

## DINAMICA NEOMOGENITĂȚILOR IONOSFERICE INIȚIATE DE PROCESE SEISMICE

**Plohotniuc E.\*, Borisova I.**

Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, str. Pușkin, 38, Bălți, MD-3100, Republica Moldova

\*e-mail: [eugenplohotniuc@yahoo.com](mailto:eugenplohotniuc@yahoo.com)

În lucrare sînt prezentate valorilor frecvențelor critice pentru stratul *E* al ionosferei pentru perioada 0...8 mai 2011, obținute din ionogramele înregistrate pe traseul Cipru-Bălți în cazul cutremului din Vrancea care a avut loc pe data de 01.05.2011 la ora 5 și 31 minute (timpul local). Abaterea frecvenței critice înainte de cutremur atinge valoarea de 0,8 MHz.

Cuvinte-cheie: frecvență critică, ionosferă, procese seismice, cutremur, stratul E

The work presents the values of critical frequencies of E layer of ionosphere for the period 0...8 May 2011 obtained from the ionograms registered on the route Cyprus – Bălți in case of the Vrancea earthquake that took place on 01 May 2011 at 5:31 a.m. local time. The deviation of the critical frequency before the earthquake reaches the value of 0.8 MHz.

Keywords: critical frequency, ionosphere, seismic processes, earthquake, E layer

### INTRODUCERE

Procesele ondulatorii care excită neomogenități în sistemul atmosfera-ionosfera-magnetosfera reprezintă un factor important în circulația generală a atmosferei. Fără a lua în considerație aceste procese este imposibil de a rezolva problemele legate de dinamica atmosferei superioare. Ar trebui remarcat și faptul că neomogenitățile ionosferice, inițiate de undele interne gravitaționale, au impact semnificativ asupra procesului de lucru al sistemelor radioelectronice. Cu regret, pînă în prezent nu este clar mecanismul transformării diferitor tipuri de energie în atmosferă și nu este identificat agendul principal care duce la transmiterea și transformarea energiei stocate din litosferă în ionosferă.

În cazul cercetării efectelor inițiate în ionosferă de unde acustice generate de procese seismice, ca regulă, se iau în considerație undele acustico-gravitaționale care se propagă prin ionosferă. Referitor la neomogenitățile care apar de asupra sursei de cutremur se considera că ultimele relaxează într-un interval de timp foarte scurt. Această afirmație nu este corectă deoarece odată cu dispariția sursei de excitare are loc procesul de adaptare geostrofic [1]. Conform procesului de adaptare geostrofic numai o parte nesemnificativă de energie este transferată din zona apariției neomogenității ionosferice de către unda acustico-gravitațională. De aici rezultă că majoritatea

energiei rămîne localizată în regiunea apariției neomogenității ionosferice inițiale sau undele acustico-gravitaționale generează neomogenități ionosferice care există o perioadă semnificativă de timp.

În continuare vor fi prezentate efectele ce au loc în regiunile *D*, *E* și *F* ale ionosferei inițiate de procese seismice.

### EFECTE ÎN REGIUNEA *D* A IONOSFEREI

Procesele seismice din interiorul scoarței terestre care au loc în perioada pregătirii cutremurelor inițiază procese electromagnetice. Valorile curenților pot atinge mărimi de  $\sim 10^3 \dots 10^4$  A [2] și crearea unor regiuni de dimensiuni mari cu sarcini spațiale. După dimensiune aceste regiuni sînt aproximativ de mărimea epicentrului cutremurului. Măsurările caracteristice a acestor regiuni arată că mărimea lor este de ordinul  $l=50 \dots 100$  km, pentru adîncimea epicentrului egală cu  $z_d \sim 10$  km.

În lucrarea [3] a fost determinată valoarea cîmpului magnetic la suprafața pămîntului. Măsurările experimentale arată că valoarea medie a cîmpului magnetic  $H \approx 10^3 \dots 10^4$  Gs în intervalul de altitudini 0...1000 km. Frontiera de sus a acestui interval corespunde excitațiilor magnetice în magnetosferă [4]

În perioada de pregătire a cutremurului în stratul  $D$  au fost depistate următoarele efecte ionosferice:

1. Excitarea undelor magnetohidrodinamice;
2. Schimbarea concentrației electronilor;
3. Lărgirea spectrului de deplasare doppler a frecvenței.

**Excitarea undelor magnetohidrodinamice.** Excitarea ionosferei cu unde electromagnetice inițiate de procesul seismic, are drept efect mișcarea sarcinilor electrice în stratul  $D$ . Acest proces duce la generarea undelor magnetohidrodinamice, ce se propagă la distanțe mai mari ca dimensiunile sursei cu o viteză  $\geq 500$  km/s.

Undele magnetohidrodinamice, la rîndul său, modifică proprietățile de dispersie a plasmii ce duce la atenuarea oscilațiilor ondulatorii. Mărima atenuării și viteza de fază depind de direcția propagării și unghiul de înclinare a cîmpului magnetic exterior.

**Schimbarea concentrației electronilor.** Conform lucrării [5] în perioada de pregătire a cutremurilor sub acțiunea cîmpurilor electrice în ionosferă, de asupra epicentrului cutremurului se crează o neomogenitate a plasmii, ce este distribuită de-a lungul cîmpului geomagnetic.

Pentru estimarea concentrației electronilor în stratul  $D$  în perioada de pregătire a cutremurului poate fi utilizată ecuația staționară a continuității pentru concentrația electronilor  $N_e$ ,

$$\alpha N_e^2 + \ell N_e - q = 0, \quad (1)$$

unde  $\alpha = 6 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  – coeficientul recombinărilor pătratică,

$$\ell = k_1(N_2)N^2(O_2) + k_2(O_2) \cdot N(N_2),$$

– coeficientul recombinărilor liniare a ionilor de  $N_2$  și  $O_2$ ,

–  $N(O_2)$  și  $N(N_2)$  – concentrațiile moleculelor de  $O_2$  și  $N_2$ ,

$$k_1 = 1,41 \cdot 10^{-29} \left[ \frac{300}{T_n [K]} \right] \exp \left[ -\frac{600}{T_n [K]} \right] \text{ cm}^6 \cdot \text{s}^{-1} -$$

coeficientul de recombinare a ionilor de  $N_2$ ,

$$k_2 = 10^{-31} \text{ cm}^6 \cdot \text{s}^{-1} - \text{coeficientul de}$$

recombinare a ionilor de  $O_2$ ,

$T_n$  – temperatura atmosferei neutre,

$q = Q + q_I$  – viteza totală a ionizării ce depinde de ionizarea de șoc  $Q$  și ionizarea liniară  $q_I$  cu lungimea de undă solară  $1216 \text{ \AA}$  [6-8].

Viteza de ionizare a  $q$  perechi de ioni într-o unitate de volum formată de fluxul energetic  $F$  cu energia  $E_0$  se determină conform următoarei relații:

$$\frac{q}{F} = q_e(E_0) = \frac{E_0}{r_0 \Delta E_{ion}} \lambda \left( \frac{z}{R} \right) \frac{n(M)_z}{n(M)_R}, \quad (2)$$

unde  $\Delta E_{ion} = 0,035 \text{ keV}$  – energia de ionizare a unei perechi de ioni,

$r_0 = \frac{R}{\rho}$  – raportul dintre altitudinea de

pătrundere a electronilor din ionosferă în troposferă  $R$  și densitatea aerului  $\rho$ ,

$\lambda \left( \frac{z}{R} \right)$  – funcția de distribuire a pierderilor energiei,

$z = \int_h^{h_{top}} \rho dh'$  – altitudinea de pătrundere a

electronilor din troposferă în ionosferă la înălțimea  $h$  la care se efectuează calculul vitezei de ionizare a ionosferei,

$h_{top}$  – înălțimea maximă a ionosferei,

$n(M)_z$  și  $n(M)_R$  – concentrațiile atomilor și moleculelor ionizate la altitudinile  $z$  și  $R$  [8].

**Lărgirea spectrului de deplasare doppler a frecvenței.** În perioada de pregătire a multor cutremure a fost observată lărgirea spectrului de deplasare doppler a frecvenței și mărirea dispersiei lui. Analiza dopplerogramelor au arătat o lărgire considerabilă a spectrului de deplasare doppler a frecvenței cu 10 minute înaintea cutremurului.

Lărgirea spectrului de deplasare doppler a frecvenței a fost observată și în urma altor procese geliofizice și radiofizice, ca de exemplu exploziilor solare, fulgerelor etc. De aceea pentru evidențierea efectelor seismoionosferice trebuie de analizat minuțios și celelalte efecte geliofizice (pentru a exclude acțiunea în același moment de timp a mai multor factori ce pot duce la mărirea spectrului).

Analiza dopplerogramelor au arătat și un alt efect a acestui proces – apariția pantei efectului, adică observarea acestui efect nu numai deasupra epicentrului cutremurului, dar

la o distanță de  $\sim 10$  km, dacă magnitudinea cutremurului este mai mică ca 7 și până la  $\sim 200$  km, dacă magnitudinea este mai mare de 7 [8].

### EFECTE ÎN REGIUNEA *E* A IONOSFEREI

În perioada pregătirii cutremurului în stratul *E* a fost depistată mărirea densității și temperaturii plasmei. Acest efect duce la apariția stratului *E* – sporadic. Apariția acestui efect duce la schimbarea proprietăților de recombinare a ionilor ionosferei.

În urma analizei datelor experimentale [9] a fost demonstrat că neomogenitățile ionosferice au următoarele dimensiuni caracteristice față de epicentrul cutremurului:  $\pm 2^\circ$  după latitudine și  $\pm 60^\circ$  după longitudine. În această lucrare se presupune că excitarea radiației de frecvență joasă este asociată cu penetrarea în ionosferă, apoi la altitudinea magnitosferei, a câmpurilor electrice cvasistaționare generate de sursele terestre.

### EFECTE ÎN REGIUNEA *F* A IONOSFEREI

În perioada de pregătire a cutremurului în stratul *F* au fost depistate următoarele efecte ionosferice:

1. Cu 1 – 2 zile înainte de cutremur se observă o mărire a frecvenței critice în stratul *F* a ionosferei, cea ce duce la mărirea altitudinii de pătrundere a undelor radio în ionosferă, sau chiar la absorbția lor.

2. În această perioadă are loc micșorarea concentrației electronilor, variația temperaturii și a densității plasmei ionosferice.

3. Din cauza turbulenței electrice apar și alte efecte. Unul din ele este instabilitatea „etajelor turbulente” Rayleigh–Taylor. Această instabilitate apare din cauza apariției derivei gravitaționale a plasmei și gradientului concentrației ce sînt ortogonale pe câmpul geomagnetic. Odată cu evoluarea în volum a acestui efect, „etajele turbulente” se ridică la altitudini mai mari ca maximul de ionizare a stratului *F*. Aceste procese sînt mai active și mai evidente în perioada de pregătire a cutremurelor. Acest efect de asemenea are ca

rezultat micșorarea concentrației electronilor în stratul *F* al ionosferei.

4. Odată cu amplificarea efectului Rayleigh – Taylor are loc apariția altui efect numit instabilitatea de derivă. Acest efect apare din cauza măririi gradientului concentrației în ionosferă la altitudinea  $h \geq 220$  km.

5. Multe date experimentale demonstrează apariția radiației specifice în diapazonul frecvențelor joase (FJ) ( $< 15$  kHz) la altitudinea  $h \geq 220$  km a ionosferei de asupra epicentrelor cutremurului. Amplitudinea câmpului electric atinge valoarea  $10^{-5} - 10^{-6}$  V/m în diapazonul 1 – 15 kHz.

### DATE EXPERIMENTALE

Cercetările experimentale au fost efectuate pe traseul Cipru-Bălți cu ajutorul ionosondei cu modulație liniară a frecvenței (MLF) pe parcursul anilor 2008-2012. Emițătorul MLF în Cipru (35.1N 34.1E) a lucrat în banda de frecvență 5...30 MHz cu o viteză de baleaj de 150 kHz/s. Recepția semnalelor MLF în Bălți (47.75 N 27.92 E) a fost efectuată de o antenna de tip romb orizontal RG65/4-1 ( $h=18$  m), receptorul MLF și stocate în memoria calculatorului de tip IBM.

Sincronizarea emițătorului și receptorului MLF a fost realizată cu ajutorul semnalelor GPS cu o precizie de 10  $\mu$ s. Semnalul obținut la ieșirea receptorului a fost digitizat cu ajutorul unui convertor analog-digital pe 14-biți cu o frecvență de discretizare de 50000 Hz, care este semnificativ mai mare decât lățimea de bandă pentru frecvența intermediară (3000 Hz) a receptorului utilizat. Ionogramele au fost înregistrate cu un interval de 5 minute (vezi Fig. 1). Distanța de la emițător la receptor a fost de 1631,3 km. Reflectarea semnalului radio MLF de la ionosferă a avut loc în regiunea cu coordonatele (40.98 N 31.88 E). Pentru prelucrare au fost luate ionogramele, obținute în zilele cînd, în conformitate cu datele Institutului Național de Fizică a Pământului [<http://www.infp.ro>] (România), Laboratorului Roentgen a Soarelui [[www.thesis.lebedev.ru](http://www.thesis.lebedev.ru)] (FIAN, Rusia) și Serviciului Național Meteo (NOAA, SUA) [[www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov)], activitatea geomagnetică și solară a fost nesemnificativă.

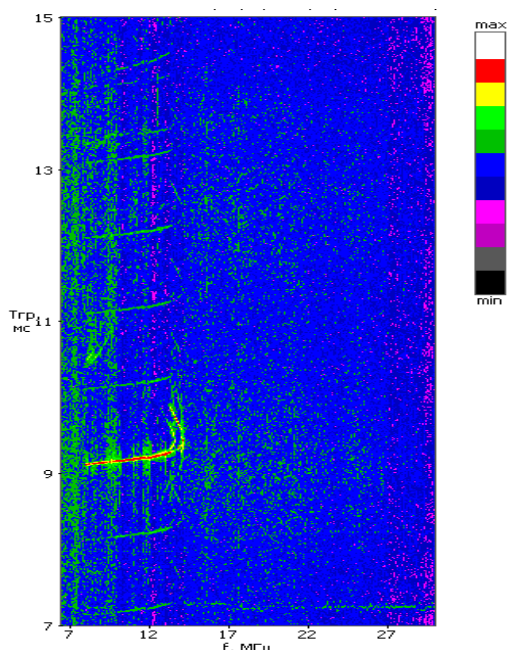


Fig. 1. Ionograma înregistrată pe traseul Cipru-Bălți pe data de 30.04.2011.

În figura 2 sînt prezentate abaterea valorilor frecvențelor critice pentru stratul  $E$  al ionosferei pentru perioada 0...8 mai 2011, obținute din ionogramele înregistrate pe traseul Cipru-Bălți. Cu săgeată este indicat cutremul din Vrancea care a avut loc pe data de 01.05.2011 la ora 5 și 31 minute (timpul local). Abaterea frecvenței critice înainte de cutremur atinge valoarea de 0,8 MHz.

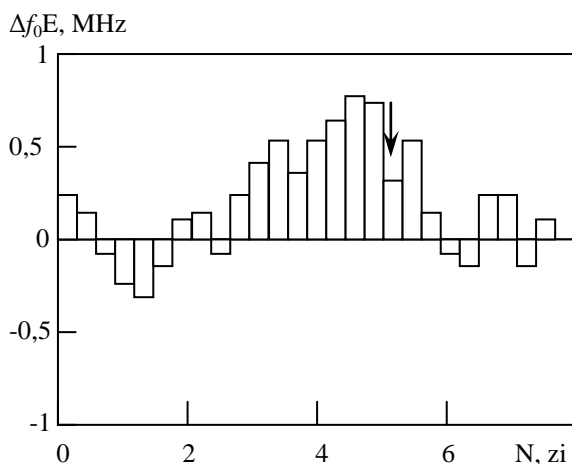


Fig. 2. Abaterile valorilor frecvențelor critice de la valoarea medie lunară.

Fenomenul înregistrat poate fi inițiat de excitarea câmpului electric în ionosferă. Drept sursă de câmpuri electrice pot fi sistemele mecano-electrice de dimensiuni mari (200...300 km) din regiunea inițierii cutremurului. Intensitatea câmpului electric din aceste zone atinge valori de 100...105 V/m în banda de frecvențe de 1...10<sup>3</sup> Hz.

Pentru câmpuri suficient de lente, variația cărora poartă un caracter cvasi-periodic și depinde doar de procesele care au loc în interiorul Terei, are loc micșorarea intensității lor odată cu majorarea altitudinii. La altitudinea de 70...75 km (regiunea de jos a ionosferei) valoarea câmpului electric atinge mărimea de ~ 10...100 mV/m.

## BIBLIOGRAFIE

1. Обухов А. М. К вопросу о геострофическом ветре. Изв. АН СССР. Сер. Геогр. и геофиз, 1949, т. 13, № 4. с. 281.
2. Гохберг М. Б., Гуфельд И. Л., Добровольский И. П. Электромагнитные предвестники землетресений. М: Наука, 1982, 46 с.
3. Andronic I. Noi posibilități de prezicere a cutremurelor. Fizica și tehnologiile moderne, 2003, vol. 1, nr.1, p. 54-56.
4. Рубенко Г. В. Возбуждение ионосферного МГД-волновода подземными токами в зоне подготовки землетресений. Геомагнетизм и аэрономия, 1985, т. XXV, №5, с. 799-805.
5. Ким В. П., Пулинец С. А., Хегай В. В. Теоретическая модель возмущения изменений в ночной среднеширотной  $D$  – области ионосферы над зоной подготовки сильного землетресения. Известия вузов. Радиофизика, 2002, т. XLV, №4, с. 289-296.
6. Михайлова Г. А., Голявин А. М., Михайлов Ю. М. Динамические спектры ОНЧ-излучений во внешней ионосфере, связанных с иранским землетресением 21 июня 1990 г. (ИСЗ "Интеркосмос - 24"). Геомагнетизм и аэрономия, 1991, т. 31, №5, с. 801-807.
7. Чмырев В. М. и др. Электрические поля и гидромагнитные волны в ионосфере над очагом землетресения. Геомагнетизм и аэрономия, 1986, № 6, с. 1020-1022.
8. Молчанов О. А. Прохождение электромагнитных полей от сейсмических источников в верхнюю ионосферу земли. Геомагнетизм и аэрономия, 1991, т. 31, №1, с. 111-119.
9. Ларкина В. И., Мигулин В. В., Молчанов О. А. и др. Особенности возбуждения низко-частотных излучений в

FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: Procese, modele, experimente, nr. 2, 2012

верхней атмосфере над районами 1988, т. 26, №5, с. 802-806.  
землетрясений. Геомагнетизм и аэрономия,

Prezentat la redacție la 29 august 2012