

C.Z.U. 550.388.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ПЕРЕХОДНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

**Абрамчук Валерий**

(Государственный Университет им. А.Руссо, Республика Молдова)

Приведены результаты экспериментальных исследований неоднородностей  $E$ - и  $F$ -областей среднеширотной ионосферы в предвосходное и послезаходное время суток, в основном около зимнего солнцестояния. Указанные исследования являются продолжением предыдущих работ. Статистический анализ данных выявил закономерности временных вариаций вероятности появления спорадического слоя  $E_S$  и его высотно-частотных характеристик, критической частоты слоя  $F2$  и вероятности появления  $F$ -spread в указанные периоды. Отмечено, что обнаруженные закономерности могут быть объяснены в рамках ранее рассмотренного автором механизма передачи возмущений между магнитно-сопряженными областями ионосферы посредством альфвеновских волн.

### Введение

В результате длительных наблюдений за ионосферой с помощью ракет, спутников и другой сложной наземной аппаратуры (вертикального наземного и внешнего радиозондирования, установки некогерентного рассеяния радиоволн, доплеровских установок, использования сложнокодированных сигналов и крупных фазированных антенных систем) установлено, что ионосфера характеризуется большой изменчивостью и широким спектром неоднородностей. Исследование неоднородной структуры ионосферы имеет большое фундаментальное и прикладное значение.

В работах [1, 2] было установлено, что на средних широтах неоднородность ионосферы проявляется особым образом в переходное время суток и выражается в увеличении интенсивности образования спорадических неоднородностей в  $E$ -области.

Целью данной работы является проведение дальнейшего анализа неоднородностей  $E$ - и  $F$ -областей среднеширотной ионосферы в предвосходное и послезаходное время суток, в основном около зимнего солнцестояния, с привлечением дополнительных экспериментальных данных, касающихся вероятности появления слоя  $E_S$  и его высотно-частотных характеристик, критической частоты слоя  $F2$  и вероятности появления  $F$ -spread.

### Результаты экспериментальных исследований

Наземное вертикальное радиозондирование продолжает оставаться основным непрерывным и самым распространенным методом исследования ионосферы. Для изучения неоднородной структуры ионосферы этот метод имеет ряд значительных преимуществ по сравнению с другими, необходимо

также учитывать, что некоторые из указанных методов предназначены для исследования областей больших высот ионосферы.

В данной работе с целью выявления связи с результатами работ [1-3] были проанализированы экспериментальные данные наземного вертикального радиозондирования на ионосферной станции Москва за периоды около зимнего солнцестояния. Были обработаны ионограммы, получаемые через каждые 15 минут и охватывающие лишь переходное время суток. В работе [1] были выявлены и проанализированы статистически значимые максимумы вероятности появления слоев  $E_S$  в предвосходный и послезаходный периоды зимнего времени. В связи с этим была поставлена цель провести статистический анализ высотно-частотных характеристик этих неоднородностей в указанное время.

Было экспериментально установлено, что в нижней ионосфере, наряду с регулярным слоем  $E$ , существуют разнообразные по характерным параметрам неоднородности электронной концентрации, обозначаемые общим термином – спорадический слой  $E_S$ . Специфичность этого слоя по сравнению с регулярными слоями ионосферы обнаруживается в особенностях его проявления. Прежде всего, отмечают нерегулярность появления спорадического слоя  $E_S$  [1], что позволяет говорить лишь о вероятности его возникновения, которая зависит от времени суток и года, положения места наблюдения на Земле, от ряда гелиогеофизических факторов.

Другой характеристикой спорадического слоя  $E_S$  является полупрозрачность, выражающаяся в том, что при наземном радиозондировании ионосферы в определенном интервале частот одновременно наблюдаются радиоволны, отраженные от  $E_S$  и от вышележащих слоев (чаще всего от регулярного слоя  $F_2$ ). Исходя из этого, спорадический слой  $E_S$  характеризуется двумя частотными параметрами:  $f_b E_S$  - называемой частотой экранирования (для рабочих частот  $f < f_b E_S$  слой  $E_S$  является непрозрачным, а значит, полностью экранирует вышележащие слои) и  $f_0 E_S$  - предельная частота отражения обыкновенной волны, т. е. максимальная частота радиоволны, отражаемая от этого слоя. Таким образом, разность  $Df E_S = f_0 E_S - f_b E_S$  определяет диапазон радиополупрозрачности слоя  $E_S$ . Отметим, что иногда можно обнаружить слои, для которых  $Df E_S = 0$ . Важной особенностью спорадического слоя  $E_S$  является отсутствие группового запаздывания в области предельной частоты отражения, которое, однако, всегда наблюдается для регулярных слоев.

Результаты численной обработки ионограмм позволила выявить временные зависимости средних значений частотных характеристик спорадических образований. На рис. 1 приведены временные вариации средних значений предельной частоты  $f_0 E_S$  и частоты экранирования  $f_b E_S$ , полученные в результате обработки экспериментальных данных станции Москва за декабрь 1980 г. Можно заметить, что наблюдается достаточно высокое подобие во временном ходе  $f_b E_S$  и  $f_0 E_S$  в предрассветный период. Диапазон радиополупрозрачности  $Df E_S$  слоя  $E_S$  чаще всего принимает значения в диапазоне  $0,5 \div 1$  МГц, од-

нако в интервале времени  $\sim 5$  час. 15 мин.  $\div$  6. час. 30 мин. значение больше среднего за месяц. В этом временном интервале наблюдается выраженный максимум значений  $f_oE_s$ .



Рис. 1. Временные зависимости  $f_oE_s$  и  $f_bE_s$

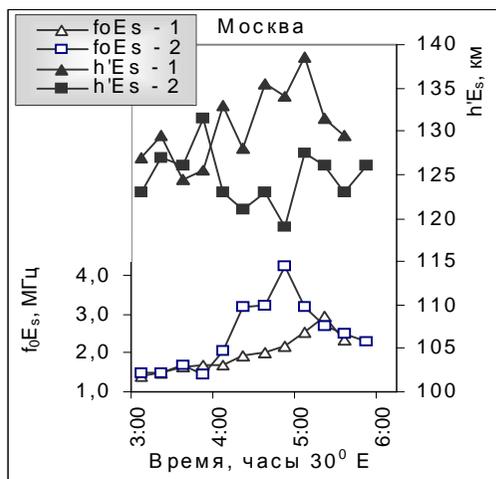


Рис. 2. Вариации  $h'E_s$  и  $f_oE_s$  в предрассветное время

На рис. 2 приведены два примера (станция Москва, 14 и 23 декабря 1980 г. – кривые 1 и 2 соответственно), иллюстрирующие типичное поведение действующей высоты  $h'E_s$  и предельной частоты  $f_oE_s$  спорадического слоя  $E_s$ , которая обнаруживается в предрассветное время зимнего периода. Отметим, что действующая высота  $h'E_s$  спорадического слоя  $E_s$  испытывает в указанный интервал времени достаточно высокую, имеющую в основном иррегулярный характер изменчивости, тогда как ход предельной частоты согласуется со среднестатистическими данными, приведенными на рис. 1.

Одно из наиболее интересных явлений, выявляемых при импульсном вертикальном зондировании ионосферы, состоит в том, что иногда отраженный сигнал теряет свою строго определенную структуру, становится размытым (диффузным), имеет значительно большую продолжительность, чем зондирующий импульс. Данное явление, получившее название  $F$ -spread, обычно наблюдается при исследовании области  $F$  ионосферы и, согласно современным представлениям о динамике ионосферы, является индикатором неоднородной структуры области отражения радиоволн (см., например, [4]). Исследования неоднородной структуры ионосферы на основе анализа случаев  $F$ -spread представляют ценность как для изучения физики, морфологии и механизмов явления, так и для прогнозирования условий устойчивой радиосвязи и неискаженной передачи информации по каналам связи, зависящим от состояния ионосферы.

Учитывая этот факт, были проанализированы экспериментальные данные вертикального радиозондирования ионосферы на станции Москва для

установления закономерностей появления  $F$ -spread. Полученные результаты дадут возможность судить о наличии неоднородностей в области отражения радиоволн. С этой целью рассчитывалась вероятность  $PF(\%)$  появления на ионограммах всех типов  $F$ -spread в интервале времени от полуночи до 9 часов (при этом используется местное  $UT+2h$ , а не декретное время). Результаты статистической обработки экспериментальных данных за декабрь 1980 г. были обобщены и представлены на рис. 3. Для сравнения приведена временная зависимость вероятности  $PE_s(\%)$  появления спорадических образований в  $E$ -области ионосферы за тот же период.

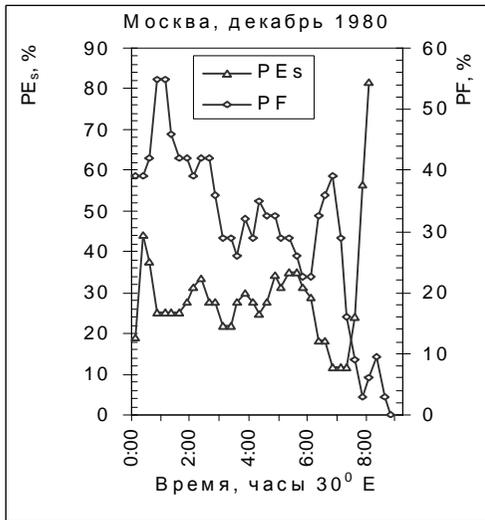


Рис. 3. Временные зависимости средних значений  $PE_s$  и  $PF$

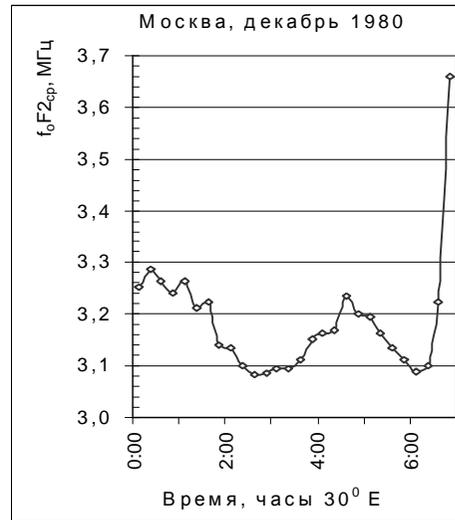


Рис. 4. Вариации  $f_0F2_{cp}$  в предрассветное время

Анализ экспериментальных данных демонстрирует удовлетворительную корреляцию между зависимостями  $PE_s$  и  $PF$  в указанное время, а это может свидетельствовать о том, что в рассматриваемый период ионосфера подвержена интенсивному воздействию определенных факторов во всем диапазоне высот  $E$ - и  $F$ -областей.

В работе также проанализированы частотные характеристики слоя  $F2$  ионосферы за указанный месяц. Оказалось (см. рис. 4), что временная зависимость среднего значения критической частоты  $f_0F2_{cp}$  в предрассветное время также характеризуется двумя минимумами (первый - в  $\sim 2$  час. 30 мин. и второй - в  $\sim 6$  час.) и одним максимумом (в  $\sim 4$  час. 30 мин.). В ходе исследования обнаружено, что значения  $f_0F2$  в указанные минимумы незначительно отличаются друг от друга, а разность между значением в максимуме и средним значением этих двух минимумов равна  $\sim 0,15$  МГц. Это свидетельствует о том, что в  $\sim 4$  час. 30 мин. максимальная концентрация электронов в слое  $F2$  ионосферы была больше на  $DN_e \gg 2,8 \times 10^8$  эл./м<sup>3</sup>, чем в периоды, соответствующие минимумам.

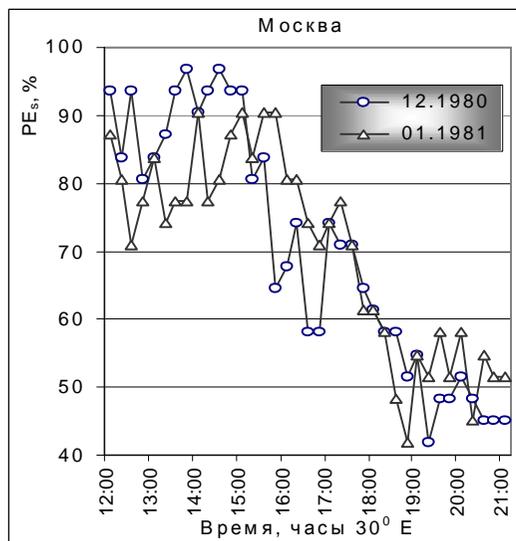


Рис. 5. Временные вариации  $PE_s$  в после-заходный период

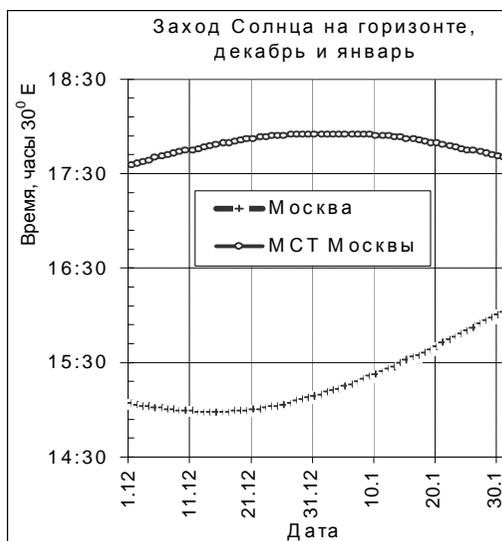


Рис. 6. Время захода Солнца на горизонте

В результате наблюдений обработаны и проанализированы ионосферные данные, касающиеся послезаходного времени зимнего периода. Необходимо заметить, что временная зависимость вероятностной характеристики спорадического слоя  $E_s$  испытывает достаточно сложные флуктуации, однако на её постепенном временном спаде обнаружены две характерные точки: начало уменьшения  $PE_s$  и момент, когда этот параметр принимает минимальное значение. На рис. 5 приведены зависимости  $PE_s$  от времени по данным станции Москва для декабря 1980 г. и для января 1981 г., имеющие высокий уровень подобия формы и временное смещение.

В поведении высотно-частотных параметров слоя  $E_s$  в послезаходный период наблюдается сложный характер изменений, который контролируется временем захода Солнца, но для установления надежных зависимостей необходим также учет смещения времени захода Солнца относительно зимнего солнцестояния (см. рис. 6). Это относится и к вариациям  $f_oF2$  и  $PF$  в указанный период.

### Интерпретация экспериментальных данных и выводы

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что в переходное время суток на высотах областей  $E$  и  $F$  ионосферы наблюдается высокий уровень образования неоднородностей. На ионограммах вертикального радиозондирования эти неоднородности проявляются в  $E$ -области в виде спорадических образований  $E_s$ , а в области  $F$  — в виде рассеянных отражений  $F$ -spread. Выявлены два временных интервала, проявляющихся в предвосходное и послезадное время и характеризующихся специфической временной вариацией. Как указывалось в работе [1], в

предвосходном периоде зимнего времени интенсивность образования спорадических неоднородностей в  $E$ -области достаточно жестко контролируется временем восхода Солнца в магнитно-сопряженной области точки наблюдения.

Достаточно большой диапазон полупрозрачности слоя  $E_s$ , наблюдаемый в предвосходное время (см. рис. 1), указывает на то, что значительную роль в образовании неоднородностей играет турбулентность ионосферы [5].

В результате вышеприведенного анализа установлено, что концентрация электронов в слое  $F2$  испытывает предвосходное увеличение, проявляющееся в росте критической частоты  $f_oF2$  (рис. 4). Увеличивается в этот период и вероятность появления рассеянных отражений  $F$ -spread (рис. 3), явление, которое полностью исчезает после местного восхода Солнца. Выявленные закономерности подтверждаются теорией, согласно которой перенос возмущений между магнитосопряженными областями ионосферы осуществляется посредством альфвеновских волн (см. работы [1, 3, 5]).

Проанализируем поведение  $PE_s$  вблизи захода Солнца. В декабре месяце сравнительно постоянная временная зависимость  $PE_s$  в дневное время испытывает резкое уменьшение в период с  $\sim 15$  час. ( $PE_s = 93,6\%$ ), образуя один минимум в  $\sim 19$  час. 15 мин. ( $PE_s = 42\%$ ). Для сравнения на рис. 5 приведены такие же данные для января 1981 г. В этом случае началу уменьшения  $PE_s$  и указанному минимуму соответствуют следующие значения: в 15 час. 45 мин.  $PE_s = 90,3\%$ , а в 18 час. 45 мин.  $PE_s = 42\%$ . Таким образом, данным характерным точкам соответствуют одинаковые значения вероятности появления спорадического слоя  $E_s$ , которые по времени оказываются смещенными относительно друг друга. Анализ показал, что подобное поведение  $PE_s$  в рассматриваемое время контролируется заходом Солнца в точке наблюдения, что также коррелирует с началом уменьшения  $PE_s$ , и с заходом Солнца в магнитно-сопряженной точке, что коррелирует с минимумом значения  $PE_s$ , после которого наблюдается её увеличение (см. рис. 6). Так, было замечено, что для географических координат станции Москва заход Солнца на горизонте 1 декабря и 31 декабря происходит почти в одно и то же время - в 15 час. 05 мин. и в 15 час. 09 мин. соответственно. При учете пятнадцатиминутного интервала получения экспериментальных данных указанное время не оказывает влияния на наблюдаемую картину. Совершенно иная ситуация в январе: для станции Москва момент захода Солнца на горизонте 1 января и 31 января значительно отличается и происходит в 15 час. 10 мин. и в 16 час. 03 мин. соответственно. Это и обуславливает смещение момента спада  $PE_s$  в январе по сравнению с декабрем. Время захода Солнца в магнитно-сопряженной точке станции Москва (географические координаты: широта,  $j = -42,6^\circ S$ , долгота,  $l = 56,4^\circ E$ ) в течение декабря и января изменяется незначительно (в пределах 20 мин.). Анализ показал, что время захода Солнца в магнитно-сопряженной точке контролирует наступление минимума  $PE_s$ . На рис. 5 отражено смещение этого ми-

нимума на  $\sim 30$  мин. в январе по сравнению с декабрем, что согласуется с расчетными данными.

Таким образом, учитывая результаты обработки экспериментальных данных, можно заключить, что в переходное время суток около зимнего солнцестояния ионосфера подвержена интенсивным воздействиям, приводящим к образованию неоднородностей в  $E$ - и  $F$ - областях. Механизмы образования неоднородностей в значительной степени контролируются временем восхода и захода Солнца в точке наблюдения и в магнитно-сопряженной области. Как отмечено в [1], в переходное время суток в зимний период создаются благоприятные условия для реализации эффективной связи между магнитносопряженными областями ионосферы средних широт посредством альфвеновских волн. При этом наиболее вероятным источником возмущений является солнечный терминатор [6].

Можно заметить, что на средних широтах явление F-spread может быть вызвано и распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ), подтверждением чего являются результаты серии работ Боумана (см. [7]).

### Список литературы

1. Abramchuk, V.P., Oraevsky, V.N., Ruzhin, Yu.Ya., *Sporadic E layer in the twilight period during winter and its relations to sunrise in the conjugate area* // Acta Geod., Geoph. Mont. Hung., 1987, V. 2, N. 1-2, p.199 - 209.
2. Абрамчук, В.П., Ружин, Ю.Я., *Статистические характеристики спорадических образований средних широт и их роль в распространении радиоволн* // Методы и средства обработки сигналов. Межведомственный сборник, Московский Физико-Технологический Институт, Москва, 1988б стр. 114 – 120.
3. Abramciuc, V., *Reflecții asupra mecanismelor de creare a stratului sporadic E al ionosferei* // Conferința Națională de comunicări științifice / Universitatea „Ștefan cel Mare”, Suceava, 2004, p. 31 - 34.
4. Гершман, Б.Н., Казимировский, Э.С., Кокоуров, В.Д., Чернобровкина, Н.А., *Явление F-рассеяния в ионосфере*, Москва, Наука, 1984, 141 стр.
5. Ружин, Ю.Я., Абрамчук, В.П., *Вклад турбулентности в образовании неоднородностей E-области ионосферы* // Материалы научной конференции по вопросам исследования неоднородной структуры ионосферы, Алма-Ата, 2001, стр. 67- 69.
6. Сомсиков, В.М., *Солнечный терминатор и динамика атмосферы*, Алма-Ата, Наука, 1983, 192 стр.
7. Bowman, G.G., *The nature of ionospheric spread-F irregularities in midlatitude regions* // Journal Atmospheric and Terrestrial Physics, 1981, V. 43, n.1, p. 65-79.

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE IONOSPHERE DURING SUNRISE AND SUNSET IMMEDIATE PERIODS**

**Valeriu Abramciuc**

(State University „Alec Russo”, Republic of Moldova)

The article being the continuation of the previous investigations of the author presents the results of experimental investigations of the heterogeneity in the E and F region of the ionosphere in the middle latitudes, during the sunrise and sunset immediate periods, basically about the winter solstice. The statistical analysis of the obtained data revealed the regularity of temporary variation of the probability of the appearance of the sporadic E<sub>S</sub> layer and its high-frequency characteristics, as well as the critical frequency of the F2 layer and F-spread events in the indicated periods. It is shown that the discovered regularity is likely to be interpreted on the basis of the previous analysis of the transfer mechanism of the perturbation between the magnetically conjugated areas by means of Alfvén waves.

Prezentat la redacție la 4 ianuarie 2006

C.Z.U.621.391

## **UN MODEL PARAMETRIC DE PROPAGARE A UNDELOR RADIO ÎN MEDIUL URBAN**

**Eugeniu Plohotniuc**

(Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

Este prezentat un model parametric de calcul al intensității semnalului radio în benzile VHF-UHF, în condițiile propagării în mediul urban. Rezultatele obținute în cadrul acestui model sunt verificate prin comparare cu datele experimentale obținute în urma unor serii de măsurări efectuate în orașele Holon (Israel), Kingston (Jamaica) și Bălți (Moldova). Modelul teoretic permite determinarea intensității semnalului radio la recepție cu o precizie de 8 - 18 dB. Rezultatele demonstrează că, pentru condițiile de mediu urban și rural, modelul propus oferă rezultate concordante cu măsurările.

### **Introducere**

Orașele moderne au o topografie complicată, cu clădiri distribuite aleatoriu pe o suprafață neregulată. Configurația specifică a topografiei acestora determină condiții specifice de propagare la nivelul stradal a undelor radio din benzile VHF-UHF. În aceste condiții sunt prezente arii de umbră și au loc fenomene de împrăștiere, difracție, reflexie și interferență [1–8].

Modelarea analitică a propagării undelor radio în condiții urbane reale, vizând determinarea intensității semnalului radio la recepție, este foarte dificilă și nu poate fi generalizată pentru toate orașele. Totuși un model parametric simplificat, care ar putea fi folosit pentru calculul intensității semnalului radio la recepție poate fi construit prin substituirea distribuției reale a clădirilor și a