

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ФІЗИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЙСМІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЩО РОЗВИВАЄТЬСЯ, З АНОМАЛЬНИМИ ЗМІНАМИ МАГНІТНОГО І ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛІВ У ВЕРХНІЙ АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ**

*Для ефективного використання ефекту аномальної зміни електричного і магнітного полів у верхній атмосфері, як передвісник майбутнього землетрусу, необхідно знати фізичні особливості зародження і прояву даних аномалій, які до сьогоднішнього моменту часу вивчені в недостатньому ступені. У статті приводиться обґрунтування фізичного зв'язку сейсмічного процесу, що розвивається, з аномальними змінами магнітного і електричного полів у верхній атмосфері Землі.*

### **Постановка проблеми**

Всякий землетрус виникає унаслідок раптового виділення значної кількості енергії в деякому об'ємі усередині Землі. Як правило, при цьому в деякій області в тілі Землі відбуваються руйнування і інші незворотні процеси, зв'язані з деформацією земної кори.

Стихійні явища, і землетруси зокрема, неминучі. Їх не можна запобігти, але зменшити їх руйнівний вплив можна і потрібно. За своїми руйнівними наслідками, кількості жертв, матеріальному збитку землетрусу займають одне з перших місць серед других видів природних катастроф. За даними Національного Центру Інформації про землетруси США (NEIC), протягом ХХ століття (з 1900 по 1999 рр.) на Землі відбулося 2000 землетрусів з магнітудою рівною і більше 7,0. Людські втрати від землетрусів ХХ століття склали 1,4 млн. чол.

В даний час у всьому світі провідні вчені в області сейсмології, геофізики і радіофізики ведуть інтенсивні роботи з пошуку найбільш оперативних і достовірних передвісників землетрусу. До основних вимог, що пред'являються до передвісників майбутнього землетрусу, відносяться:

ясний фізичний сенс прогностичних ознак;

фізичне обґрунтування зв'язку кожної прогностичної ознаки з процесом підготовки землетрусу;

можливість отримання оцінок ретроспективних статистичних характеристик кожного передвісника, вірогідність успішних прогнозів (вірогідність правильного виявлення), вірогідність помилкових тривог, прогностичній ефективності (інформативності) і тому подібне

Необхідність обґрунтування фізичного зв'язку кожної прогностичної ознаки з процесом підготовки землетрусу призвело до необхідності розвитку теоретичних передумов для обґрунтування фізичного зв'язку сейсмічного процесу з різними ефектами, що виникають в навколоземному просторі.

### **Аналіз останніх досліджень**

Узагальнення наукових спостережень, проведених вітчизняними і зарубіжними фахівцями, дає можливість скласти схему тимчасового розвитку деяких явищ, що супроводжують прояв сейсмічної активності, а саме:

за багато днів до головного удару починають реєструватися збурення геомагнітного поля;

далі з'являються збурення атмосферного електричного потенціалу;

за декілька днів до землетрусу починають реєструватися зміни параметрів нижньої іоносфери, відбуваються зміни величини електронній концентрації ( $N_e$ ), з'являється деформація нижнього краю іоносфери;

за декілька днів або годин спостерігаються варіації - збільшення амплітуди природного імпульсного електромагнітного поля Землі;

за десятки хвилин або годин з'являються геомагнітні пульсації;

за десятки хвилин або годин збільшується інтенсивність електромагнітного випромінювання на супутникових висотах.

У [1] наголошується, що реєстровані перед землетрусами на фоні нормального або близького до нього атмосферного електричного поля, аномальні зміни напруженості електричного поля  $E$  формою можна розділити на два основні типи:

- аномалії першого типу мають "бухтоподібну" негативну форму;

- аномалії другого типу - форму пакету коливань з деяким набором частот.

У цій же роботі [1] констатуються факти встановлення механізмів утворення цих аномалій: відповідно - квазістатичний газоелектричний і динамічний п'єзоелектричний. Перший механізм пов'язаний із збільшенням вмісту в приземному повітрі основного природного іонізатора  $^{222}\text{Rn}$ , в результаті збільшується його потік з поверхні землі і виникнення в атмосфері явища утворення негативного об'ємного електричного заряду ("реверс електродного ефекту"). Другий механізм пов'язаний із сукупністю існуючих односторонніх і зворотно-поступальних рухів сторін розломів, які супроводжуються п'єзоелектричними перетвореннями енергії і появою в зоні розлому відмінного від нуля сумарного електричного моменту. Причиною виникнення обох механізмів утворення аномалій  $E$  є посилення деформації приповерхневих шарів земної кори в зоні підготовки землетрусу.

Фахівці вже декілька десятиліть реєстрували інтенсивні електричні поля в атмосфері над поверхнею землі в сейсмоактивних областях, що виникають за декілька діб або годин до підземного поштовху. Існують також зміряні дані про еманіцію радону і аерозолів з високим вмістом металу в сейсмоактивній області над вогнищем майбутнього землетрусу. Фіксували вчені і локальні зміни параметрів іоносфери в області над епіцентром майбутнього землетрусу, які з'являються за декілька діб до поштовху і зникають після нього. Стверджується, що радон і аерозолі з високим

вмістом металу, які є джерелом іонізації, породжують хмару електричного заряду на деякій висоті над поверхнею землі. Електричне поле над цією хмарою посилюється і його величина може досягати до 1–2 кВ/м.

У [2] наголошується, що при супутникових вимірюваннях напруженості електричного поля  $E$  були отримані наступні результати – при кожному перетині супутником магнітної трубки, що проходить через зону майбутнього землетрусу (у Південній півкулі, потім в Північній), спостерігався сплеск електричного поля з амплітудою біля 5–8 мВ/м.

Було також відмічено, що деякі сплески  $E$  відмічаються не тільки над районом землетрусу, що насувається, але і в магнітоспряженій з ним області.

З ІСЗ «Інтеркосмос Болгарія 1300» були зафіксовані зміни горизонтальних компонентів магнітного поля  $B_x$  і  $B_y$ , у діапазоні частот 0,1–8 Гц, і вертикальної компоненти квазістатичного електричного поля  $E_z$  за 15 мін до землетрусу, якій відбувся 21.01.1982 р. Географічні координати епіцентру землетрусу: 3,39° п. ш. та 177,43° в. д., глибина 33 км,  $M = 4,8$ . За результатами було встановлено, що вертикальне квазістатичне електричне поле спостерігалось в двох зонах: у 17:38 UT над епіцентром землетрусу і в магнітоспряженій зоні в 17:35 UT. Амплітуда геомагнітних пульсацій, що спостерігалися на частоті близько 1 Гц, була 3 нТ.

Аналіз інформації, отриманої під час серії послідовних прольотів супутника [3], дозволив отримати просторово-часовий розподіл зареєстрованих параметрів. Були зареєстровані варіації магнітної ( $B$ ) і електричної ( $E$ ) компонентів поля шумових низькочастотних випромінювань з виходу каналів спектроаналізатора на частотах 4650, 800, 450 і 140 Гц; зміни концентрації теплової плазми електронної концентрації ( $N_e$ ) і щільності потоку енергетичних електронів з енергіями  $E_e$  від 40 кєВ і більше 100 кєВ. Все це показує різноманіття прояву сейсмічної активності на супутникових висотах в навколосемному космічному просторі.

Проаналізувавши викладені вище дані з вимірювань електричною і магнітною складовою до землетрусу і безпосередньо у момент головного удару, а також твердження, які присвячені механізмам утворення аномалій  $E$  [1], хотілося б відзначити таке:

– залишається невиясненим механізм, яким чином збільшення вмісту в приземному повітрі основного природного іонізатора  $^{222}\text{Rn}$  і збільшення його потоку з поверхні землі може призвести до утворення негативного об'ємного електричного заряду на супутникових висотах;

– яким чином односторонні і зворотно-поступальні рухи сторін розломів, що супроводжуються п'єзоелектричними перетвореннями енергії, можуть призвести до утворення аномалій  $E$  і її пульсації в магнітоспряженій області.

Дійсно, при утворенні тріщин виникають перерозподіли зарядів і в тріщинах утворюються значні електричні поля. Накопичення ж локальної внутрішньої напруги в товщі Землі в той період, коли ця напруга ще не доходить до «межі міцності», тобто коли руйнування ще не починаються і коли ще не виникають

тріщини, не можуть призводити до прояву електричних процесів. Прямий п'єзоелектричний ефект виявляється, як відомо, лише в певних анізотропних діелектриках, причому, лише при відповідним чином прикладеній напрузі, що робить маловірогідною реалізацію всіх таких умов в природі. Окрім цього, пульсації  $E$  спостерігалися і до головного удару землетрусу, тобто коли ще не виникають тріщини.

### Методика досліджень

Фізичні процеси, що призводять до появи аномального електричного поля і пульсацій  $E$  складової, на думку автора, можна розбити на три групи:

до першої з них можна віднести “квазірівноважні” перерозподіли зарядів, що викликаються неоднорідністю розподілу  $N_e$  над епіцентральною районом (ці перерозподіли відповідальні за появу аномального електричного поля в навколосемному просторі над епіцентральною районом);

до другої групи віднесемо магнітогідродинамічні механізми появи варіацій магнітного поля, які, у свою чергу, призводять до появи варіацій електричного поля (ця група обумовлена внутрішніми диференціальними рухами тектонічних плит);

до третьої групи віднесемо зміни  $E$  за рахунок потоку електронів з верхньої магнітосфери (ця група відповідальна за додатковий внесок в аномальну складову  $E$  електромагнітного поля).

Зупинимося детальніше на кожній з перерахованих груп.

Перша група фізичних процесів, що призводять до появи аномального електричного поля.

Аналіз багатьох літературних джерел, присвячених вимірюванням  $N_e$  над епіцентральною районом майбутнього землетрусу, свідчить про те, що аномальні варіації повного електронного змісту (ПЕЗ) були виявлені за декілька діб до сильного землетрусу в спокійних геомагнітних умовах, при цьому збільшення ПЕЗ істотно перевищує рівень нормальної змінюваності «день-від-дня».

Так в [4] наголошується, що з аналізу варіацій ПЕЗ аномалія  $N_e$  виявляється у вигляді специфічного підвищення електронної концентрації в добовому ході в денні години. Збільшення ПЕЗ в цей час досягала  $\sim 60-65\%$ , що більш ніж в 2 рази перевищує рівень варіації «день-від-дня» для спокійного періоду часу ( $15-25\%$ ).

Сейсмо-іоносферні передвісники у вигляді варіації щільності іоносферної плазми (відхилення від незбуреного значення) спостерігаються протягом декількох діб – години перед землетрусами з магнітудою  $M > 5.0$  і мають, в основному, амплітуду  $15-25\%$ , а в певні моменти можуть досягати величини  $100\%$ . Спостерігається чітко виражена модифікація ПЕЗ в просторовому масштабі. Аномалія має вид “горбоподібного” підвищення електронної концентрації і носить чітко виражений локальний характер, при цьому область значного підвищення ПЕЗ (понад  $35\%$  ось фонових величин) мала розміри близько  $4000$  км за довготою і  $1500$  км за широтою.

З аналізу представленого просторового розподілу ПЕЗ, в період протікання сейсмічного процесу, природно припустити, що наявність надмірної (або зниженої) електронної концентрації  $N_e$ , по відношенню до фонові  $N_e$ , повинна призвести до появи електричного поля над землею поверхнею. Щільність електричних зарядів, що виникають завдяки відмінності в  $N_e$  над епіцентральною районом і районами, що оточують район майбутнього землетрусу, виявляється залежним в цьому випадку від широти і довготи, а не тільки від висоти над поверхнею Землі. Ця зміна, важливо хоч би вже тому, що електричне поле, породжуване таким розподілом зарядів, захоплює як область над поверхнею епіцентрального району майбутнього землетрусу, так і поза цією областю. Локальне підвищення (втім, як і пониження)  $N_e$  призводить до того, що надмірна щільність енергії електронів в деякій області збільшується, що породжує переходи електронів з цієї області у сусідні. Такий перерозподіл зарядів тільки в одному випадку, коли зберігається центральна симетрія, не призводить до проникнення електричного поля в інші області. У решті всіх інших випадків позитивний заряд, що з'являється в таких локальних областях, і негативні заряди навколишніх областей, куди “видавлюються” електрони, повинні створювати електричне поле.

Розглянемо одну з властивостей плазми – квазінейтральність [5]. Одна з важливих особливостей плазми в тому, що негативний заряд електронів в ній майже точно нейтралізує позитивний заряд іонів. При будь-яких діях на неї плазма прагне зберегти свою квазінейтральність. Якщо в якомусь місці відбувається випадковий зсув (наприклад, за рахунок флуктуації щільності) частини електронів, що створює надлишок електронів в одному місці і недостачу в іншому, в плазмі виникає сильне електричне поле, яке перешкоджає розділенню зарядів і швидко відновлює квазінейтральність. Згідно із законами електростатики, визначити величину електричного поля від розділення зарядів, можна за таким співвідношенням :

$$E = 1,2 \cdot 10^5 q \Delta x, \quad (1)$$

де  $\Delta x$  – товщина шару плазми;

$q = e \Delta N_e$  – щільність об'ємного заряду;

$e$  – заряд електрона;

$\Delta N_e$  – різниця електронної концентрації в шару плазми на довжині  $\Delta x$ .

Розглянемо другу групу фізичних процесів, що повинні сприяти до появи варіацій електричного поля.

Процеси, що протікають в надрах Землі, які зрештою призводять до фізичних ефектів в навколосемному просторі, зокрема виникнення аномальних магнітних і електричних полів; пульсації силових геомагнітних і складової електричного поля та ті градієнти  $N_e$ , які при цьому виникають, можуть бути вельми різноманітними, як за їх тимчасовим протіканням, так і за просторовим

розподілом. Тому неможливо вказати єдину і універсальну карту полів передвісників всіх землетрусів. Проте можна вказати деякі загальні якісні риси цих передвісників - появу поступової і регулярно наростаючої напруженості поля, а потім її різке зменшення.

Таку поведінку геофізичних передвісників землетрусів скрутно пояснити в рамках відомих гіпотез і моделей [6]. Перед землетрусами напруженості полів (повніші дані відносяться до магнітних полів) часто змінюються таким чином: спочатку поле починає зростати, причому, це зростання відбувається поволі і може значно випереджати сейсмічну подію, а безпосередньо перед ним різко спадає. Такий часовий хід нескрутно пояснити, якщо розглянути модель розвитку сейсмічного процесу, засновану на збуреному рівнянні Сінус – Гордона [7] (поступове локальне підвищення внутрішньої напруги, потім її швидке зняття з подальшим зростанням). Таке представлення протікання в часі сейсмічного процесу повинно викликати саме таку картину зміни магнітного (надалі і електричного поля) в часі. Відзначимо, що пояснення такої картини зміни електромагнітних полів за допомогою інших механізмів часто скрутно.

Зв'язок сейсмічного процесу, що протікає, з пульсаціями геомагнітної силової лінії розглядався в [8]. А саме, в припущенні, що силові лінії геомагнітного поля “вморожені” в речовину Землі, а також “вморожені” в іоносферу, рух тектонічних плит призведе до деформації магнітної силової лінії. З моменту часу  $\tau_0 = 0$  (час початку руху тектонічних плит) на малий елемент геомагнітної силової лінії, що знаходиться в надрах Землі, діє сила деформації з боку тектонічних плит, що прийшли в рух. Оскільки є магнітне натягнення (магнітні силові лінії володіють пружністю), магнітні силові лінії прагнуть випрямитися і по силових магнітних лініях, як по струнах, починають розповсюджуватися поперечні хвилі. Вплив механічної взаємодії тектонічних плит, що прийшли в рух, на силове геомагнітне поле робиться при цьому ведучою. Але і пізніше, коли справа вже доходить до руйнувань, значення цього ефекту як джерела полів не скидається з уваги.

Кажучи про пульсації геомагнітної силової лінії, доречно відмітити, що вони часто виглядають статичними, тобто якщо і змінними з часом, то вельми поволі [8]. Аналогічно статичними повинні бути і електричні пульсації, що корелюють з ними.

Електричне поле, таке, що виникає завдяки другій з вказаних груп явищ, найчастіше виступає як вихрове, породжуване змінами магнітного поля, а не безпосередньо зарядами, у відмінності від полів кулонівського типу.

Відповідно до теорії Максвелла, причиною виникнення індукційного струму в провіднику є те, що всяке змінне магнітне поле  $\vec{B}$  порушує в оточуючому середовищі електричне поле  $\vec{E}$  [5]. Індукція вектора напруженості  $\vec{E}$  електричного поля в будь-якому нерухомому замкнутому контурі в диференціальній формі визначається формулою

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2)$$

Згідно із законами електростатики, електромагнітна індукція може також спостерігатися в незамкненому провіднику або діелектрику.

Аномалія електронної концентрації має вид “горбоподібного” підвищення електронної концентрації, яка носить чітко виражений локальний характер, при цьому область значного підвищення ПЕЗ (понад 35% ось фонових величин) має витягнуту в довготному напрямі область. Грунтуючись на твердженні, розглянутому в першій групі фізичних процесів, представимо електромагнітне поле Землі, яке виникає під час розвитку землетрусу, у вигляді обмеженою зверху поверхнею еліпсоїда (рис. 1)

$$z = c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}, \quad (3)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – піввісі еліпсоїда

$$a = 10^{0,43M};$$

$$b = e^M;$$

$M$  – магнітуда землетрусу;

$x$  – поточна координата за географічною широтою;

$y$  – поточна координата за географічною довготою;

$z$  – поточна координата для висоти над поверхнею Землі.

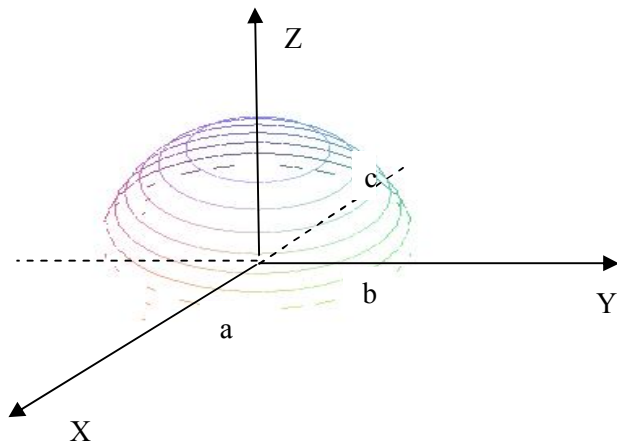


Рис. 1. Представимо вертикальну компоненту магнітного поля  $B_z$  у вигляді

$$B_Z = B_0 \sin(\omega_B(t - Z/V_A) + \varphi_{0B}), \quad (4)$$

де  $B_0$  - амплітуда флуктуацій вертикальної компоненти магнітного поля;

$\omega_B$  - кругова частота флуктуацій вертикальної компоненти магнітного поля;

$$V_A = \sqrt{\frac{\mu_0}{\rho}} B - \text{швидкість хвиль Альвена};$$

$B$  - магнітна індукція геомагнітного поля Землі;

$\mu_0$  - магнітна постійна;

$\rho$  - щільність газу верхньої атмосфери;

$\varphi_{0B}$  - випадкова початкова фаза флуктуацій вертикальної компоненти магнітного поля, рівномірно розподілена на інтервалі від 0 до  $2\pi$ .

Компоненти вектора  $\vec{E}$  електричного поля представимо наступними співвідношеннями:

$$E_X = E_0 \sin(\omega_E(t - a\sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}/V_A) + \varphi_{0E});$$

$$E_Y = E_0 \sin(\omega_E(t - b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}/V_A) + \varphi_{0E});$$

$$E_Z = E_0 \sin(\omega_E(t - c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}/V_A) + \varphi_{0E}),$$

де  $E_0$  – амплітуда флуктуацій  $E$  компоненти електричного поля;

$\omega_E$  – кругова частота флуктуацій  $E$  компоненти електричного поля;

$\varphi_{0E}$  – випадкова початкова фаза флуктуацій компоненти  $E$  електричного поля, рівномірно розподілена на інтервалі від 0 до  $2\pi$ .

Питання про зв'язок сейсмічного процесу, що розвивається, з пульсаціями магнітної складової геомагнітного поля розглядалося в [9], в основу якої закладений зв'язок «літосфера – магнітосфера». У зв'язку з тим, що магнітна силова лінія, яка представлена у вигляді струни, “закріплена” з обох кінців на поверхні Землі і володіє пружністю, тоді, згідно із законами магнітогідродинаміки [10] – будь-які збурення (коливання) в початковій точці неодмінно призведуть до збурення (коливання) в протилежній (магнітоспряженій) точці, в якій кріпиться магнітна силова лінія. Це неминуче



приведе до виникнення аномального електричного поля у магнітоспряженій області.

Розглянемо третю групу фізичних процесів, яка може призвести до додаткового внеску в електричне поле.

В період зародження, протікання і у момент головного удару землетрусу були зареєстровані зміни концентрації теплової плазми електронної концентрації ( $N_e$ ) і щільність потоку енергетичних електронів з енергіями  $E_e$  від 40 кэВ і більше 100 кэВ.

Потік електронів  $q_{en}(h)$  з верхньої магнітосфери в період протікання сейсмічного процесу, розрахований з кінетичної теорії по функції розподілу  $f_1$  для лоренцевського газу, має вигляд [11]:

$$q_{en}(h) + q_{en}(h) \times \Omega = -D_e \frac{\partial}{\partial h} N_e(h) - D_\tau (v_e(h) - 3/2) \frac{\partial}{\partial h} T_e(h) + \mu_e N_e(h) E, \quad (5)$$

де  $v_e(h)$  - швидкість потоку електронів на іоносферних висотах;

$D_e = k_B T_e(h) \tau_\delta / m_e$  - коефіцієнт дифузії електронів;

$D_\tau = k_B N_e(h) \tau_\delta / m_e$  - коефіцієнт термодифузії електронів;

$\lambda_e = k_B^2 T_e(h) \tau_\delta / m_e$  - коефіцієнт теплопровідності електронів;

$T_e(h)$  - електронна температура на іоносферних висотах;

$\mu_e = -e \tau_\delta / m_e$  - рухливість електронів;

$\Omega = eB \tau_\delta / m_e = \omega_e \tau_\delta$  - параметр Холла;

$E$  - напруженість електричного поля

$$E = \sigma^{-1} (j + j \times \Omega - e D_e \frac{\partial}{\partial h} N_e(h) - e D_\tau (\varphi - \frac{3}{2}) \frac{\partial}{\partial h} T_e(h)); \quad (6)$$

$j$  - щільність електричного струму

$$j = -ev(h)N_e(h) + \sum_k eZ_k N_{ki}(h)v_{ki}(h); \quad (7)$$

$N_{ki}(h)$  - концентрація іонів (підсумовування ведеться по іонах  $O^+$ ,  $H^+$  різного сорту  $k$  із зарядом  $eZ_k$ ;

$\sigma = e^2 N_e(h) \tau_\sigma / m_e$  - електрична провідність іоносфери;

$\tau_\delta$  і  $\tau_\sigma$  - характерні значення часу, що знаходяться з рівнянь:

$$\tau_\delta = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} u^{3/2} v_\Sigma^{-1}(u) e^{-u} du, \quad v_\Sigma = v_{ea}(u) + v_{ei}(u), \quad \tau_\sigma = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} u^{5/2} v_\Sigma^{-1}(u) e^{-u} du$$

$$u = \frac{\varepsilon - \varepsilon_i}{\varepsilon_i};$$

$\varepsilon$  – кінетична енергія електрона з потоку;

$\varepsilon_i$  – поріг іонізації.

Рівняння (5) описує розповсюдження електронів в плазмі, якщо енергія окремого електрона суттєво перевищує характерний потенціал іонізації середовища. Опис використовує тільки дані багатократного розсіяння та гальмуючу здатність речовини.

### Результати досліджень

На рис. 2 представлена диференціальна процентна  $\Delta Ne$  в залежності від довготного видалення від епіцентру майбутнього землетрусу (за нуль прийнятий епіцентр землетрусу), отримана з диференціального процентного ПЕЗ карти Європейського регіону 7 січня 2006 р. (10UT,  $Kp=3$  [4]), а на рис. 3 – величина електричного поля, яка розрахована за виразом (1).

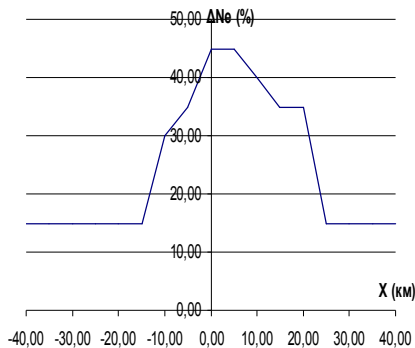


Рис. 2

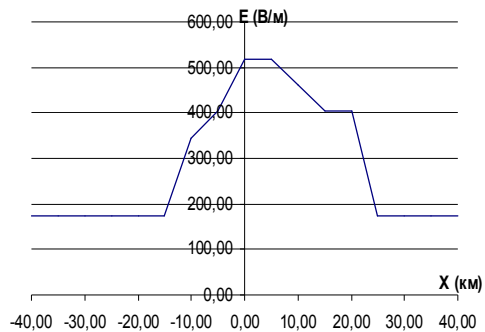


Рис. 3

На рис. 4 представлені результати розрахунку  $\vec{E} = f(B_Z, \omega_B, Z, t)$  для  $B_0 = 3 \text{ нТл}$ ,  $f = 879,2 \text{ Гц}$ ,  $Z \in [100; 450] (\text{км})$  і  $t = 1, 1000 \text{ с}$  ( $E (\text{В/м})$ ,  $Z (\text{км})$ ), які розраховані за співвідношеннями (2), (4) і компонент  $\vec{E} (E_X, E_Y, E_Z)$ .

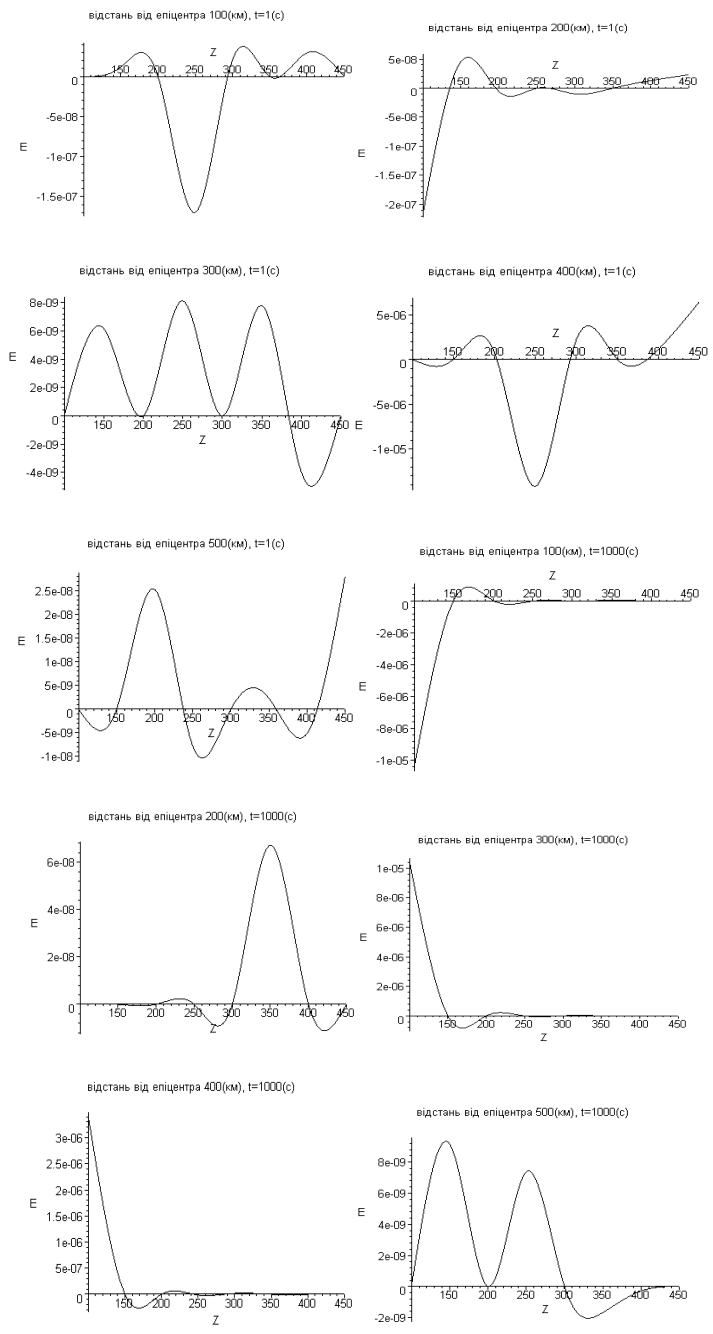


Рис. 4

На рис. 5 представлені результати розрахунку напруженості електричного поля (6) для  $E_e = 100 \text{кВ}$  і висоти над землею (км).

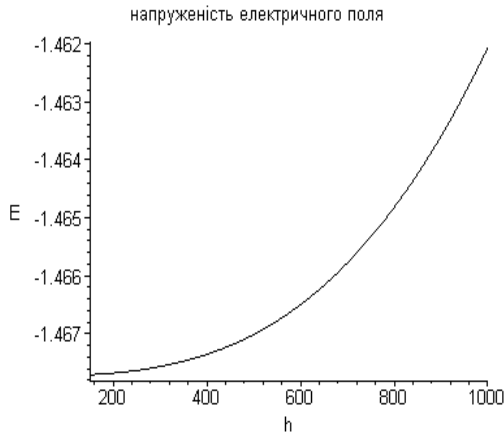


Рис. 5

## Висновки

1. Поява областей «аномального» змісту  $N_e$  відбивається на електричних полях. Якщо така локалізована область аномального змісту  $N_e$  покоїться над поверхнею епіцентрального району майбутнього землетрусу, то пов'язані з нею надмірні електричні заряди породжують і над поверхнею прилеглих до поверхні епіцентрального району електричне поле.

Аналіз представленою на рис. 3 залежності  $E(\Delta N_e, x)$  (яка розрахована (1)) свідчить про те, що отримані значення  $E(\Delta N_e, x)$  добре узгоджуються із зміряними значеннями  $E$  в період часу протікання сейсмічного процесу.

2. Статичні пульсації геомагнітної силової лінії призводять до статичних електричних пульсацій, що корелюють з ними.

Представлені на рис. 4 результати розрахунку  $\vec{E} = f(B_z, \omega_B, Z, t)$  свідчать про те, що набуті значення  $\vec{E} = f(B_z, \omega_B, Z, t)$  добре узгоджуються із зміряними величинами  $\vec{E}$  в період часу розвитку сейсмічного процесу.

3. Щільність потоку енергетичних електронів з енергією  $E_e$  100 кВ призводить до додаткового від'ємного вкладу в напруженість електричного поля під час протікання сейсмічного процесу.

## Перспективи подальших досліджень

Просування в дослідженні електричних полів за рахунок розділення об'ємної щільності зарядів, викликаних локальною зміною  $N_e$ , поки що недостатньо: якщо стеження за магнітним полем проводиться регулярно в багатьох пунктах, то з вимірюваннями електричного поля справа йде далеко не так добре.

Недостатність інформації про поведінку електричного поля напередодні землетрусу, яка вимагає досить складних методів обробки результатів вимірювань, не привела до створення однозначного зв'язку між змінюваним в часі геомагнітним і електричним полями, оскільки напруженість електричного поля досить примхливо міняється з часом. В зв'язку з цим, необхідно проведення подальших досліджень щодо впливу сейсмічного процесу на аномальні зміни електромагнітного поля у верхній атмосфері Землі.

## Література

1. *О.П. Руленко*. Некоторые особенности проявления аномалий электрического поля в приземной атмосфере перед землетрясениями. Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГ и Г ДВО РАН, Петропаловск-Камчатский, 2001 г. – 428 с.
2. Ионосферные предвестники землетрясений / *А.Л. Бучаченко, В.Н. Ораевский, О.А. Похателов*[и др.] // УФН. – сентябрь 1996 г. – т. 166, №9. – С. 153–1059
3. *Ларкина В.* Радионаблюдения с ИСЗ за предвестниками землетрясений / *В.Ларкина* // Радио. – 1999. – № 1. – С.55–60.
4. *Захаренкова И. Е.* Ионосферные аномалии, наблюдаемые в GPS TEC измерениях перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M6.8) [Электронный ресурс]/ *И.Е. Захаренкова, И.И. Шагимуратов, А.Ф. Лаговский, А. Кранковски* // Исследовано в России. – 2006. – Вып. 39. – С. 1047–1055. – Режим доступа: [zakharenkova@mail.ru](mailto:zakharenkova@mail.ru).
5. *Кузмичев В.Е.* Законы и формулы физики. Справочник. К.: Наукова Думка, 1989. – 864 с.
6. *Липеровский В. А.* Физические модели связи в системе литосфера – атмосфера – ионосфера: лекции БШФФ / *В. А. Липеровский*. – Новосибирск. – 2006. – С. 58–65..– Режим доступа: <http://bsfp.iszf.irk.ru/bsfp2006/-proceed2006/58-65.pdf>.
7. *Викунин А.В., Быков В.Г., Лунева М.Н.* Нелинейные волны деформации в ротационной модели сейсмического процесса // Вычислительные технологии. 2000. – Т.5, № 1. – С.31–39.

8. *Yu. B. Brodsky, V. P. Gannoshyn* The hypothesis of the relationship between the current seismic process and the geomagnetic field pulsations. Український антарктичний журнал - №8/2009/ м. Київ — 2009 (с.79–84).
  9. *Лось Л.В.* Модель геомагнітного збурення в системі Земля – іоносфера /*Л.В. Лось, Ю.Б. Бродський, В.П. Ганношин* // Вісн. ДАЕУ. – 2008. - № 1. – С.426–432.
  10. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. – М.: Сов. Энциклопедия, 1986. – С. 364.
  11. *Синкевич О.А.* Физика плазмы (стационарные процессы в частично ионизованном газе): учеб. пособие [для вузов] / *О.А. Синкевич, И.П. Стаханов.* – М.: Высш. шк., 1991. – 191 с.: ил.
-