

INFLUENȚA METALELOR DE PROVENIENȚĂ METEORICĂ ASUPRA PROCESELOR DE FORMARE A STRATULUI SPORADIC E AL IONOSFEREI

Valeriu ABRAMCIUC,

Universitatea de Stat „Alecru Russo” din Bălți, Republica Moldova

Abstract: *This paper analyzes some of the problems of formation of sporadic irregularities Es. The arguments presented in support of the idea of the impact of meteors and micrometeors flow on the accumulation of ionospheric atoms/ions of certain metals. Were systematized dimensional and structural characteristics of the layers Es. Summarizes some of the mechanisms of formation of inhomogeneities Es, identifies some promising research directions.*

Keywords: *meteori/micrometeori, ioni ai metalelor, ionosfera terestră, straturi sporadice Es.*

Introducere

Ionosfera terestră reprezintă un mediu în care, sub influența diversilor factori, în permanență se formează și dispar neomogenități ale plasmei cu parametri spațio-temporali extrem de variați. Neomogenitățile influențează substanțial condițiile și traseele de propagare a undelor radio dintr-o gamă largă de frecvențe.

Dintre neomogenitățile ionosferice, o clasă separată o constituie cele sporadice din regiunea E, la altitudini cuprinse între ~ 90 și ~ 130 km, care formează stratul sporadic Es. În stratul sporadic Es, **concentrația sarcinilor electrice libere N_{eEs}** , frecvent depășește de zeci și chiar sute de ori concentrația sarcinilor electrice libere de fundal, **N_{e0}** , în regiunea E. Evident, apar două întrebări, referitoare la aceste neomogenități: care sunt sursele „materiei de construcție” pentru acestea? care sunt mecanismele de formare a lor?

Scopul lucrării date constă în prezentarea unor argumente experimentale și teoretice, care ar contribui la elucidarea acestor două probleme.

Ionii metalici din ionosferă

Cercetările ionosferice se efectuează cu diverse instrumente și tehnici speciale. Experimental s-a constatat că, în ionosferă, deseori sunt depistați ioni ai diferitelor metale. S-a presupus că aceștia ar putea avea proveniență meteorică și ar reprezenta „materialul de construcție” al neomogenităților Es.

Ionii metalici din atmosfera superioară au fost și rămân în capul listei temelor cercetărilor științifice experimentale și teoretice. Primele măsurători *in-situ*, care au stabilit tipul și densitatea ionilor din regiunea E a ionosferii, au fost realizate cu spectrometrul de masă, plasat pe o rachetă [1]. La altitudinea de ~ 105 km, au fost măsurate valorile maxime ale densității ionilor câtorva metale: Fe⁺ ($1,5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$), Mg⁺ ($1,4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$) și Ca⁺ ($0,5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$). Măsurători similare cu ajutorul rachetelor au fost raportate în lucrările [2, 3], unul din zboruri fiind realizat în timpul ploii de meteori Leonide. Rezultatele obținute au demonstrat, în mod concludent, că ablația meteorilor este mecanismul responsabil pentru producerea de ioni metalici în atmosfera superioară.

Ulterior, numeroase alte zboruri ale rachetelor au furnizat date privind distribuția de ioni metalici (vezi, de exemplu, [4]). Unele dintre aceste rezultate au furnizat dovezi despre existența unor conexiuni între ionii metalici și stratul sporadic Es.

În lucrarea [5], sunt sintetizate rezultatele a cinci zboruri de rachete în ionosferă, autorul menționând că, în toate zborurile, ionul metalic dominant este Fe⁺, densitatea căruia este, în mediu, mai mare de două ori decât a Mg⁺.

În ultimele două decenii, pentru observarea Fe în regiunea 80-110 km, a început să se folosească frecvent LIDARul, care oferă rezoluții spațiale și temporale înalte (vezi, de exemplu, lucrările [6, 7] și referințele conținute în acestea). Ca urmare, au fost depistate

aparitii „bruște” sau „sporadice” ale unor straturi subțiri (~ 1 km) de Na și Fe, care se formează într-un timp scurt, de ordinul câtorva minute. În baza observațiilor simultane ale straturilor sporadice, ale Fe, Na și Ca+, autorii sugerează prezența unei legături între Es, neutralizarea Fe+, precum și formarea de straturi sporadice Fe.

Primul raport despre determinarea *in situ*, cu un satelit, a Fe+ a fost prezentat în lucrarea [8]. Altitudinea de zbor a satelitelui a fost între 500 și 600 km, mult mai sus de regiunea de ablație a meteorilor (aproximativ 90-110 km). Au fost măsurate densitățile de ordinul 200 cm^{-3} . Explicarea fenomenului de ridicare a ionilor ferului la altitudini mari, în regiuni precuatoriale, a fost dată în cadrul așa-numitului „fountain effect”, interpretare confirmată ulterior în [9] și alte lucrări.

În concluzie, constatăm că în atmosfera superioară, într-o gamă largă de altitudini, în permanentă există ioni și atomi neutri ai metalelor (Fe, Mg, Ca și a.). Sursa acestora este fluxul permanent de meteori, micrometeori etc., care, pătrunzând cu viteze mari în atmosfera terestră din spațiul cosmic, ableză la înălțimea ~ 90 -110 km. În regiunile precuatoriale, ionii metalelor sunt ridicați la altitudini mari, ~ 500 -600 km, sub acțiunea driftului vertical $[\vec{E} \times \vec{B}]$.

Unele caracteristici ale neomogenităților Es

Nivelul normal de ionizare a regiunii E, în timpul zilei, în mediu, este de $\sim 10^{11} \text{ m}^{-3}$, iar în timpul nopții acesta diminuează semnificativ. Măsurătorile efectuate de la sol, cu rachete și sateliți, folosind diverse tehnici, au constat în straturile sporadice Es concentrații ale sarcinilor electrice de zeci și sute de ori mai mari decât cele indicate mai sus. De obicei, grosimea în direcție verticală a acestor straturi este mică, cuprinsă între ~ 1 km și câțiva kilometri, iar dimensiunile orizontale variază în limite foarte mari și pot atinge valori de ordinul sutelor de kilometri. Este important de menționat că aceste straturi sporadice sunt „mânate” de vânturile ionosferice puternice din regiunea E, viteza și sensul cărora sunt funcții de o mulțime de factori – altitudine, coordonate geomagnetice, sezon al anului, timp (zi/noapte), condiții helio-geomagnetice, etc.

Diverse cercetări experimentale ale straturilor sporadice Es au constat prezența unor structuri complexe și foarte variate de la un caz la altul. Cele mai înalte concentrații ale sarcinilor electrice sunt limitate spațial în zone restrânse, denumite în mod obișnuit nori. Forma norilor este, probabil, zdrenț ăroasă, iar marginea de jos/sus este deseori concavă și, în multe cazuri, înclinată.

Compoziția neomogenităților Es, determinată experimental, a stabilit prezența preponderentă a ionilor metalelor și a ionilor atomilor constituenți ai atmosferei din regiunea E. Timpul de existență a straturilor Es este mult mai mare decât durata de viață a ionilor răsponserici de fundal, deci aportul principal în formarea neomogenităților le revine ionilor metalelor, durata de viață a cărora este foarte mare.

Evident, rămâne de explicat, care sunt mecanismele de formare a structurilor sporadice în regiunea E a ionosferei, adică să prezentăm procesele fizice și argumentele plauzibile care conduc la acumularea în zone limitate a ionilor metalici de concentrații mari.

Teorii ale formării straturilor sporadice Es

Cercetările ionosferice în general, și a straturilor sporadice Es în particular, au o istorie lungă. Pentru explicarea particularităților acestor neomogenități au fost emise diverse ipoteze. Cercetările teoretice intense, apariția rachetelor de explorare a ionosferei, implementarea ionosondelor și alte progrese tehnologice au adus mai multe întrebări decât răspunsuri.

Din cauza diversităților multiple ale tipurilor de straturi Es, a variației rapide în timp și spațiu a parametrilor neomogenităților acestora și a altor dificultăți, savanții au înaintat diverse ipoteze și au elaborat mai multe teorii, menite să explice rezultatele experimentale.

Acum a devenit clar că nu poate fi evidențiat un singur mecanism care ar determina formarea tuturor diversităților stratului Es, cu toate particularitățile observate experimental. Este evident că pentru ca în timpul și locul dat al ionosferei să se formeze produsul final – stratul Es – trebuie să se producă o serie de evenimente complexe, cu specific spațio-temporal și o anumită probabilitate.

Accumularea în zone spațiale limitate a ionilor metalici și formarea neomogenităților Es de concentrații foarte mari poate avea loc în rezultatul procesului de redistribuție a acestor ioni în regiunile adiacente.

Au fost emise unele ipoteze care susțin argumentat că stratul sporadic Es este rezultatul redistribuției în direcție verticală a ionilor metalici din ionosferă, ca urmare a acțiunii concomitente a unui vânt cu o structură specifică, denumit vânt de forfecare (wind shear), și a câmpului magnetic al pământului. Ionii sunt adunați într-un strat subțire, rezultând concentrații înalte ale acestora. Aceste idei au fost sistematizate și dezvoltate matematic, astfel a fost elaborată teoria vântului de forfecare (wind shear theory) [10, 11]. În cadrul acestei teorii își găsesc explicația formarea unor straturi sporadice Es în zonele cu latitudini medii. Măsurătorile profilului vântului în regiunea E a ionosferei au depistat uneori prezența vântului de forfecare. În unele situații, sensul vectorului vitezei vântului se modifică funcție de altitudine după spirala lui Ekman. Luând în calcul prezența în regiunea E a multiplexelor perturbații, iregularități și instabilități, acțiunea diverselor unde și generarea câmpurilor electrice de polarizare, mecanismul de formare și distrugere a neregularităților sporadice Es devine foarte complex (vezi și [12]).

Mai recent, unii savanți susțin că stratul sporadic Es poate fi rezultatul redistribuției în direcție orizontală a ionilor metalici din ionosferă, ca urmare a acțiunii unei unde vortex planetară ale vânturilor ciclonice [13].

Concluzii

Cercetările stratului sporadic Es au pus două probleme importante: ce constituie sursa de „material de construcție” a neomogenităților acestui strat? care sunt mecanismele de formare a acestuia?

Măsurătorile mass spectrometrice *in situ* au demonstrat că straturile sporadice Es conțin predominant ioni metalici (Fe⁺, Mg⁺, Ca⁺ ș. a.), durata de viață a cărora este suficientă pentru a explica timpul de existență a neomogenităților. Atomii metalici sunt de proveniență extraterestră.

Se estimează că aproximativ 37×10^6 kg de material interplanetar de la o varietate de surse, inclusiv resturile de asteroizi și comete, este depozitat în atmosfera Pământului în fiecare an [14]. O mare parte din acest material meteoric este ablat în regiunea atmosferei, la altitudinea de 70-150 km, în consecință, se obțin ioni, electroni liberi și atomi neutri.

Procesele dinamice intense din regiunea E (dynamo-regiunea), acțiunea câmpurilor electrice și magnetice, prezența diverselor neomogenități, generarea instabilităților, influența diferitelor unde au ca rezultat formarea și distrugerea continuă a neomogenităților sporadice Es cu un spectru larg a parametrilor spațio-temporal. Pentru unele situații și condiții concrete au fost elaborate teorii, care pot explica procesele de formare și cele dinamice ale stratului Es, stabilite experimental. Însă, există mai multe probleme și întrebări referitoare la straturile Es, care nu au fost complet elucidate.

În ultimii ani, tot mai insistent se analizează regiunea E a ionosferei sub aspectul percepției acesteia în rolul de ecran, pe care se proiectează consecințele diverselor acțiuni, atât din partea de jos – de la litosferă și atmosferă, cât și din partea de sus – de la magnetosferă și spațiul cosmic. Interesante și promițătoare rezultate au fost obținute în stabilirea mecanismu-

lui de transmitere a perturbațiilor din epicentrele cutremurelor de pământ până la altitudinea regiunii E, influența asupra stratului Es, modificarea plasmei din straturile superioare etc., care pot contribui și la crearea unui sistem de pronosticare a cutremurelor. Continuă cercetările experimentale și teoretice în problemele ce țin de legătura interemisferică a regiunilor ionosferice conjugate magnetic, prin intermediul undelor magneto-hidrodinamice [15].

Bibliografie:

1. Istomin V. G. Absolute concentrations of ion components of the earth's atmosphere at altitudes between 100 and 200 km. In: *Planetary and Space Science*. 1963, Vol. 11, Nr. 2. P. 169-172.
2. Narcisi, R. S., Bailey A. D. Mass spectrometric measurements of positive ions at altitudes from 64 to 112 kilometers. In: *Journal of Geophysical Research*. 1965, Vol. 70, Nr. 15. P. 3687-3700.
3. Narcisi R. S. Processes associated with metal-ion layers in the E region of the ionosphere. In: *Space Research VIII: Proceedings of Open Meetings of Working Groups of the Tenth Plenary Meeting of COSPAR*, edited by A. P. Mitra, L. G. Jacchia, and W. S. Newman. North-Holland, New York. 1967. P. 360- 369.
4. Alpers M., Blix T., Kirkwood S., Krankowsky D., Lubken F. J., Lutz S., von Zahn U. First simultaneous measurements of neutral and ionized iron densities in the upper mesosphere. In: *Journal of Geophysical Research*. 1993, Vol. 98, Nr. A1. P. 275-283.
5. Kopp E. On the abundance of metal ions in the lower ionosphere. In: *Journal of Geophysical Research*. 1997, Vol. 102, Nr. A5. P. 9667-9674.
6. Gardner C. S., Kane T. J., Senft D. C., Qian J., Papen G. C. Simultaneous observation of sporadic E, Na, Fe, and Ca+ layers at Urbana, Illinois: three case studies. In: *Journal of Geophysical Research*. 1993, Vol. 98, Nr. D9. P. 16865-16873.
7. Kane T. J., Gardner C. S. Structure and seasonal variability of the nighttime mesospheric Fe layer at midlatitudes. In: *Journal of Geophysical Research*. 1993, Vol. 98, Nr. D9. P. 16875-16886.
8. Hanson W. B., Sanitani S. Meteoric ions above the F2 peak. In: *Journal of Geophysical Research*. 1970, Vol. 75, Nr. 28. P. 5503-5509.
9. Hanson W. B., Sterling D. L., Woodman R. F. Source and identification of heavy ions in the equatorial F-layer. In: *Journal of Geophysical Research*. 1972, Vol. 77, Nr. 28. P. 5530-5541.
10. Whitehead J. D. The formation of the sporadic-E Layer in the temperate zones. In: *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1961, Vol. 20, Nr. 1. P. 49-58.
11. MacLeod M. A., Keneshea T. J., Narcisi R. S. Numerical modeling of a metallic ion sporadic-E layer. In: *Radio Science*, 1975, Vol. 10, Nr. 3. P. 371-388.
12. Mathews J.D. Sporadic E: current views and recent progress. In: *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1998, Vol. 60, Nr. 4. P. 413-435.
13. Shalimov S., Haldoupis C. A model of mid-latitude E-region plasma convergence inside a planetary wave cyclonic vortex. In: *Annales Geophysicae*, 2002, Vol. 20. P. 1193-1201.
14. Peucker-Ehrenbrink B. Accretion of extraterrestrial matter during the last 80 million years and its effect on the marine osmium isotope record. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, Vol. 60, Nr. 17. P. 3187-3196.
15. Abramciuc V. The terminator-excited Alfvén waves as a generator of magnetically-conjugate sporadic E-layers. In: *Fizica și Tehnologiile Moderne*, 2011, Vol. 9, Nr. 1-2. P. 65-71.