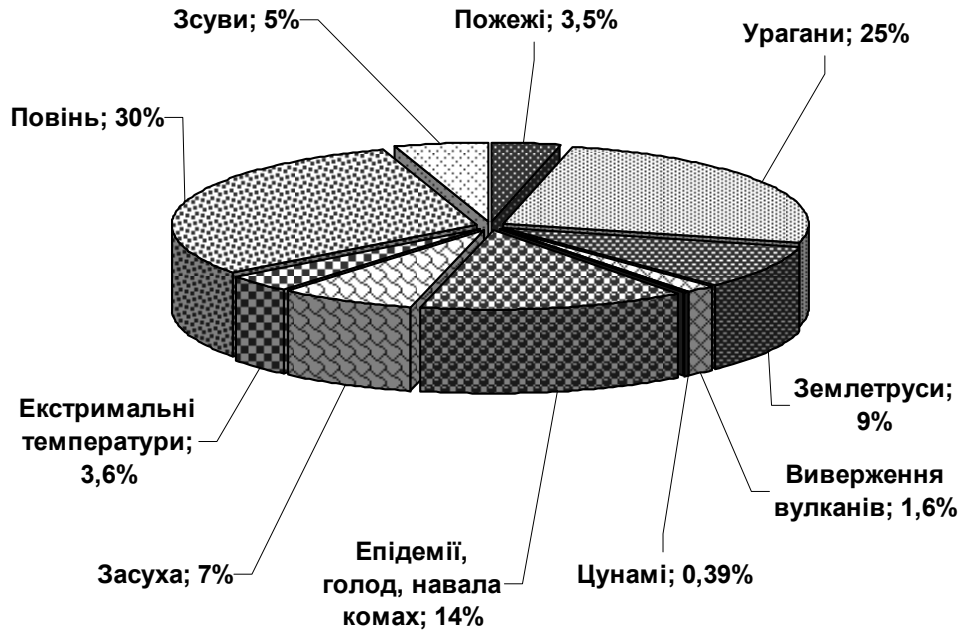
*Представлено підхід до оцінки ризику функціонування природно-техногенно-соціальної системи в умовах сезонних коливань сейсмічної активності, що призводить до значних соціально-економічних та екологічних наслідків.*

**Обґрунтування проблеми.** На поверхні Землі та в прилеглих до неї шарах атмосфери, літосфери, гідросфери та космосфери протікає безліч процесів різної природи (рис. 1) [1]. Результати їх протікання та взаємної трансформації можуть служити причинами виникнення небезпечних для біосфери Землі природних явищ, таких, як землетруси, цунамі, виверження вулканів, повені, урагани та інші (рис. 2).



**Рис. 1.** Взаємозв'язок між попередніми факторами надзвичайних ситуацій природного характеру

Збільшення за останнє десятиліття розвитку цивілізації кількості та руйнівної сили надзвичайних ситуацій природного характеру призводить до порушень нормальних умов життєдіяльності суспільства, які характеризуються значними соціально-економічними наслідками [1 – 9].



**Рис. 2.** Відсоткове співвідношення середньої кількості основних НС природного характеру за період 1980 – 2005 рр. [3]

Це вказує на необхідність розробки ефективних заходів попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) різної природи. Перспективним напрямком розв’язання цієї проблеми є розробка ефективної системи виявлення небезпечних чинників на етапі їх зародження та впливу на них з метою недопущення виникнення НС. Тому, дана робота є часткою запланованого комплексу наукових досліджень, спрямованих на розробку відповідної системи безпеки. Робота орієнтована на вивчення процесу виникнення та розповсюдження НС літосферного походження, які складають або можуть скласти небезпеку життєдіяльності суспільства, та оцінку ступеню ризику їх негативного впливу на умови нормального функціонування природно-техногенно-соціальної системи (ПТС системи).

Актуальність даній роботі надає факт підвищення за останнє десятиріччя сейсмічної активності земної кулі. Динаміка кількості землетрусів за період 2001 – 2011 рр. за даними Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України представлена на рис. 3. Кути нахилу ( $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 36^\circ$ ) ліній трендів змін кількості землетрусів на Землі та їх сумарної енергії свідчить про відносно велике зростання сейсмічної активності на земній кулі. На базі цих даних, у відповідності з характером тренду, наведеного на рис. 3, отримано регресивні моделі зміни кількості та енергії землетрусів, які можна представити наступним чином:

$$n = n_0 + k_n(t - t_0), \quad E = E_0 \cdot 10^{k_E(t-t_0)}, \quad (1)$$

де  $n_0 = 80$ ,  $E_0 = 7 \cdot 10^{14}$  Дж та  $t_0 = 2001$  рік – початкові умови прогнозу за кількістю, енергією землетрусів та часом;  $k_n = 20 \text{ рік}^{-1}$  – показник швидкості збільшення кількості землетрусів за рік;  $k_E = 0.37 \text{ рік}^{-1}$  – показник швидкості збільшення енергії землетрусів впродовж року.

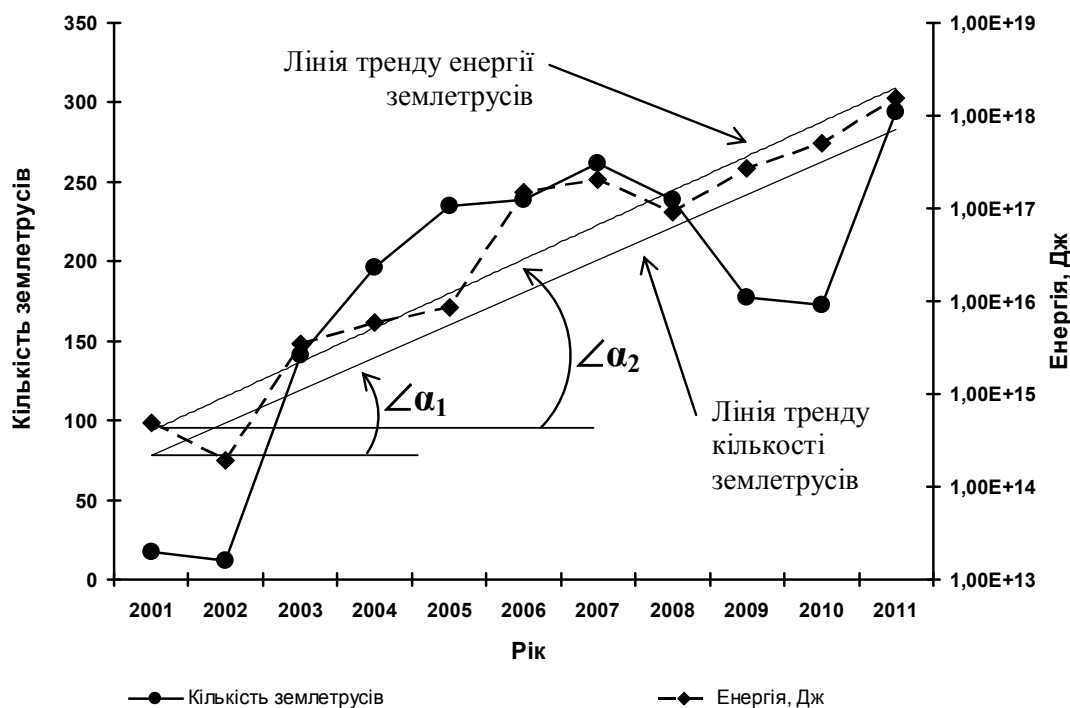


Рис. 3. Динаміка кількості землетрусів на Землі з магнітудою  $M \geq 6$  та розрахованої їх енергії (представлено за логарифмічною шкалою) у період 2001 – 2011 рр.

Якщо тенденція збільшення кількості землетрусів і їх сумарної енергії буде зберігатись, то відповідно до представленого підходу, можна надати результати прогнозу динаміки збільшення сейсмічної активності на земній кулі у 2012 – 2022 рр., які наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Результати прогнозу динаміки виникнення кількості землетрусів і їх сумарної енергії на земній кулі у період 2012 – 2022 рр.

Рік	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
n	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
E, Дж	$8,2 \cdot 10^{18}$	$1,9 \cdot 10^{19}$	$4,5 \cdot 10^{19}$	$1,1 \cdot 10^{20}$	$2,5 \cdot 10^{20}$	$5,8 \cdot 10^{20}$	$1,4 \cdot 10^{21}$	$3,2 \cdot 10^{21}$	$7,5 \cdot 10^{21}$	$1,8 \cdot 10^{22}$	$4,1 \cdot 10^{22}$

**Аналіз останніх досліджень.** Процеси, що впливають на стан сейсмічної безпеки функціонування ПТС системи, можна схематично представити як на рис. 4 й охарактеризувати наступними факторами.

1. У процесі переміщення літосферних плит виникають внутрішні пружні напруження, які являють собою осередки землетрусів  $Z_0$  [10 – 14]. Глибина виникнення пружного напруження залежить від переміщення плит. Відносний рух літосферних плит призводить до виникнення неглибоких осередків землетрусів, а занурення літосферних плит провокує появу осередків глибоких землетрусів. Збільшення відстані від розділу літосферних плит характеризується зменшенням ймовірності виникнення пружних напружень;

2. Факторами поширення небезпеки від землетрусу  $Z_0$  виступають поверхневі й об'ємні сейсмічні хвилі [12, 14, 15];

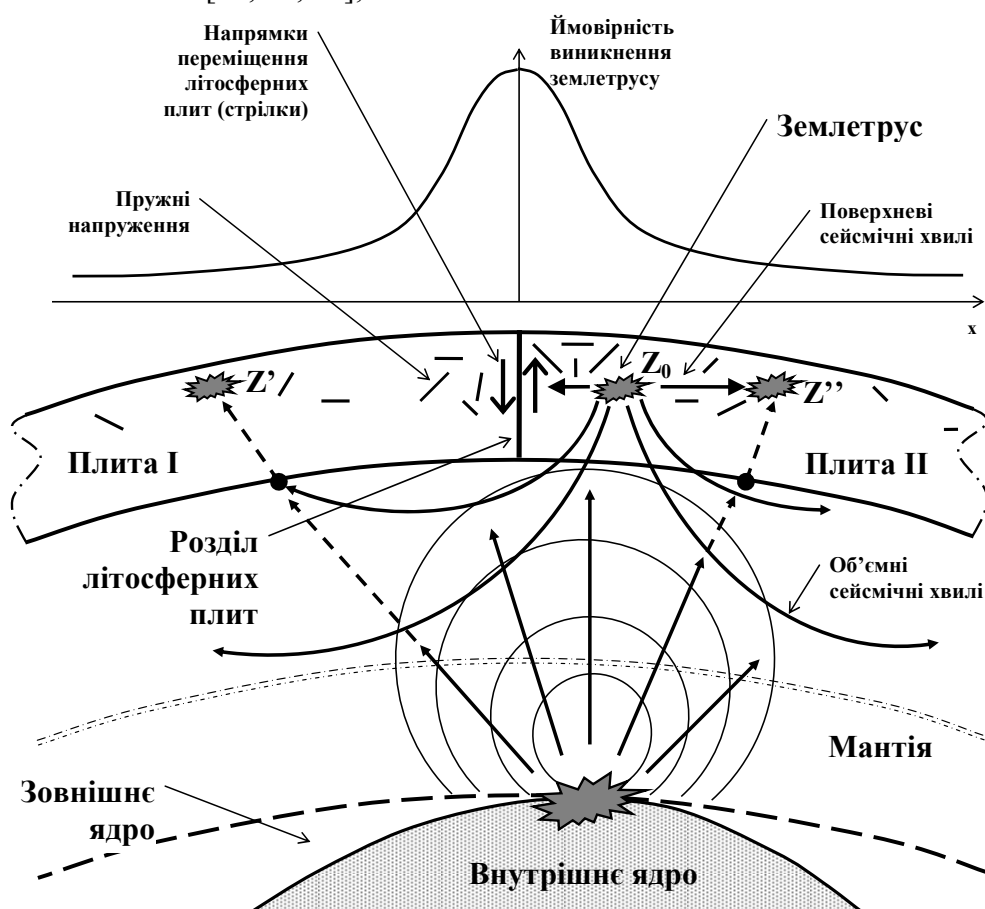


Рис. 4. Схема процесу виникнення землетрусів і поширення сейсмічної активності

3. У процесі коливального просторового переміщення внутрішнього ядра Землі та його впливу на зовнішнє ядро виникає суттєва вірогідність взаємного посилення об'ємних хвиль з виходом на поверхню тектонічної плити як вторинного землетрусу  $Z'$  поза зоною розділу літосферних плит [16 – 18];

4. Не виключена можливість впливу поверхневих і об'ємних сейсмічних хвиль на інші напруження в літосфері, які виникли в околиці землетрусу та провокування ланцюгової реакції поширення сейсмічної небезпеки  $Z''$  [19].

Аналіз наукової літератури з глибиною пошуку понад десять років вказує, що серед низки напрямків наукових досліджень по вивченню тектонічних процесів (рис. 1) інтерес набувають дослідження, спрямовані на вивчення причин виникнення сейсмічної небезпеки від коливально-просторового переміщення внутрішнього ядра Землі та його впливу на оболонку земної кулі [16 – 18]. Це визначає мету роботи.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Метою даної роботи є розвиток уявлень про виникнення надзвичайних ситуацій тектонічного походження в умовах прояву енергетичних коливань ядра Землі, з метою використання цих результатів для оцінки сезонних коливань ступеню ризику сейсмічної небезпеки, які необхідні для формування комплексної системи попередження НС.

Для оцінки рівня сейсмічної небезпеки величину ризику ( $R_{НССейсм.}^{ПТС}$ ) небезпеки функціонування ПТС системи можна представити функціоналом:

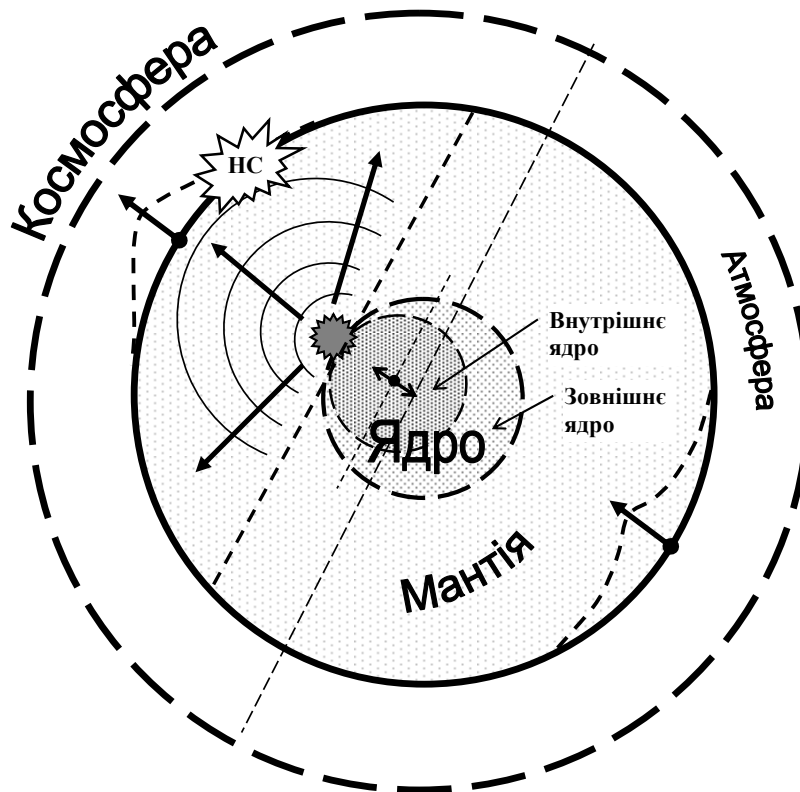
$$R_{НССейсм.}^{ПТС} = \psi(F_{НССейсм.}, U_{НССейсм.}^{ПТС}), \quad (2)$$

де  $F_{НССейсм.}$  – частота виникнення сейсмічної небезпеки;  $U_{НССейсм.}^{ПТС}$  – збиток ПТС системи в умовах прояву сейсмічної небезпеки.

Далі у роботі проведена оцінка сезонної зміни частоти виникнення сейсмічної небезпеки, як одного із факторів величини ризику небезпеки функціонування ПТС системи.

Основні причини, що впливають на частоту виникнення сейсмічної небезпеки, мають природні зв'язки з фізико-хімічними процесами, які протікають в надрах Землі [16 – 18].

Так, висловлені у роботі [16] уявлення про зв'язок сейсмічної активності на земній кулі з процесами в її надрах вказують на те, що у результаті ексцентричного обертання оболонки Землі довкола зміщеного ядра виникає тиск з боку твердого внутрішнього ядра та навколишнього розплаву (зовнішнього ядра) на мантію, який видавлює оболонку зсередини. У інших областях планети виникають сили, які стискають оболонку кулі, втягуючи її всередину до ядра (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема впливу коливань внутрішнього ядра на сейсмічну активність

Процес впливу на мантію й оболонку Землі має дві складові, а саме:

– вплив за рахунок річного переміщення центру ядра відносно центру земної кулі (рис. 6);

– вплив за рахунок ексцентричного обертання ядра відносно нижньої мантії, де за рахунок різниці в кутових швидкостях обертання ядра й нижньої мантії виникнуть зони підвищеного тиску й розрядки. Існування цих зон буде підтримуватися до тих пір, доки існує різниця в кутових швидкостях обертання та зміщення ядра.

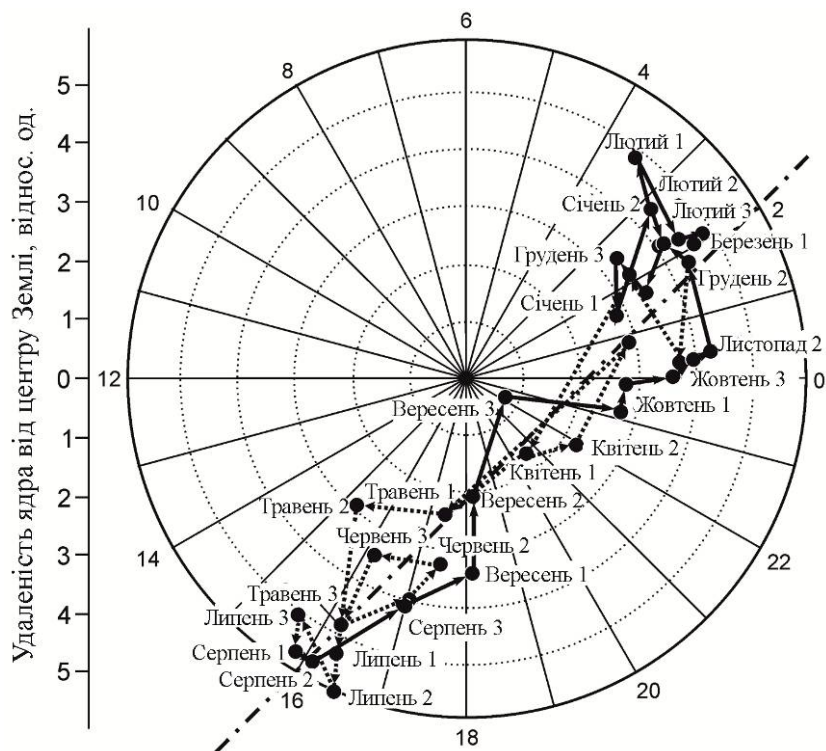


Рис. 6. Траєкторія руху центру внутрішнього ядра усередині Землі протягом року (вид з боку полюсу) [16]

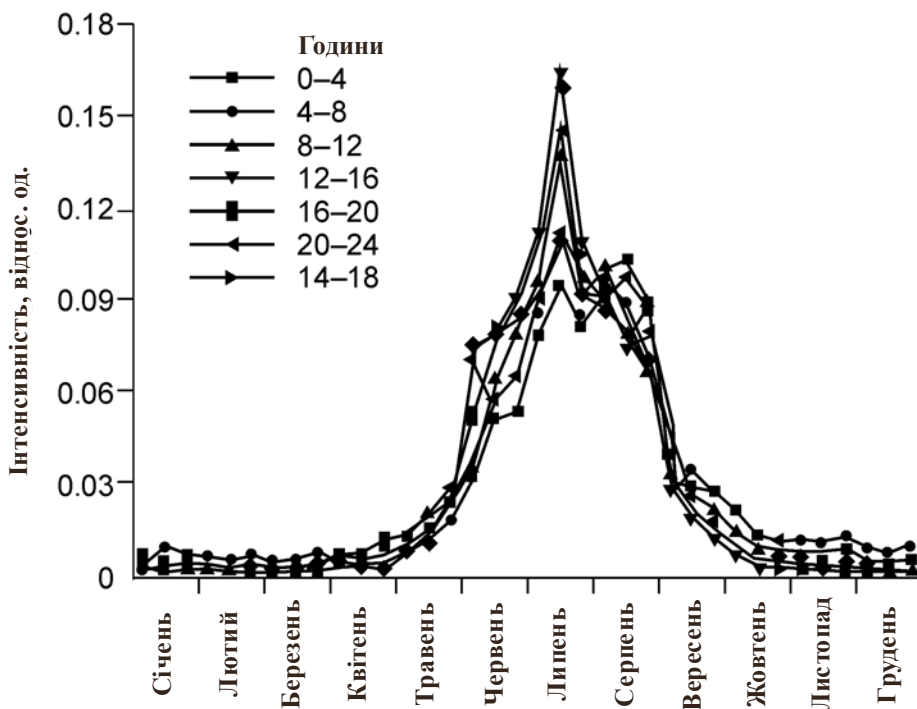


Рис. 7. Варіації інтенсивності природних імпульсних електромагнітних полів Землі, які усереднені та пронормовані за різні часові відрізки доби у період 1997 – 2004 рр. [16, 17]

У відповідності з рис. 6 траєкторія руху ядра несиметрична відносно геометричного центру Землі. Так, найбільше зміщення ядра відносно центру спостерігається у липні – серпні та у лютому, причому зміщення літом перевищує зміщення у лютому.

Результати такого руху ядра мають зв'язок з варіаціями природних імпульсних електромагнітних полів Землі (ПЕМПЗ), представлених на рис. 7, та сейсмічністю [16 – 18].

З метою визначення впливу руху ядра земної кулі на ступінь сейсмічної небезпеки, наведені результати статистичного аналізу помісячного прояву землетрусів за 2001 – 2011 рр. у відповідності з даними про сейсмічну активність, представленими Головним центром спеціального контролю. Результати аналізу наведено у вигляді графічних залежностей на рис. 8 – 18.

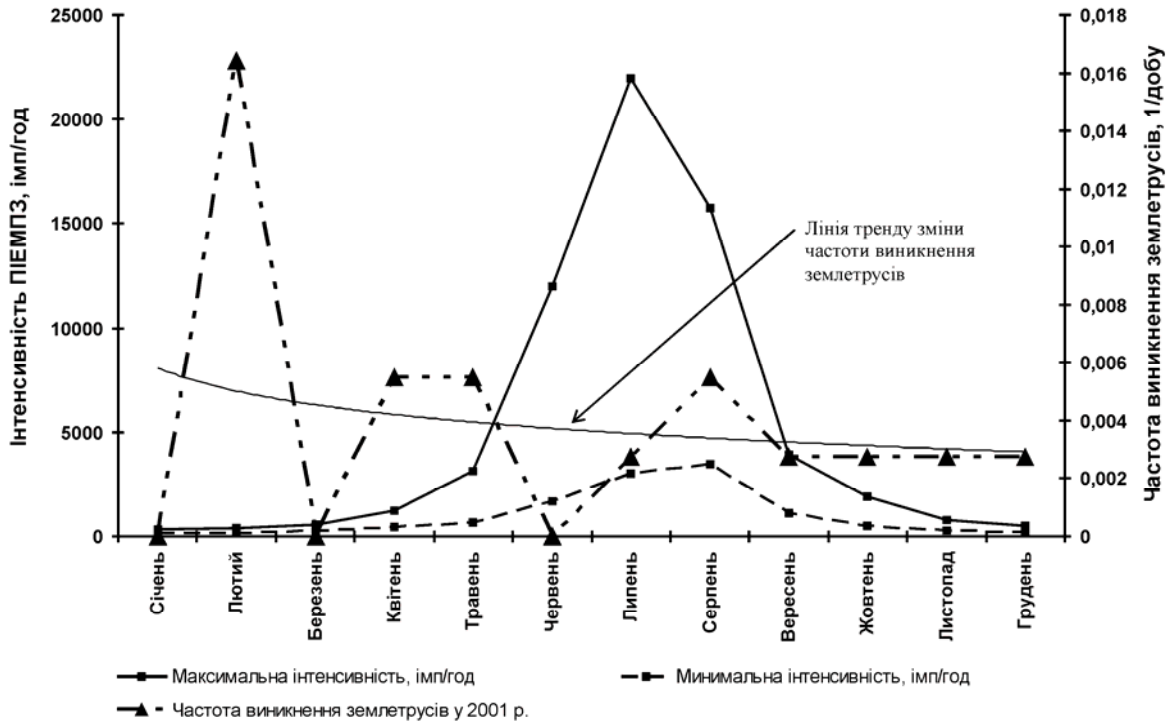


Рис. 8. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2001 р.

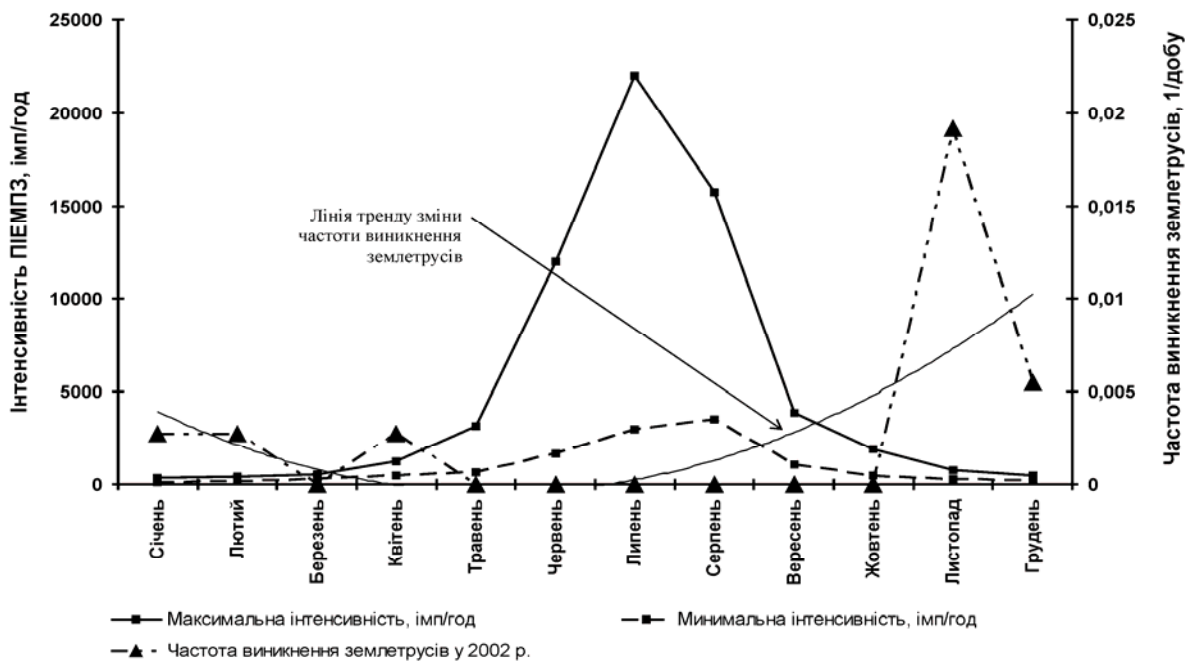


Рис. 9. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2002 р.

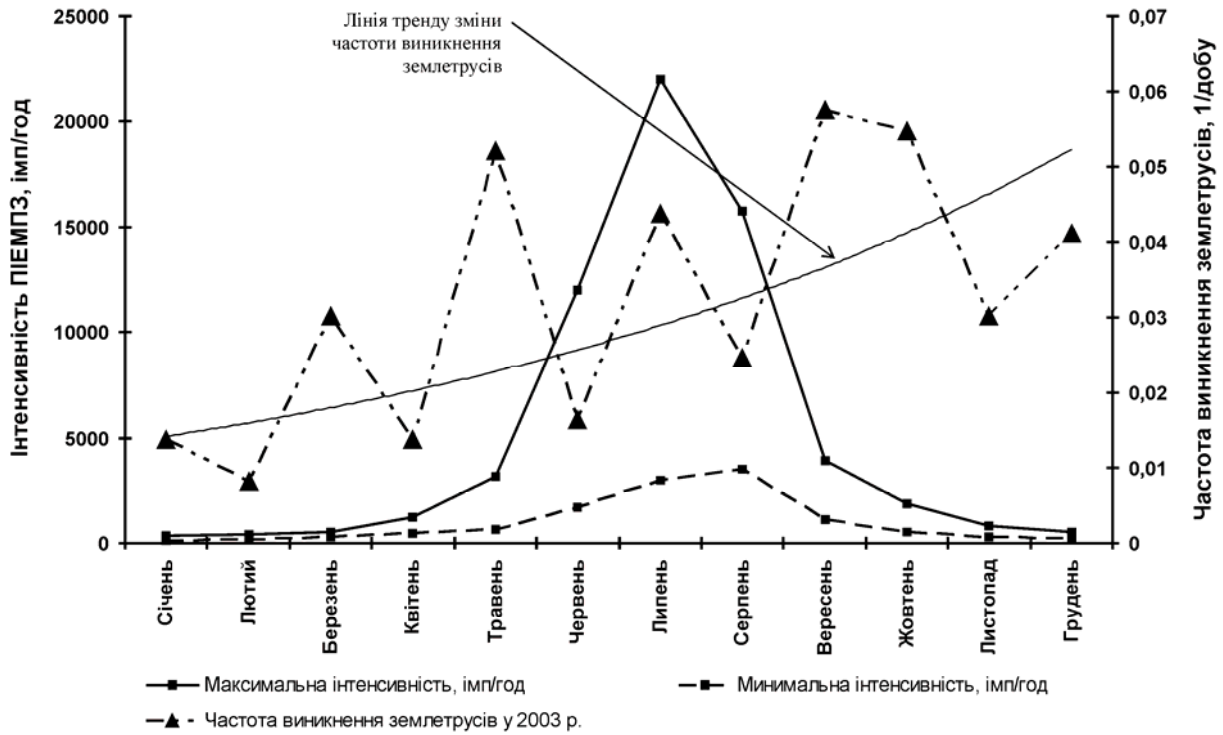


Рис. 10. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2003 р.

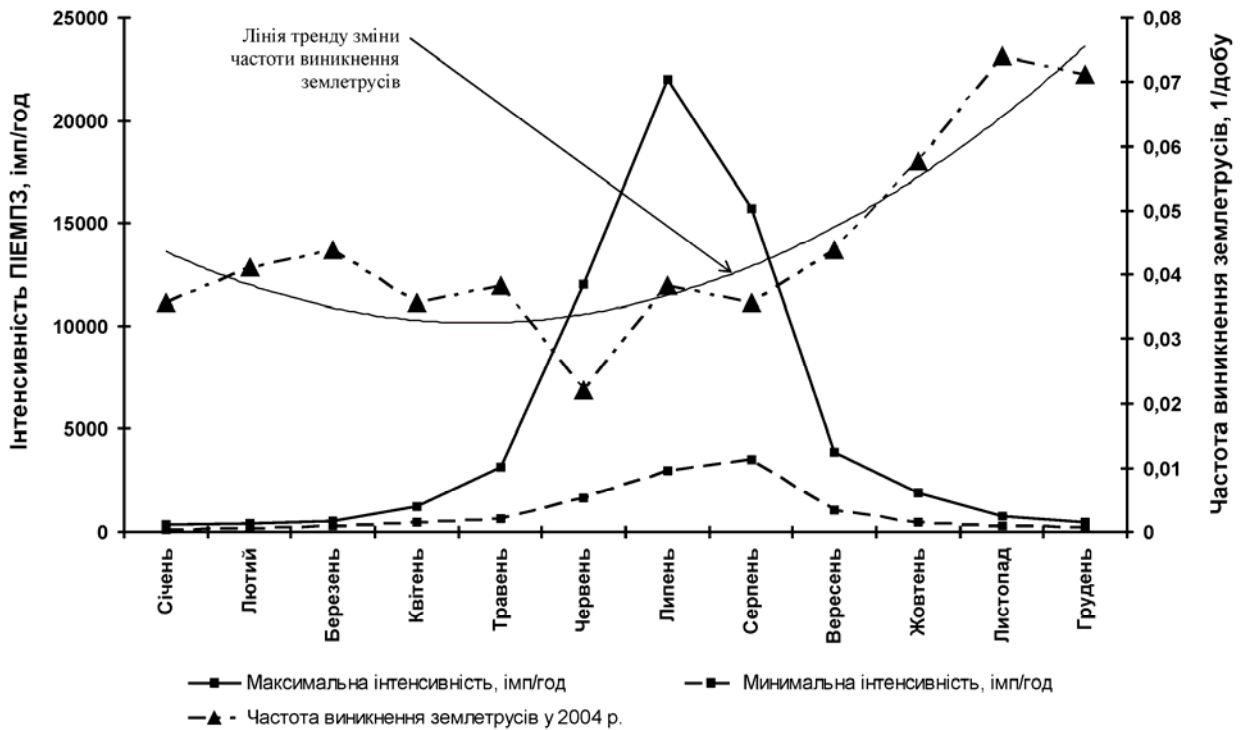


Рис. 11. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2004 р.



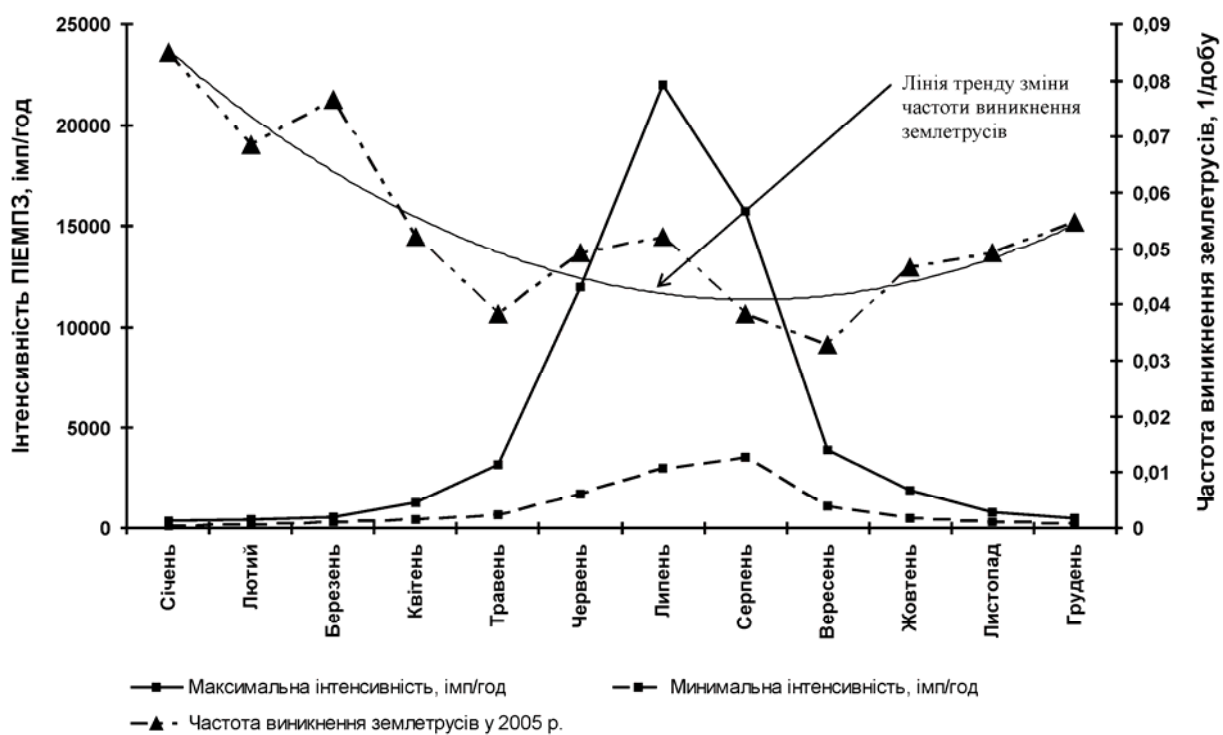


Рис. 12. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2005 р.

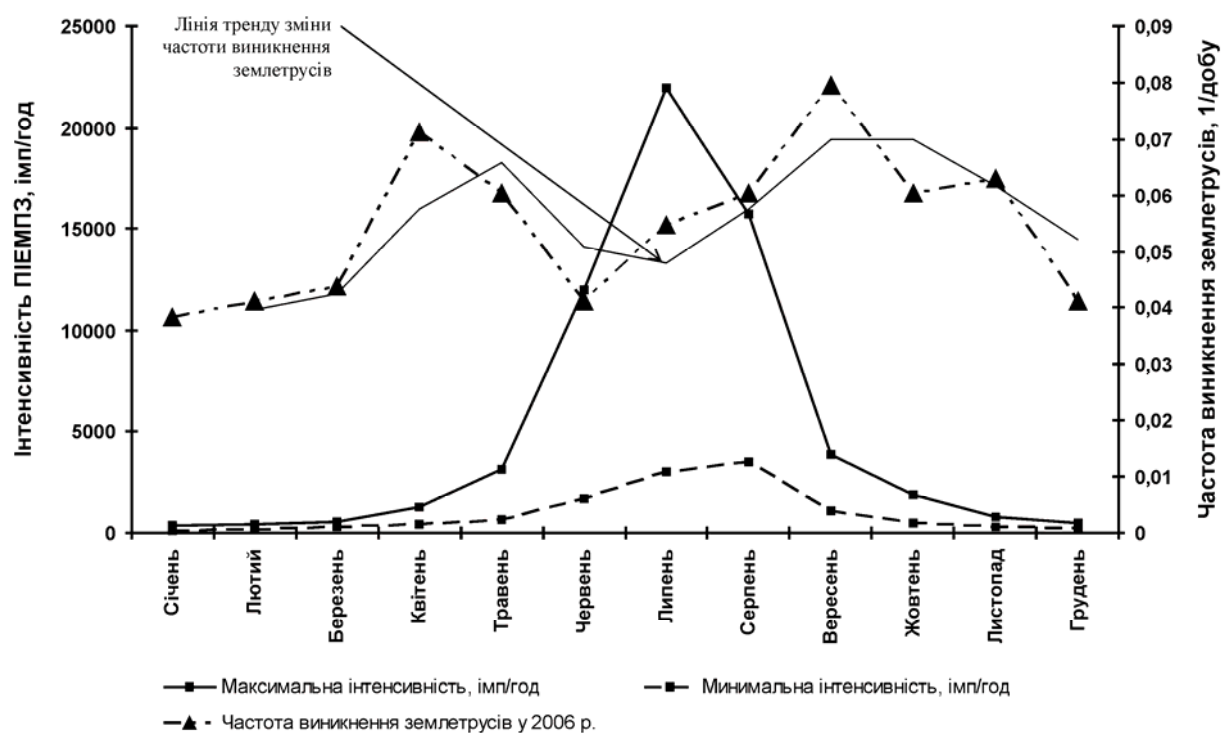


Рис. 13. Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2006 р.

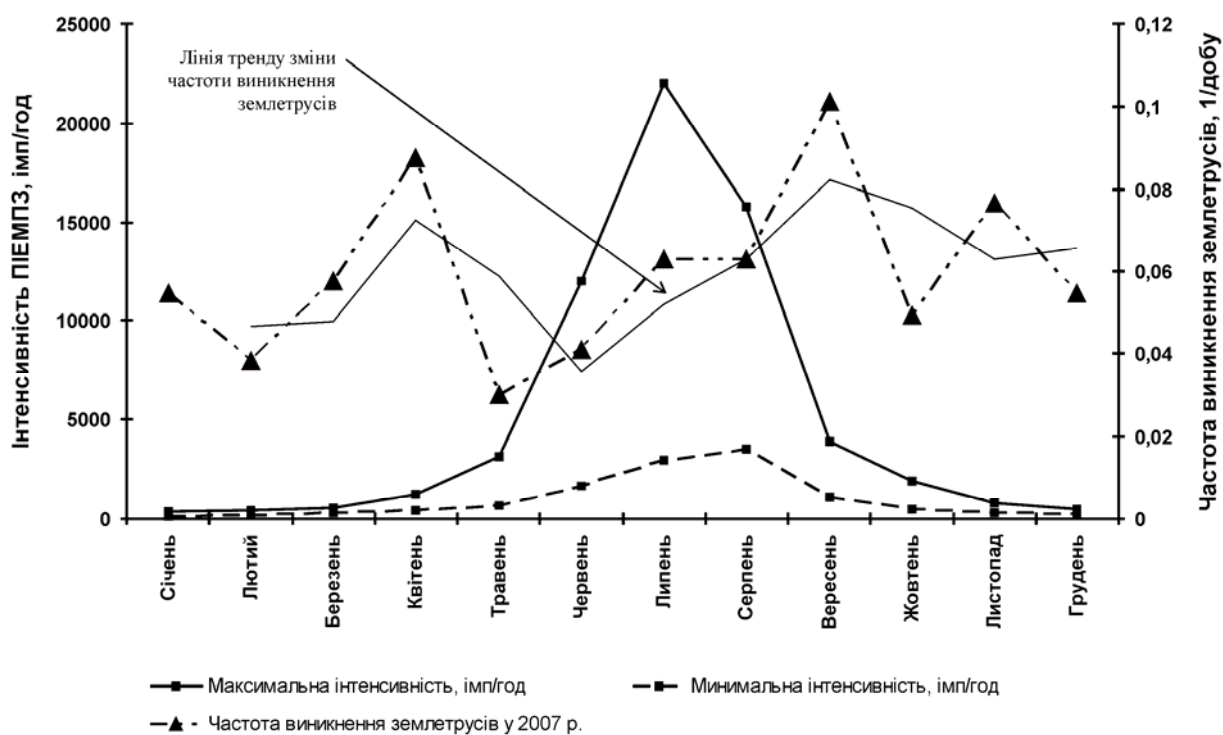


Рис. 14. Помісячні варіації інтенсивності ПІЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2007 р.

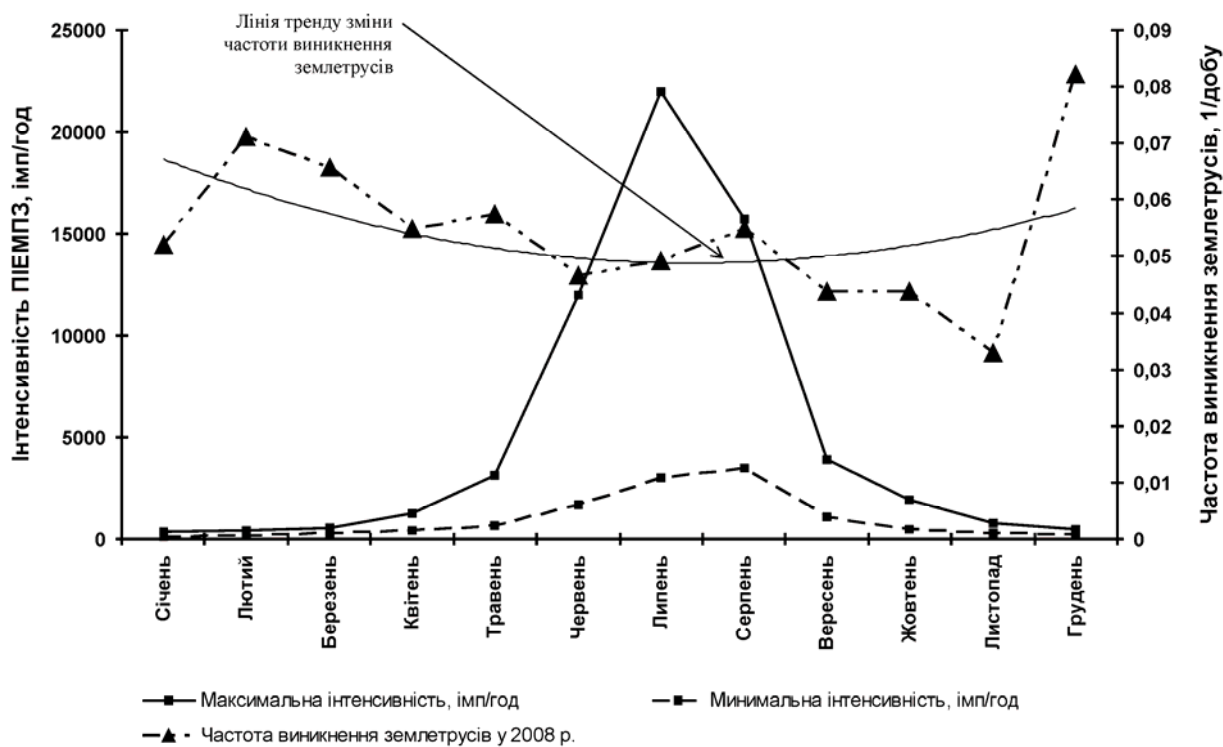


Рис. 15. Помісячні варіації інтенсивності ПІЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2008 р.

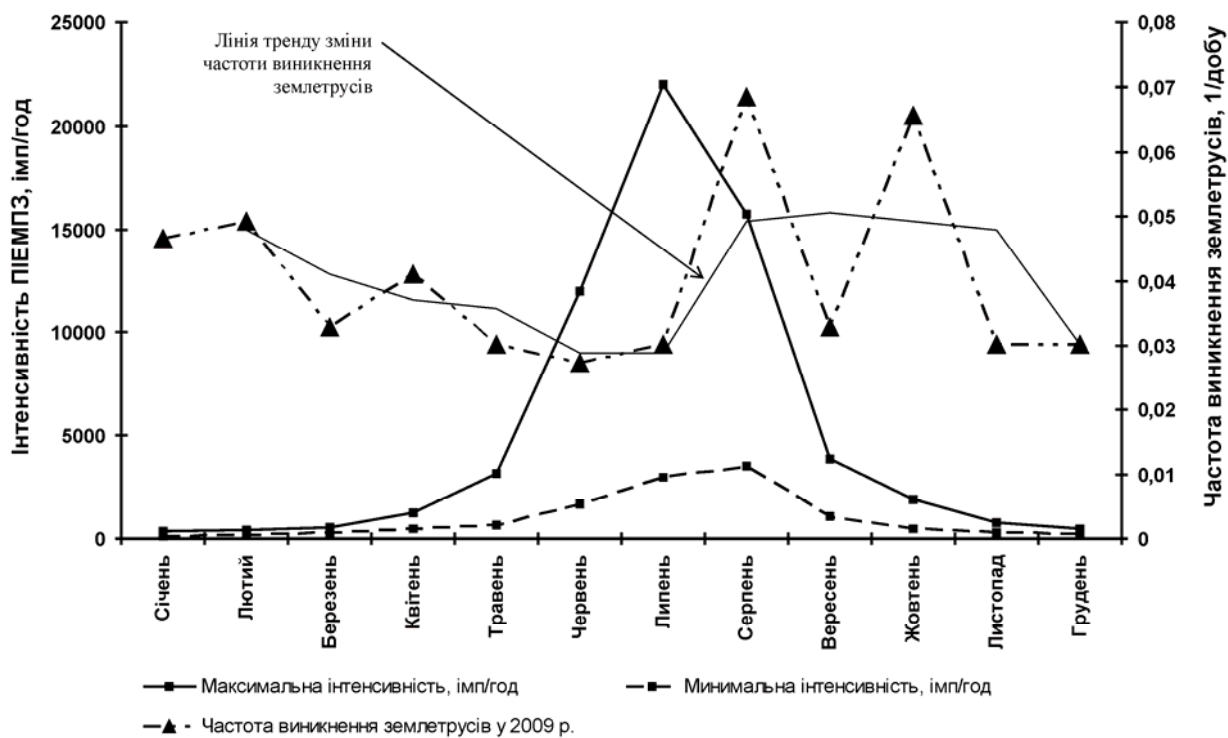


Рис. 16. Помісячні варіації інтенсивності ПІЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2009 р.

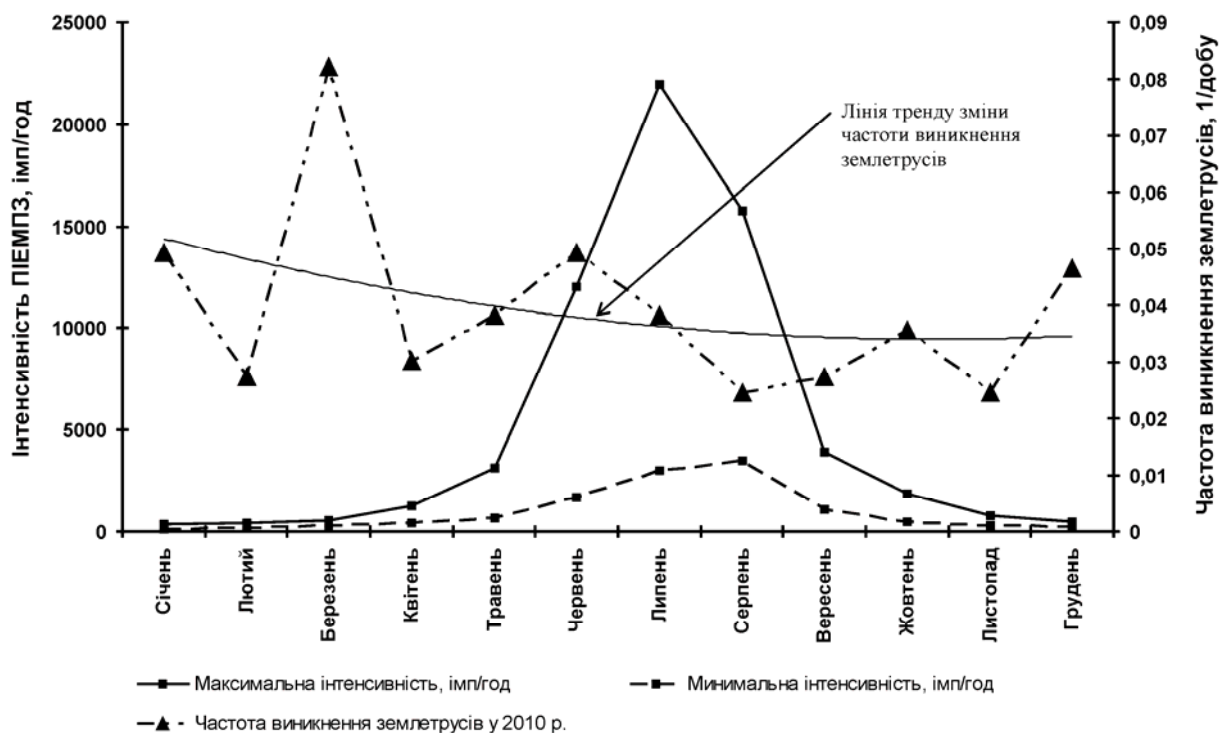


Рис. 17. Помісячні варіації інтенсивності ПІЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2010 р.

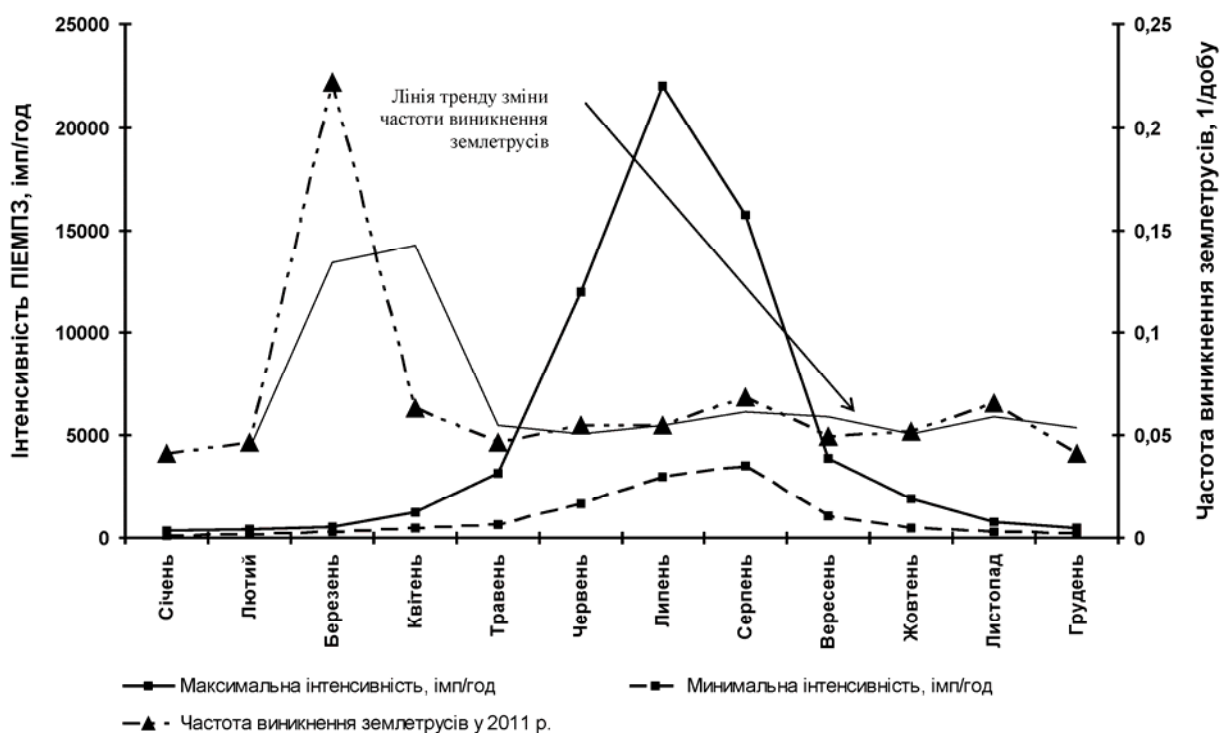


Рис. 18. Помісячні варіації інтенсивності ПІЕМПЗ і частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  у 2011 р.

**Обговорення результатів.** Результати проведеного помісячного аналізу рівня сейсмічної активності за 2001 – 2011 рр. вказують на існування хвилеподібних варіацій частоти виникнення землетрусів на земній кулі у діапазоні  $0 - 0,22$  доба<sup>-1</sup>, який можна умовно розділити на декілька піддіапазонів, характерних для різних часових інтервалів існування планети.

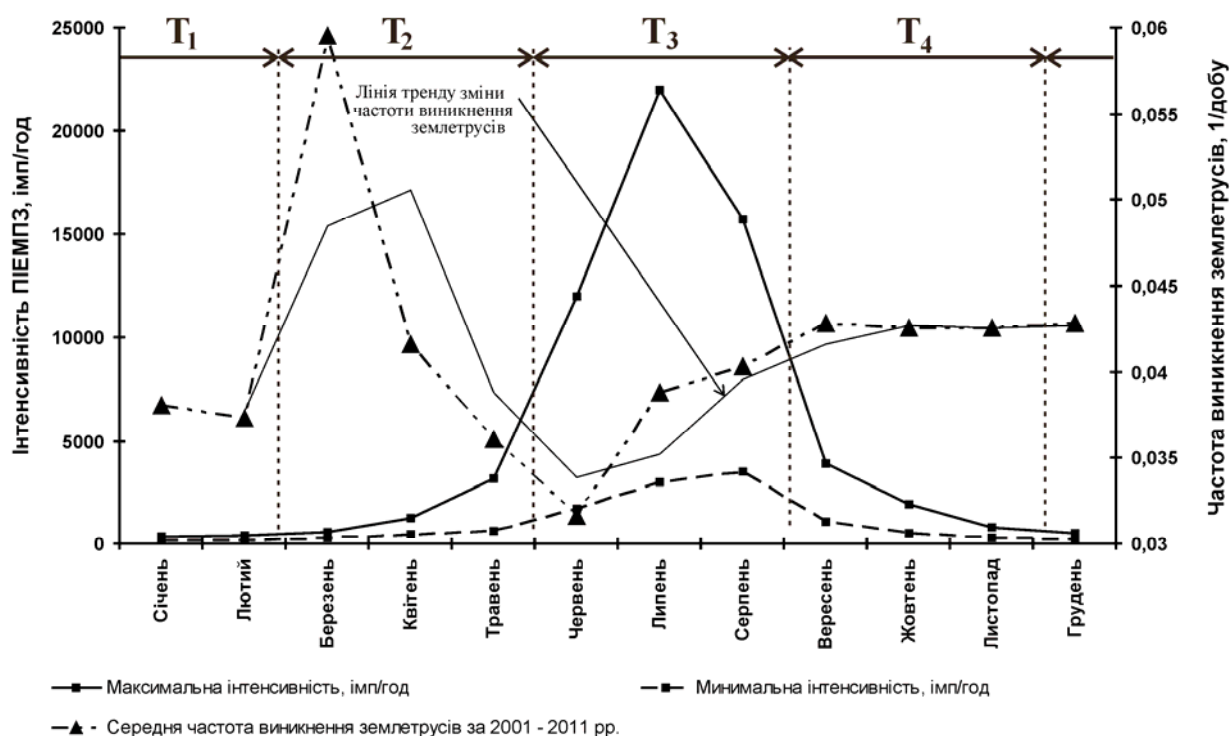
Так, варіації сейсмічної активності у 2001 і 2002 рр. знаходяться у діапазоні  $0 - 0,02$  доба<sup>-1</sup>, що відповідає найменшому ступеню сейсмічної активності на планеті (рис. 8, 9).

Перехідним періодом є 2003 р., коли спостерігається зростання частоти виникнення землетрусів до рівня  $0,02 - 0,09$  доба<sup>-1</sup>. Цей рівень небезпеки відповідає періоду 2004 – 2011 рр., який можна вважати періодом середньої інтенсивності прояву землетрусів (рис. 10 – 18).

Стан підвищеної небезпеки є епізодичним явищем, де показник сейсмічної небезпеки знаходиться на рівні більшому за значення  $0,1$  доба<sup>-1</sup>. До цих явищ можна віднести події у берегів Японії у березні 2011 р. (рис. 18) [20].

Далі в обговоренні, з метою розвитку уявлень про кінетику процесів виникнення та розвитку НС тектонічного походження, розглянуті питання аналізу характеру варіацій сейсмічної активності та фізико-хімічного осмислення цих процесів, на основі поєднання на рис. 8 – 18 даних про коливання природного імпульсного електромагнітного поля Землі (рис. 7), які були представлені у публікаціях співробітників Інституту моніторингу кліматичних і екологічних систем СВ РАН (м. Томськ) [16 – 18], та отриманих Головним центром спеціального контролю (<http://www.nkau.gov.ua>) даних про землетруси на земній кулі.

Аналіз цих графічних результатів дозволяє констатувати факт протилежної зміни активності одного явища відносно іншого. Цей факт більш наглядно підтверджується на результатах усереднення за 2001 – 2011 рр. частоти виникнення землетрусів, які представлені на рис. 19 та узагальнені у табл. 2, з результатами розрахунків помісячних варіацій інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі.



**Рис. 19.** Помісячні варіації інтенсивності ПЕМПЗ і середньої частоти виникнення землетрусів з магнітудою  $M \geq 6$  за 2001 – 2011 рр.

Так, у відповідності з рис. 19, сейсмічна активність набуває мінімального рівня у інтервал часу  $T_3$  з червня по липень. У цей період середня частота виникнення землетрусів знаходилась у інтервалі  $0,032 - 0,04$  доба<sup>-1</sup>. Інтенсивність ПЕМПЗ, навпаки, набувала максимального значення у діапазоні 1700 – 22000 імп/год. Інші часові періоди ( $T_1$ ,  $T_2$  і  $T_4$ ) характеризуються протилежною картиною інтенсивності прояву цих явищ.

З іншого боку, автори робіт [16 – 18] висувають гіпотезу про єдність причин прояву цих явищ, пов'язуючи їх з природою переміщення ядра відносно центру Землі та виникнення різниці у швидкостях обертання ядра й оболонки земної кулі.

**Таблиця 2.** Діапазони варіації інтенсивності ПЕМПЗ і середньої частоти виникнення землетрусів за 2001 – 2011 рр.

Часові інтервали	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
Інтенсивність ПЕМПЗ, імп/год	145 – 505	195 – 1250	1700 – 22000	300 – 3900
Середня частота виникнення землетрусів, доба <sup>-1</sup>	0,037 – 0,043	0,037 – 0,06	0,032 – 0,04	0,042 – 0,043

У розвиток висунутої гіпотези та на основі отриманих результатів, які представлені на рис. 8 – 19, необхідно вказати на наступне.

Коливально-обертальний рух ядра при збільшенні відстані від центру земної кулі має більш впливовий вклад у протікання природних процесів, що обговорюються. При цьому, цей вплив має різні наслідки.

При наближенні центра ядра до поверхні земної кулі природне електромагнітне поле Землі отримує додаткову енергію, що збільшує його інтенсивність у літні місяці (рис. 6,7).

Вплив же руху ядра на тектонічні процеси має, навпаки, протилежні особливості. Так, збільшення тиску ядра на літосферні плити у одній зоні земної кулі та зменшення у іншій (рис. 4, 5) призводить до «зчеплення» літосферних плит. Наслідком цього є зменшення відносної рухомості літосферних плит і фіксування процесів збільшення пружних напружень у літосфері, що призводить до зменшення сейсмічної активності, а відповідно й ризику сейсмічної небезпеки у літні місяці. Інші сезонні коливання ядра Землі мають менший тиск на літосферні плити, що призводить до збільшення середньої частоти виникнення землетрусів. Існування цього явища має підтвердження за результатами порівняльного сезонного аналізу інтенсивності ПЕМПЗ і сейсмічної активності за період 2001 – 2011 рр., які відображені на рис. 19 та узагальнені у табл. 2.

Крім того, рух ядра, можливо, впливатиме на умови поширення й інтерференцію сейсмічних хвиль. Цей процес може призвести як до підсилення сейсмічної хвилі у одній точці планети, так і до зменшення у іншій, тому цей напрямок досліджень є темою окремих досліджень.

### **Висновки**

1. Описано єдиний механізм впливу енергетичних коливань ядра земної кулі на інтенсивність природного імпульсного електромагнітного поля Землі та нестабільність у сейсмічно небезпечних регіонах.

2. На основі представленого механізму впливу енергетичних коливань ядра земної кулі на природне імпульсне електромагнітне поле Землі та сейсмічну нестабільність і на основі аналізу експериментальних даних помісячної інтенсивності цих природних явищ, встановлено протилежну залежність інтенсивності прояву цих явищ.

3. На основі отриманих результатів, встановлено зменшення у літній період інтенсивності землетрусів, а відповідно і ступеня ризику сейсмічної небезпеки, в умовах наближення центра ядра до поверхні земної кулі та збільшення інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі. В інші пори року спостерігається протилежна картина.

1. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.

2. Баришполец В.А. Системный анализ катастроф, происходящих в мире / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2010. – Т. 2., № 1 – 2. – С. 162 – 176.

3. Баришполец В.А. Анализ глобальных экологических проблем / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3., № 1. – С. 79 – 95.

4. Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В.И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11 – 12 (96 – 97). – С. 5 – 15.

5. Биченок М.М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні / М.М. Биченок, О.М. Трофимчук – К.: РНБОУ, 2002. – 153 с.

6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>

7. Тютюник В.В. Оцінка індивідуальної небезпеки населення регіонів України в умовах надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко, О.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2009. – Вип. 9. – С. 146 – 157.

8. Тютюник В.В. Аналіз факторів, які провокують виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011. – Вип. 4(94). – С. 280 – 284.

9. Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Вып. 1/6 (55). – С. 59 – 70.
10. Райс Дж.. Механика очага землетрясения / Дж. Райс. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
11. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
12. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницен. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
13. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд. – Королев: ЦНИИМаш, 2007. – 160 с.
14. Березняков А.І. Фізика Землі / А.І. Березняков, К.А. Немець. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – 268 с.
15. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны / Е.Ф. Саваренский. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
16. 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.
17. МПК G01V3/00 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. – Пат. № 2352961, Российская Федерация, опубл., 20.04.2009
18. МПК G01V3/00 Способ прогноза землетрясений / Ю.П. Малышков, К.Б. Джумабаев, С.Ю. Малышков [и др.] // Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Пат. № 2238575, Российская Федерация, опубл. 20.10.2004
19. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры / К.В. Пшенников. – М.: Наука, 1965. – 87 с.
20. Левин Б.В. Великое Японское землетрясение / Б.В. Левин, М.В. Родкин, И.Н. Тихонов // Природа. – 2011. – № 10. – С. 14 – 22.

**В.В. Тютюник, В.Д. Калугин, Л.Ф. Черногор**

**ОЦЕНКА РИСКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННО-СОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ**

*Предложен подход для оценки риска функционирования природно-техногенно-социальной системы в условиях сезонных колебаний сейсмической активности, что приводит к значительным социально-экономическим и экологическим последствиям.*

**V. V. Tyutyunik, V.D. Kalugin, L.F.Chernogor**

**ASSESSMENT OF RISK OF FUNCTIONING OF NATURAL AND TECHNOGENIC AND SOCIAL SYSTEM AT SEASONAL FLUCTUATIONS SEISMIC ACTIVITY**

*The approach for an assessment of risk of functioning of natural and technogenic and social system in the conditions of seasonal fluctuations of seismic activity that leads to considerable social and economic and ecological consequences is offered*