

Житомирський національний агроекологічний університет

НАГРІВ ВЕРХНІХ ШАРІВ АТМОСФЕРИ ПОТОКОМ ЕЛЕКТРОНІВ У ПЕРІОД ПРОТІКАННЯ СЕЙСМІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Проведено фізичне обґрунтування свічення нічного неба за декілька годин перед землетрусом. Представлені результати моделювання моноенергетичного потоку вертикально падаючих електронів для мінімальної моделі атмосфери. Доведено, що висипання у верхні шари атмосфери енергетичних електронів з іоносфери пов'язане не тільки з дією порівняно слабкого сейсмічного дуже низькочастотного (ОНЧ) випромінювання, а і з коливаннями силової геомагнітної лінії під дією тектонічних плит, що рухаються.

Постановка проблеми

Всякий землетрус виникає унаслідок раптового вивільнення значної кількості енергії в деякому об'ємі усередині Землі. При цьому, як правило, в тілі Землі відбуваються руйнування та інші необоротні деформації гірських порід.

Землетруси – грізне явище природи. Запобігти сейсмічним природним катаклізмам неможливо, але бути готовим до них – значить істотно зменшити їх наслідки.

Проблема прогнозу землетрусів як і раніше залишається одним з найважливіших невирішених завдань сучасного моніторингу навколишнього середовища і екологічної безпеки.

До теперішнього часу учені прийшли до твердого переконання, що землетрус – не раптова подія, а процес, якому передують різноманітні геофізичні явища. У сейсмоактивних районах у момент землетрусу і безпосередньо перед ним неодноразово спостерігалися свідчення атмосфери, ґрунту, схилів гір, збурення атмосферного електричного потенціалу, варіації інтенсивності електромагнітного випромінювання на відстанях до тисячі кілометрів від епіцентру, а також зміни критичних частот і щільності E і F шарів іоносфери. Виходячи з аналізу існуючих гіпотез зв'язку літосфера-атмосфера-іоносфера [1,2] можна припустити, що у період виникнення і розвитку сейсмічного процесу одночасно діє комплекс різних фізичних механізмів, що призводять до відповідних геофізичних ефектів. Глибокий фізичний аналіз впливу сейсмічного процесу на навколишнє середовище, з детальним математичним моделюванням останнього, може дати весь спектр можливих і достовірних передвісників землетрусів.

У зв'язку з цим, автори направили свої дослідження на обґрунтування модельного зв'язку рухомих тектонічних плит з моноенергетичним потоком електронів з магнітосфери, який приводить до нагріву верхніх шарів атмосфери.

Аналіз останніх досліджень

Під час серії послідовних прольотів GPS супутників над епіцентром майбутнього землетрусу були зареєстровані варіації магнітної та електричної компонент поля шумових низькочастотних випромінювань з виходу каналів спектроаналізатора на частотах 4650, 800, 450 і 140 Гц зміни електронної концентрації теплової плазми (n_e) і щільності потоку енергетичних електронів з енергіями E більше 40 кеВ та 100 кеВ. Це демонструє різноманіття прояву сейсмічної активності на супутникових висотах в навколоземному космічному просторі.

Аналіз даних спостережень свідчення нічного неба на обсерваторії Абастумані привів до виявлення раніше невідомого природного явища – посилення свідчення (до 30 %) нижньої атмосфери за декілька годин перед землетрусом. Для інтерпретації цього явища був запропонований новий механізм іоносферно-літосферного зв'язку: «сейсмический Тримпи-ефект» [3] – резонансне розсіяння по пітч-кутам і висипання в іоносферу енергетичних електронів з магнітосфери під дією порівняно слабкого сейсмічного ОНЧ випромінювання.

Методика досліджень

За основу фізичного обґрунтування модельного зв'язку тектонічних плит, що рухаються, з енергетичними електронами, які висипаються з

іоносфери у верхні шари атмосфери, з подальшим її нагрівом, узята модель геомагнітного збурення в системі Земля–іоносфера [1]. У рамках запропонованої моделі процес взаємодії сейсмічного процесу і свічення атмосфери за декілька годин перед близьким землетрусом, полягає в наступному.

У початковий момент зародження сейсмічного процесу тектонічна плита починає деформуватися. Сила, яка діє з боку тектонічної плити, що деформується, на елемент геомагнітної силової лінії, який знаходиться в надрах Землі, незначна. Що не сприяє зміні форми геомагнітної силової лінії.

У міру розвитку сейсмічного процесу збільшується лінійна швидкість деформації тектонічної плити, що призводить до зміни форми силової лінії геомагнітного поля, яка, маючи пружність, прагне набути свою первинну форму. Зміна форми силової лінії геомагнітного поля викликає виникнення коливального процесу останньої (стояча хвиля) [1]. Під час розвитку та протікання сейсмічного процесу амплітуда коливань геомагнітної силової лінії збільшується. У зв'язку з тим, що в коливальному процесі геомагнітної силової лінії щільність газу ρ не змінюється, весь шар коливається уперек поля як ціле, енергія коливань пружної хвилі силових геомагнітних ліній перевищить енергію електронів, що рухаються уздовж магнітної силової лінії під дією сили Лоренця, що приведе до висипання електронів по висоті в іоносфері.

Електрони і протони, що висипаються з іоносфери, з енергією від сотень електрон-вольт (eV) до сотень кілоелектронвольт (keV) втрачають свою енергію, проходячи через атмосферу в процесах збудження, іонізації і дисоціації нейтральних частинок і кулонівських зіткнень із зарядженими частинками.

Для модельного представлення потоку електронів розглянемо рівняння безперервності, або закон збереження числа електронів у диференціальній формі [5]:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot q_{en} = N_+ - N_-, \quad (1)$$

де N_+ і N_- – джерела народження і загибелі електронів в одиниці об'єму;

q_{en} – потік електронів.

Швидкість зміни концентрації електронів за рахунок реакції процесів парної взаємодії електронів з нейтральними молекулами представляється у вигляді:

$$\partial n_e / \partial t = -k_{en} n_e n_n, \quad (2)$$

де k_{en} – коефіцієнт швидкості процесів парної взаємодії електронів з нейтральними молекулами;

n_n – концентрація нейтральних молекул.

Якщо прийняти за частоту не пружних зіткнень електрон – нейтральна молекула (V_{en}) величину $k_{en}n_n$, тоді рівняння безперервності (1) для електронів в рівноважній плазмі може бути представлене наступним співвідношенням:

$$-n_e v_{en} + \frac{\partial}{\partial x} n_e v_x + \frac{\partial}{\partial y} n_e v_y + \frac{\partial}{\partial z} n_e v_z = 0, \quad (3)$$

де v_x , v_y і v_z – складові швидкості по осях x , y і z для локальної картезіанської (декартової) системи координат.

У шарі F2 іоносфери на середніх широтах зазвичай враховують лише вертикальне перенесення заряджених електронів внаслідок малості горизонтальних макроскопічних параметрів. Тому, рівняння (3) набуває вигляд:

$$-n_e v_{en} + \frac{\partial}{\partial z} n_e v_z = 0. \quad (4)$$

Частина енергії висипаних з іоносфери електронів і протонів, що втрачається в атмосфері, йде зрештою в тепло нейтрального газу. Цю відносну частку енергії висипаних частинок, що поглинається на висоті h , що перейшла в тепло нейтрального газу, називають ефективністю корпускулярного нагріву нейтрального газу.

Розрахунки зміни з висотою диференціального спектру висипаних енергетичних електронів і відповідно величини поглиненої енергії проводилися у ряді робіт різними методами з використанням лабораторних вимірювань втрат енергії електронів у повітрі, методом Монте-Карло стосовно індивідуальних траєкторій електронів, рівняння Фоккера–Планка для функції розподілу енергетичних електронів по енергіях і пітч-кутах у наближенні безперервних втрат енергії (для $E_e > 500$ eV) і рівнянь безперервності для направлених вгору і вниз потоків електронів з $E_e < 500$ eV в наближенні дискретних втрат.

У роботі [4] для первинного моноенергетичного потоку вертикально падаючих електронів з початковою енергією E_0 було отримано, що на висоті h , яка характеризується так званою *товщею*, або *глибиною вище*

розміщеної атмосфери $x = \int_h^\infty \rho dh$ (г/см²), потік електронів з енергією в

інтервалі E , $E+dE$, розрахований методом Монте-Карло і нормований до

повного падаючого моноенергетичного потоку, може бути апроксимований виразом:

$$i(E, E_0, x) = \frac{i_0(E, E_0, x)}{N(E_0, x)} \exp(-4,42\xi^{2,8}), \quad (5)$$

де

$$\xi \equiv x/r_0, \quad r_0 = 4,57 \cdot 10^{-6} E_0^{7/4}; \quad (6)$$

r_0 – так званий пробіг електрона з початковою енергією E_0 (кеВ), що визначає висоту максимуму енерговиділення $r_0 = \int_{h_0}^{\infty} \rho dh$ (h_0 – висота, до якої проникає електрон);

$$i_0(E, E_0, x) = E_0^{\eta(\xi)-1} \left[\frac{1-y}{1-y_m} \right]^{\eta(\xi)} \exp \left\{ - \left[\frac{1-y}{1-y_m} \right]^{\eta(\xi)} \right\}, \quad (7)$$

$$y = \frac{E}{E_0}, \quad y_m = \frac{E_m}{E_0}, \quad E_m = E_0 \left(\frac{r_0 - x}{r_0} \right)^{4/7}, \quad \eta(\xi) = 7,5\xi + 3,25, \quad (8)$$

$$N(E_0, x) = \int_0^{E_0} i_0(E, E_0, x) dE = E_0 \int_0^1 i_0(y, 1, x) dy. \quad (9)$$

Результати досліджень

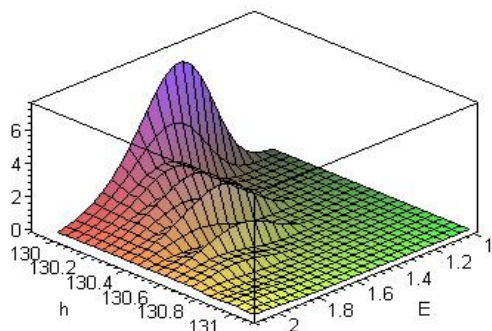
Проведемо розрахунок потоку електронів для випадків:

- авроральних електронів ($E_0=3$ кеВ);
- «скинутих» електронів силовою магнітною лінією в період протікання сейсмічного процесу ($E_0=40$ кеВ, $E_0=100$ кеВ).

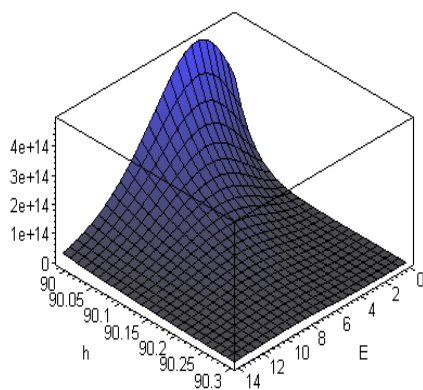
На рис.1 представлені розрахунки моноенергетичного потоку вертикально падаючих електронів з початковою енергією E_0 за методом Монте-Карло для мінімальної моделі атмосфери [6].

Для наочності функції розподілу енергетичних електронів за енергіями і висотою, в наближенні безперервних втрат, нормування до повного падаючого моноенергетичного потоку не проводилось.

Потік електронів е/см. Ніч, $E_0=3$ [кзВ], h [км]



Потік електронів е/см. Ніч, $E_0=40$ [кзВ], h [км]



Потік електронів е/см. Ніч, $E_0=100$ [кзВ], h [км]

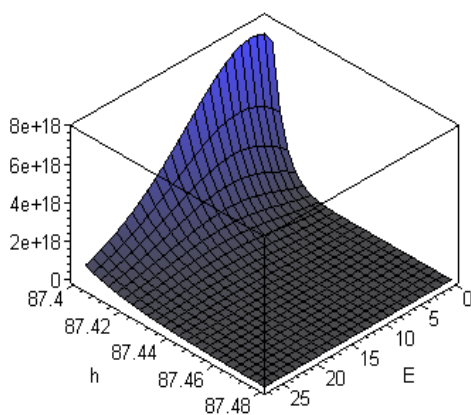


Рис. 1. Розрахунок моноенергетичного потоку вертикально падаючих електронів з початковою енергією E_0 .

Висновки

Аналіз представлених залежностей $E(E_0, h)$ (рис.1) дозволяє зробити наступні висновки:

1. Значна частина енергії електронів переходить в тепло нейтрального газу (максимум енергії зменшується від 3 до 1,4 кеВ, від 40 до 2 кеВ і від 100 до 3 кеВ).

2. Висота шару енерговиділення (максимум об'ємної швидкості джоулева нагріву) залежить від енергії електронів і складає 130 км ($E_0 \approx 3$ кеВ), 90 км ($E_0 \approx 40$ кеВ) і 87,4 км ($E_0 \approx 100$ кеВ).

3. Величина потоку електронів пропорційна енергії електронів, що висипаються.

4. Електронна складова джоулева нагріву зазвичай незначна, а в період землетрусу, коли різко зростає іонізація в D-області, може давати помітний внесок в тепловий баланс верхньої атмосфери на висотах від 80–130 км. Максимум об'ємної швидкості джоулева нагріву доводиться на висоти максимуму педерсеновської провідності.

5. Внесок електронного нагріву в тепловий баланс верхньої атмосфери найбільш істотний у період протікання сейсмічного процесу. Локально він може бути порівнянний з джоулевим нагрівом і часом навіть перевищувати його.

6. Нагрів верхніх шарів атмосфери потоком енергетичних електронів пов'язаний не тільки з дією порівняно слабкого сейсмічного випромінювання ОНЧ, а і з коливанням силової геомагнітної лінії під дією тектонічних плит, що рухаються.

Перспективи подальших досліджень

У рамках даного модельного зв'язку тектонічних плит, що рухаються, зі свіченням нічного неба необхідні подальші дослідження в селекції нагріву верхніх шарів атмосфери потоком енергетичних електронів напередодні землетрусу, від нагріву верхніх шарів атмосфери працюючими двигунами ракетноносіїв, що стартують.

Література

1. 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.
2. Бродский Ю.Б. Физическая модель связи в системе литосфера-ионосфера / Ю.Б. Бродский, В.П. Ганношин //Наукові дослідження – теорія та експеримент 2008: матеріали 4-ої міжнар. наук.-практ. конф., 19–21 травня 2008 р. – Полтава: «Інтер-графіка», 2008. – С.46–47.

3. *Пилипенко В.А.* Резонансные эффекты ультранизкочастотных волновых полей в околоземном пространстве: автореф. дис. на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / *В.А. Пилипенко.* – М., 2006. – 28 с.
4. *Брюнелли Б.Е.* Физика ионосферы / *Б.Е. Брюнелли, А.А. Намгаладзе.* – М.: Наука, 1988. – 528 с.
5. *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.
6. *Исаев С.И.* Полярные сияния и процессы в магнитосфере Земли / *С.И. Исаев, М.И. Пудовкин.* – Л.: Наука, 1972. – 244 с.