

СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ ВЕРОЯТНОСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА ЧЕРЕЗ СЛОЙ E_s НА ЧАСТОТАХ, БЛИЗКИХ К 50 МГц

С. А. Охремчик

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 02.07.2014 г.

Аннотация: обсуждаются результаты экспериментальных исследований вероятностных характеристик распространения телевизионных сигналов по радиоканалу через слой E_s ионосферы на расстояния свыше 1000 км. На основе многолетних наблюдений получены вариации вероятности существования радиоканала для частот близких к 50 МГц в интервале суток 8...22 ч. Выявлен максимум вероятности перед заходом Солнца. Сопоставление с вариациями вероятностных характеристик вертикального зондирования слоя E_s за полные сутки позволяет сделать вывод о наличии также и утреннего максимума вероятности существования исследуемого радиоканала, который, как и вечерний, связан с регулярным воздействием на ионосферу солнечного терминатора в переходные часы суток (переход ночь-день и наоборот).

Ключевые слова: ионосфера, спорадический слой E, радиоканал, телевизионный сигнал, отношение сигнал-шум, вероятность, частота экранирования, коэффициент отражения, максимальная применимая частота, солнечный терминатор, акустико-гравитационные волны.

DIURNAL VARIATIONS OF EXISTENCE PROBABILITY OF THE IONOSPHERIC RADIO CHANNEL VIA THE SPORADIC E LAYER AT FREQUENCY NEAR TO 50 MHz

S. A. Okhremchik

Abstract: the results of the experimental research of television signal propagation probable characteristics via sporadic E layer within more than 1000 km are discussed. According to many years experiments the radio channel variation probability at the carrier frequency around 50 MHz from 8 to 22 o'clock was received. The maximum probability before the sunset was found. The comparison of variations of the sporadic E layer probability under vertical radio sounding makes it possible to come to the conclusion that there is also morning maximum of probability of radio channel. As well as the evening maximum it is connected with the regular influence on the ionosphere of the solar terminator during day to night or night to day change.

Keywords: ionosphere, sporadic E layer, radio channel, television signal, signal/noise ratio, probability, blanketing frequency, reflection coefficient, maximum used frequency, solar terminator, acoustic gravity waves.

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1990–е гг. на кафедре радиофизики ВГУ проводились многолетние экспериментальные исследования распространения метровых радиоволн через спорадический слой E_s ионосферы, или E_s -слой. С этой целью осуществлялся приём сигналов загоризонтных телевизионных

(ТВ) станций стран Западной Европы, удалённых от места приёма на 1200...2000 км. Одной из задач эксперимента было исследование вероятностных характеристик спорадического радиоканала, в частности, вариаций вероятности его существования в интервале суток от 8.00 до 22.00 ч на несущих частотах, близких к 50 МГц. Сигналы ТВ станций транслировались в течение значительной части суток, однако фактический режим трансляции для принимающей стороны являлся неконтролируемым. Поэтому в настоящей статье обсуждаются полученные в эксперименте суточные вариации вероятности существования спорадического радиоканала и возможное влияние на них временного режима трансляции сигналов принимаемых ТВС.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные исследования проводились в заповеднике ВГУ Галичья гора (52,6 °N; 38,8 °E). Место приёма находилось вне зон обслуживания региональных ТВС, работавших в исследуемом диапазоне частот, что обеспечивало благоприятную электромагнитную обстановку и позволяло вести приём ТВ сигналов, отражённых E_s -слоем (в дальнейшем E_s -сигналов), лишь на фоне тепловых и космических шумов.

Приёмно-измерительный тракт состоял из горизонтально поляризованной логопериодической антенны с коэффициентом усиления 8 дБ, к выходным зажимам которой был подключен антенный усилитель с выигрышем в отношении сигнал/шум (ОСШ) 1,6 дБ, ТВ приёмников, измерительной и регистрирующей аппаратуры. Приёмная антенна, установленная на высоте 10 м, была ориентирована на запад; при ширине диаграммы направленности 60° это позволяло вести приём E_s -сигналов ТВ станций от Скандинавии до стран арабского Востока на несущих частотах 48,25; 49,75 и 59,25 МГц. Трассы E_s -сигналов идентифицировались по ТВ испытательным таблицам, информативным заставкам и звуковому сопровождению. Наблюдения проводились во время наиболее развитого спорадического слоя (июнь, июль и август) ежедневно с 8 до 22 ч. Начало прохождения сигнала регистрировалось по появлению на экране ТВ приёмника различимого изображения, что соответствовало превышению порогового уровня напряжения на входе приёмника $U_{rth} \approx 50$ мкВ. При действующем напряжении шумов на входе приёмника $U_n \approx 5$ мкВ [1] это соответствовало пороговому значению ОСШ $q_{th} \approx 10$.

Пороговая длительность прохождения E_s -сигналов τ_{th} была принята равной 2 минутам, так как более короткие прохождения могли быть вызваны отражением от метеорных следов. В процессе эксперимента фиксировались моменты начала и окончания прохождения E_s -сигналов. По накопленным массивам результатов наблюдений для отдельных радиотрасс рассчитывались следующие вероятностные характеристики спорадического радиоканала:

— вероятность существования спорадического радиоканала за всё время наблюдений

$$P_{ch} [q \geq q_{th}] = \sum_{i=1}^N \frac{\tau_i}{T}, \quad (1)$$

где τ_i — длительность i -го прохождения, N и T — соответственно число прохождений E_s -сигналов и общая продолжительность наблюдений;

— вероятность существования спорадического радиоканала в $[j, j+1]$ -м часовом интервале

$$P_{chj} [q \geq q_{th}] = \sum_{i=1}^M \frac{\tau_{ij}}{T_j}, \quad (2)$$

где τ_{ij} — длительность i -го прохождения в $[j, j+1]$ -м часовом интервале, M и T_j — число прохождений E_s -сигналов и общая продолжительность наблюдений в пределах $[j, j+1]$ -го часового интервала; $j = 8 \dots 22$.

Если допустить замену непрерывных наблюдений за прохождением E_s -сигналов дискретными наблюдениями с временным шагом τ_{th} , то соотношения (1) и (2) могут быть сведены к классическому определению вероятности как отношению числа благоприятствующих исходов к общему числу испытаний.

Для расчёта вероятностных характеристик были выбраны пять надёжно идентифицированных трасс: от ТВ станций Швеции (Веннес), Чехии (Прага), Словакии (Братислава) и Польши (Быдгощ и Варшава), для каждой из которых накоплен большой объём экспериментальных данных по длительности прохождений E_s -сигналов. Рассчитанные по соотношению (1) значения P_{ch} для выбранных трасс за июнь-август 1982...90 гг. и объём экспериментальных данных N указаны в таблице. Там же приведены значения эффективной излучаемой мощности P_{tr} и несущей частоты f_c передатчиков ТВ станций [2], а также геометрических параметров радиотрасс: длины по поверхности Земли S и угла падения ϑ_0 радиоволны на слой E_s ; значения ϑ_0 были рассчитаны при характерной для летних месяцев высоте слоя $hE_s = 120$ км.

Из приведённых в таблице данных следует, что для трасс с близкими значениями эффективной излучаемой мощности P_{tr} значения вероятности P_{ch} увеличиваются с уменьшением f_c , а при равных f_c растут с увеличением мощности, излучаемой антенной ТВ станций.

Суточные вариации $P_{chj} [q \geq q_{th}]$, рассчитанные по соотношению (2), приведены на гистограммах рис. 1 (а-в). Для всех радиотрасс наблюдается сходный характер суточных вариаций вероятности с повышением её значений в полуденные и вечерние часы.

Таблица 1. Характеристики радиотрасс ионосферного распространения ТВ сигналов

№	ТВ станция	f_c , МГц	P_{tr} , кВт	S , км	ϑ_0 , град	N	P_{ch} , %	f_{vth} , МГц
1	Веннес	48,25	60	1670	78,16	350	3,5	6,78
2	Прага	49,75	150	1711	78,3	540	4,8	6,25
3	Быдгощ	49,75	120	1393	77,2	370	2,8	7,1
4	Братислава	59,25	150	1612	78,0	380	2,3	8,95
5	Варшава	59,25	90	1205	76,14	140	0,90	11,09

При расчёте вероятностных характеристик предполагалось, что ТВ станции транслировали сигналы в течение всего интервала наблюдений (8...22 ч), однако фактический режим трансляции мог быть иным и для принимающей стороны оставался неконтролируемым. Поэтому возникла необходимость верификации полученных результатов и интерпретации временного положения максимумов суточных вариаций $P_{chj} [q \geq q_{th}]$.

3. МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Верификацию суточных вариаций $P_{chj} [q \geq q_{th}]$ естественно проводить путём их сравнения с суточными вариациями ионосферного параметра, ответственного за отражение радиоволн слоем E_s . По теоретическим представлениям среднеширотный слой E_s возникает как результат вертикального перераспределения ионизации регулярной области E под действием геомагнитного поля и стратифицированной по высоте системы горизонтальных ветров (теория ветрового сдвига [3], [4]). В результате в точках сходимости на высотах 100...140 км концентрация электронов N_e может в несколько раз превышать фоновую концентрацию регулярной области E , что приводит к возможности отражения слоем E_s радиоволн метрового диапазона, для которых в отсутствие слоя E_s ионосфера прозрачна. Следовательно, в качестве такого характеристического параметра естественно взять концентрацию электронов N_e ,

функционально связанную с плазменной частотой f_p слоя E_s [5]

$$f_p, \text{ МГц} = (80,6N_e)^{0,5} 10^{-6},$$

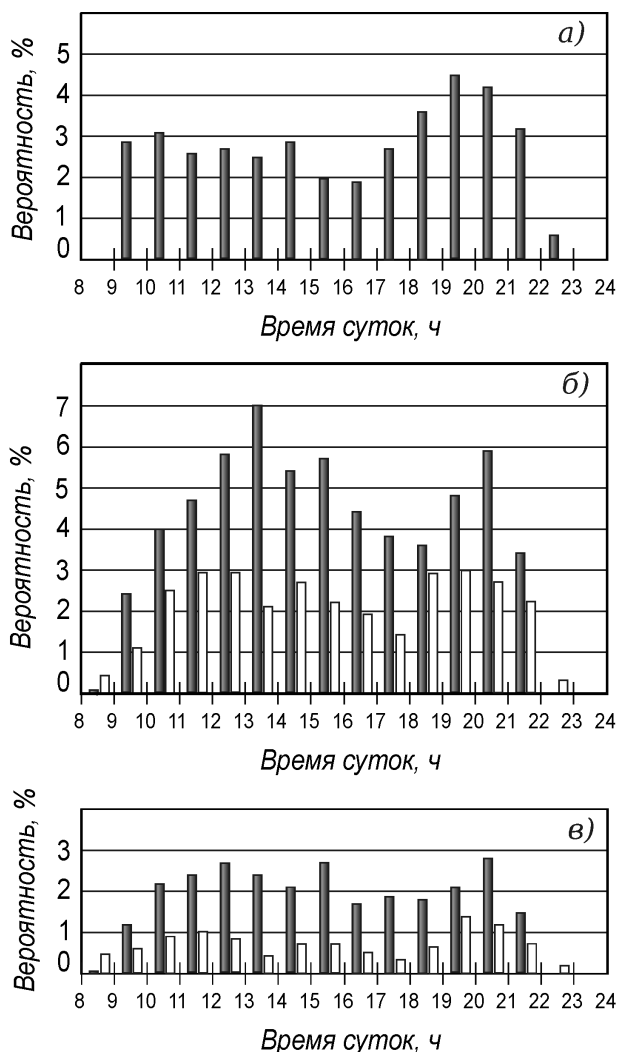


Рис. 1. Гистограммы суточных вариаций вероятности существования радиоканала через слой E_s ионосферы: а — сигналы ТЦ Веннес, несущая частота $f_c = 48,25$ МГц; б — сигналы ТЦ Прага (темные колонки) и ТЦ Быдгоц (светлые колонки) $f_c = 49,75$ МГц; в — сигналы ТЦ Братислава (темные колонки) и ТЦ Варшава (светлые колонки) $f_c = 59,25$ МГц

E_s .

Пусть максимум азимутальной диаграммы направленности (ДН) передающей антенны ориентирован на место приёма, а максимум угломестной ДН — в точку отражения на слое E_s . Запишем выражение для отношения мощности принимаемого сигнала $P_r(f_c)$, распространяющегося через E_s -слой, к мощности шума P_n на входе ТВ-приёмника, согласованного

где $N_e, \text{ м}^{-3}$ — концентрация электронов в слое E_s .

Условия приёма ТВ сигнала, отражённого слоем E_s , можно сформулировать, привлекая представление о максимальной применимой частоте радиоканала, включающего слой E_s , $f_{muf}E_s$ (МПЧ; в англоязычной научной литературе MUF) [6]–[8]. Под $f_{muf}E_s$ подразумевается наивысшая несущая частота сигнала, на которой ещё обеспечивается необходимое для приёма сигнала ОСШ. С этих позиций приём E_s -сигнала становится возможным при выполнении условия:

$$f_{muf}E_s \geq f_c, \quad (3)$$

или при соблюдении эквивалентного условия:

$$f_{pm}E_s \geq f_{pmth}, \quad (4)$$

где f_{pmth} — пороговое значение максимальной плазменной частоты в точке отражения сигнала, которое зависит от несущей частоты ТВ сигнала f_c , энергетических и геометрических параметров радиоканала.

4. РАСЧЁТ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЧАСТОТЫ f_{pmth}

Пороговые значения максимальной плазменной частоты найдём из уравнения радиопередачи радиоканала со слоем E_s . При составлении уравнения радиопередачи полагалось, что сигнал распространяется в свободном пространстве, а потери его мощности вследствие полупрозрачности спорадического слоя могут быть учтены с помощью частотной зависимости коэффициента отражения одной из моделей слоя

с приёмной антенной. Для простейшего случая приёма E_s -сигнала на фоне тепловых и космических шумов для ОСШ $q^2(f_c) = \frac{P_r(f_c)}{P_n}$ можно записать уравнение радиопередачи

$$q^2(f_c) = \frac{P_t G_t A_r(f_c)}{W_{f_s} W_D(f_c) W_{E_s}(f_c) P_n}, \quad (5)$$

где P_t — мощность передатчика, G_t — коэффициент усиления передающей антенны, f_c — несущая частота телевизионного сигнала, $A_r(f_c)$ — эффективная поверхность приёмной антенны. В выражении (5) $W_{f_s} = 4\pi r^2$, $W_D(f) = \exp[2\Gamma_D(f)]$, $W_{E_s}(f) = \frac{1}{\rho_{E_s}^2(f)}$ учитывают ослабление мощности сигнала за счёт сферической расходимости в свободном пространстве, поглощения в области D ионосферы и полупрозрачности слоя E_s ; $\rho_{E_s}(f)$ — коэффициент отражения E_s -слоя; r — длина пути радиосигнала от передатчика к приёмнику. Пересчитанная ко входу приёмника мощность тепловых и космических шумов выражается соотношением: $P_n = kT_0\Delta f \left[\left(\frac{T_a}{T_0} - 1 \right) + N_r \right]$, где k — постоянная Больцмана, Δf — ширина полосы пропускания ТВ-приёмника, T_a — шумовая температура антенны, T_0 — стандартная температура окружающей среды, N_r — коэффициент шума ТВ-приёмника [1]. При $\Delta f = 5$ МГц, $\frac{T_a}{T_0} = 20$, $N_r = 10$ [1] $P_n = 6 \cdot 10^{-13}$ Вт.

Поскольку коэффициент отражения слоя E_s в диапазоне его полупрозрачности падает с увеличением несущей частоты радиосигнала, то ОСШ на входе ТВ приёмника при этом также уменьшается.

Полагая в выражении (5) $q(f_c) = q_{th}$, где q_{th} — пороговое значение ОСШ, необходимое для приёма сигнала, и, пренебрегая поглощением в области D (коэффициент поглощения $\Gamma_D = 0$), что допустимо для диапазона метровых волн, получим уравнение, решением которого является $f_{muf} E_s$

$$\frac{\rho_{E_s}(f_{muf})}{f_{muf}} = \left(\frac{4\pi r}{c} \right) \left(\frac{P_n}{P_t G_t G_r} \right)^{0.5} q_{th}. \quad (6)$$

Как показывают ракетные исследования ионосферы [3], [4], по виду вертикального профиля спорадической ионизации различают два типа слоя E_s : тонкий слой толщиной 0.3...3 км с симметричным по вертикали профилем электронной концентрации (“симметричный” слой E_s) и слой с большим значением градиента электронной концентрации на его нижней границе (градиентный слой E_s). У градиентных слоёв на частотах, превышающих частоту полного внутреннего отражения, спад коэффициента отражения с ростом частоты происходит плавно; у “симметричных” слоёв, напротив, наблюдается его резкий спад. Для обоих типов слоя существуют модели частотной зависимости коэффициента отражения. По оценке, выполненной в [9], для “симметричных” слоёв на частотах, близких к 50 МГц, значения вероятности существования радиоканала существенно ниже, чем экспериментальные. Поэтому для расчёта пороговых значений f_{pmth} воспользуемся моделью градиентного слоя E_s , или, что то же, моделью переходного слоя Эпштейна.

Выражение для частотной зависимости коэффициента отражения переходного слоя Эпштейна имеет вид [10]:

$$\rho_{tl}(f) = \begin{cases} 1, & f \leq f_{pm} \sec \vartheta_0, \\ \frac{\text{sh}[\frac{\pi S}{2}(\cos \vartheta_0 - \lambda)]}{\text{sh}[\frac{\pi S}{2}(\cos \vartheta_0 + \lambda)]}, & f > f_{pm} \sec \vartheta_0. \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $\lambda = \left[(\cos \vartheta_0)^2 - \left(\frac{f_{pm}}{f} \right)^2 \right]^{0.5}$, $S = 0.012lf$ — относительная толщина переходной области слоя; $l, \text{м}$ — эффективная толщина переходной области.

Пороговые значения плазменной частоты f_{pmth} для модели градиентного слоя E_s (7) найдём, решая относительно f_{pm} уравнение (6) с учётом (7) при $f_{muf} = f_c$ и значениях параметров трасс, указанных в таблице. В соответствии с [9] эффективная толщина переходной

области l полагалась равной 10 м. Экспериментальными исследованиями слоя E_s показано [3], что с точностью до 10 % значения максимальной плазменной частоты f_{pm} совпадают со значениями частоты экранирования E_s -слоя $f_b E_s$. Наряду с другими параметрами ионосферы $f_b E_s$ измеряется на ионосферных станциях (и. ст.) вертикального зондирования в течение каждых суток с временным шагом 15 мин. Приближённое равенство f_{pm} и $f_b E_s$ позволяет заменить расчётные значения f_{pmth} пороговыми значениями частот экранирования слоя E_s f_{bth} , значения которых приведены в таблице.

Используя полученные на и.ст. вертикального зондирования значения f_b , можно рассчитать вероятность превышения частотой экранирования f_b заданного порогового уровня f_{bth}

$$P_{vj} [f_b E_s \geq f_{bth}] = \frac{n_j [f_b E_s \geq f_{bth}]}{N_j}, \quad (8)$$

где $n_j [f_b E_s \geq f_{bth}]$ — число случаев превышений частотой экранирования заданного порогового уровня f_{bth} в $[j, j + 1]$ -м часовом интервале, N_j — число зондирований в том же часовом интервале, $j = 0 \dots 23$. Для расчёта $P_{vj} [f_b E_s \geq f_{bth}]$ были использованы результаты 6000 зондирований на и. ст. Киев ($50,7^0 N; 30,3^0 E$) за июнь, июль, август 1982 г., расположенной вблизи средних точек исследуемых радиотрасс. Расчётные значения f_{bth} приведены в таблице. Для высоких пороговых значений f_{bth} (трассы 4 и 5) результаты 15-минутного вертикального зондирования не обеспечивают достаточной статистической надёжности расчёта $P_{vj} [f_b E_s \geq f_{bth}]$, поэтому верификация временных вариаций P_{chj} проводилась для трасс 2 и 3 (см. таблицу), объём зафиксированных прохождений E_s -сигналов для которых наибольший.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Гистограммы суточных вариаций вероятности $P_{vj} [f_b E_s \geq f_{bth}]$ за полные сутки, рассчитанные по результатам вертикального радиозондирования на и. ст. Киев для $f_{bth} = 6,25$ МГц и $f_{bth} = 7,1$ МГц, показаны на рис. 2 (а, б) (тёмные колонки); на тех же рисунках приведены гистограммы вариаций вероятности существования радиоканала со слоем E_s для трасс 2 и 3 во временном интервале 8...22 ч (светлые колонки); стрелками указаны осреднённые за июнь-август значения моментов восхода и захода Солнца в точке отражения ТВ сигналов.

Наиболее полное представление о вариациях вероятностных характеристик слоя E_s в течение полных суток дают результаты вертикального радиозондирования. Из рис. 2 следует, что в переходные часы суток (переход ночь-день и наоборот) в вариациях $P_{vj} [f_b E_s \geq f_{bth}]$ наблюдаются максимумы. При этом повышение вероятности происходит через 2 часа после восхода Солнца в средней точке трассы и приблизительно за такое же время до захода. Согласно экспериментальным наблюдениям [12], такое же временное положение имеют максимумы вероятности появления неоднородностей электронной концентрации в области термосферы, которые связывают с регулярным действием солнечного терминатора (СТ), т.е. перемещающейся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью областью, разделяющей ночную и дневную атмосферу. Учитывая это, естественно предположить, что и в случае слоя E_s вероятность его появления увеличивается в результате действия СТ, который является эффективным источником неоднородных структур во всём диапазоне высот атмосферы [13, 14]. В переходные часы суток в области СТ возникают значительные градиенты температуры, давления и электронной концентрации за счёт резкого изменения количества поглощаемой атмосферой солнечной радиации, что сопровождается генерацией акустико-гравитационных волн (АГВ) [13]. Максимальные значения градиентов атмосферных параметров имеют место в области сильного поглощения солнечной радиации, т.е. в термосфере на высотах 140...180 км и в слое озона [14]. АГВ, генерируемые в термосфере, с течением времени захватывают нижележащие слои [15], [16] и с регулярностью действия СТ вносят стохастическую составляющую в сезонные ветры нижней термосферы, что увеличивает вероятность образования

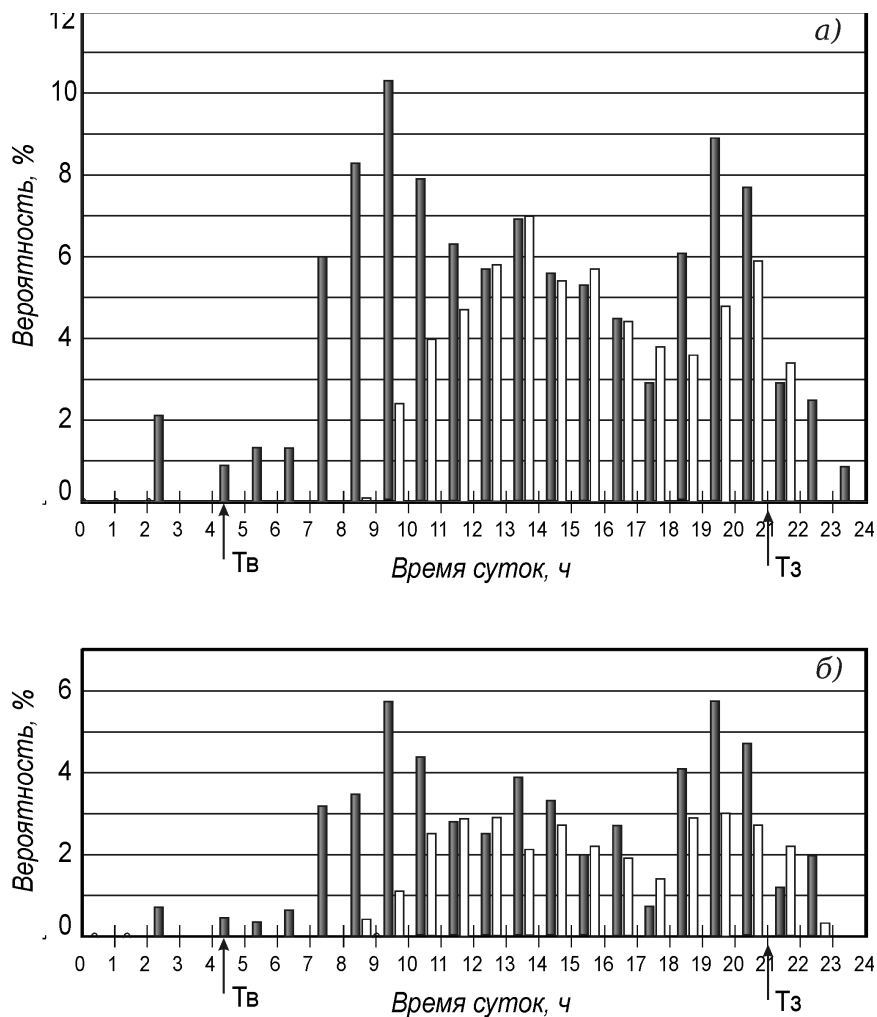


Рис. 2. Гистограммы суточных вариаций вероятности превышения частотой экранирования слоя E_s заданного порогового значения f_{bth} для и. ст. Киев (темные колонки) и вероятности существования радиоканала через слой E_s на несущей частоте $f_c = 49,75$ МГц (светлые колонки): а – $f_{bth} = 6,25$ МГц, сигналы ТЦ Прага; б – $f_{bth} = 7,1$ МГц, сигналы ТЦ Быдгощ; $T_в$ и $T_з$ – осреднённые за июнь–август моменты восхода и захода Солнца

слоя E_S в переходные часы суток.

Учитывая, что отражающей ионосферной неоднородностью как при вертикальном радиозондировании, так и при наклонном распространении ТВ сигналов является слой E_S , естественно ожидать присутствия в суточных вариациях вероятности существования радиоканала $P_{chj} [q \geq q_{th}]$ утреннего и вечернего максимумов. Действительно, как следует из экспериментальных результатов (см. гистограммы на рис. 2 а, б), в вечерние часы в вариациях $P_{chj} [q \geq q_{th}]$ (светлые колонки) наблюдается локальный максимум с тем же временным положением, что и во временных вариациях $P_{vj} [f_b E_S \geq f_{bth}]$ (тёмные колонки), тогда как утренний максимум вероятности при приёме загоризонтных ТВ станций выявлен не был. Его отсутствие, однако, не имеет физического основания и может быть объяснено неконтролируемым приёмной стороной режимом трансляции ТВС. По-видимому, в утренние часы (8...10 ч в месте приёма, а для пунктов расположения ТВ станций на 1,5...2 часа меньше) трансляция сигналов нерегулярна, тогда как при расчёте $P_{chj} [q \geq q_{th}]$ по соотношению (2) предполагалось, что трансляция сигналов передающей стороной велась в течение всего

времени наблюдений за прохождением ТВ сигналов. Вследствие этого значения вероятности радиоканала $P_{chj} [q \geq q_{th}]$ для утренних часов, как следует из рис. 2 (а, б), сильно занижены по сравнению с $P_{vj} [f_b E_S \geq f_{bth}]$. С большой долей вероятности можно полагать, что для интервала суток 10...22 ч трансляция ТВ сигналов велась практически непрерывно. Это предположение подтверждается расчётом вероятности превышения частотой экранирования $f_b E_S$ пороговых уровней 6,25 и 7,1 МГц $P_v [f_b \geq f_{bth}]$ для данного интервала суток. Для $P_v [f_b \geq f_{th}]$ были получены значения, равные, соответственно, 5,6 и 3,05 %, которые не на много превышают значения $P_{ch} [q \geq q_{th}]$, полученные экспериментально для трасс 2 и 3 (см. таблицу), т.е. 4,8 и 2,8 %. Некоторое занижение экспериментальных значений вероятности существования радиоканала для ТВ сигналов можно объяснить тем, что при сверхдальном телевизионном приёме часть принятых загоризонтных ТВ станций остаётся неопознанной.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление суточных вариаций вероятности превышения частотой экранирования слоя E_S заданного порогового уровня с вариациями вероятности существования радиоканала через слой E_S показывает, что неконтролируемая приёмной стороной трансляция ТВ сигналов приводит к заниженным значениям вероятности существования радиоканала в утренние часы (8...10 ч); это не позволяет выявить утренний максимум вероятности. Его физическая обоснованность следует из того, что восходная область СТ значительно более резкая, чем заходная [13], [14].

С учётом влияния солнечного терминатора на слой E_S следует ожидать повышения вероятности существования радиоканала на частотах близких к 50 МГц в утренние часы через 2 часа после восхода Солнца в точке отражения и приблизительно за такое же время до его захода.

Автор приносит благодарность инженеру кафедры радиофизики В. А. Васильеву за помощь при организации и проведении многолетних экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сети телевизионного и звукового ОВЧ и ЧМ вещания: Справочник / М.Г. Локшин [и др.]. — М.: Радио и связь, 1988. — 144 с.
- [2] World radio and TV handbook 1985 / ed. J.M. Frost. — Denmark, 1984. — V. 39. — P. 40.
- [3] Среднеширотный спорадический слой E / С.С. Чавдаров [и др.]. — М.: Наука, 1975. — 119 с.
- [4] Гершман Б.Н. Механизмы образования ионосферного спорадического слоя E_S на различных широтах / Б.Н. Гершман, Ю.А. Игнатъев, Г.Х. Каменецкая. — М.: Наука, 1976. — 106 с.
- [5] Gupta S.R. Formation of sporadic E layers at low magnetic latitudes / S.R. Gupta // Planet. Space Sci. — 1986. — V. 34, № 11. — P. 1081–1085.
- [6] Чёрный Б.Ф. Распространение радиоволн / Б.Ф. Чёрный. — М.: Сов. радио, 1972. — 464 с.
- [7] Радченко Т.А. Статистическая модель канала связи через ионосферный слой E_S / Т.А. Радченко // Геомагнетизм и аэрономия. — 1986. — Т. 26, № 1. — С. 88–92.
- [8] Охремчик С.А. Определение максимальной применимой частоты радиоканала через ионосферный спорадический слой E градиентного типа / С.А. Охремчик // Геомагнетизм и аэрономия. — 1998. — Т. 38, № 1. — С. 179–183.
- [9] Охремчик С.А. Оценка поправочного коэффициента к модифицированной форме закона секанса для радиоканала, включающего слой E_S на частоте 50 МГц / С.А. Охремчик // Геомагнетизм и аэрономия. — 2001. — Т. 41, № 4. — С. 520–525.
- [10] Лукин А.Н. Об отражении ультракоротких радиоволн спорадическим слоем E /

- А.Н. Лукин, С.А. Охремчик // Геомагнетизм и аэрономия. — 1996. — Т. 36, № 4. — С. 183–187.
- [11] Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. — М.: Наука, 1973. — 343 с.
- [12] Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамика атмосферы / В.М. Сомсиков. — Алма-Ата: Наука, 1983. — 192 с.
- [13] Сомсиков В.М. Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором / В.М. Сомсиков // Геомагнетизм и аэрономия. — 1991. — Т. 31, № 1. — С. 1–12.
- [14] Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамические явления в атмосфере (обзор) / В.М. Сомсиков // Геомагнетизм и аэрономия. — 2011. — Т. 51, № 6. — С. 723–735.
- [15] Booker H.G. The role of acoustic gravity waves in the generation of spread F and ionospheric scintillation / H.G. Booker // J. Atmos. and Terr. Phys. — V. 41, № 5. — P. 501–515.
- [16] Чернышёва С.П. Волновые возмущения электронной концентрации в ионосфере вблизи утреннего терминатора / С.П. Чернышёва, В.М. Шефтель, Э.Г. Щаренская // Геомагнетизм и аэрономия. — 1985. — Т. 25, № 2. — С. 143–146.

REFERENCES

- [1] Lokshin M.G. and others. Television and sound nets of VHF and FM radio: Handbook. [Seti televisionnogo i zvukovogo OVCh i ChM veshhaniya: Spravochnik / M.G. Lokshin i dr.]. Moscow: Radio and Communications, 1988, 144 p.
- [2] World radio and TV handbook 1985, ed. J.M. Frost. Denmark, 1984, Vol. 39, p. 40.
- [3] Chavdarov S.S. and others. Midlatitude sporadic E layer. [Sredneshirotnyj sporadicheskiy sloj E / Chavdarov S.S. i dr.]. Moscow: Science, 1975, 119 p.
- [4] Gershman B.N., Ignatiev Yu.A., Kamenetskaja G.H. The mechanisms of ionospheric sporadic E layer formation at different latitudes. [Gershman B.N., Ignat'ev Yu.A., Kameneckaya G.H. Mexanizmy obrazovaniya ionosfernogo sporadicheskogo sloya E_S na razlichnyx shirotax]. Moscow: Science, 1976, 106 p.
- [5] Gupta S.R. Formation of sporadic E layers at low magnetic latitudes, Planet. Space Sci., 1986, Vol. 34, no. 11. pp. 1081–1085.
- [6] Chornay B.F. A propagation of radiowaves. [Chyornyj B.F. Rasprostranenie radiovoln]. Moscow: Sov. Radio, 1972, 464 p.
- [7] Radchenko T.A. A statistic model of the channel of connection via ionospheric sporadic E layer. [Radchenko T.A. Statisticheskaya model' kanala svyazi cherez ionosfernyj sloj E_S]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 1986, Vol. 26, no. 1, pp. 88–92.
- [8] Okhremchik S.A. A finding maximum used frequency of the radio channel via ionospheric sporadic E layer of gradient type. [Oxremchik S.A. Opredelenie maksimal'noj primenimoj chastoty radiokanala cherez ionosfernyj sporadicheskiy sloj E gradientnogo tipa]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 1998, Vol. 38, no. 1, pp. 179–183.
- [9] Okhremchik S.A. A estimate of the correction factor to the change form of the secant law for the radio channel via the sporadic E layer at frequency 50 MHz. [Oxremchik S.A. Ocenka popravochnogo koefficienta k modifitsirovannoj forme zakona sekansa dlya radiokanala, vklyuchayushhego sloj E_S na chastote 50 MGc]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 2001, Vol. 41, no. 4, pp. 520–525.
- [10] Lukin A.N., Okhremchik S.A. On reflection of ultra short radiowaves by the sporadic E layer. [Lukin A.N., Oxremchik S.A. Ob otrazhenii ul'trakorotkix radiovoln sporadicheskim sloem E]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 1996, Vol. 36, no. 4, pp. 183–187.
- [11] Brechovskich L.M. Waves in stratum mediums. [Brexovskix L.M. Volny v sloistykh sredax]. Moscow: Science, 1973, 343 p.
- [12] Somsikov V.M. The solar terminator and dynamics of atmosphere. [Somsikov V.M.

Solnechnyj terminator i dinamika atmosfery]. Alma-Ata: Science, 1983, 192 p.

[13] Somsikov V.M. Generated by solar terminator waves in atmosphere. [Somsikov V.M. Volny v atmosfere, obuslovlennyye solnechnym terminatorom]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 1991, Vol. 31, no. 1, pp. 1–12.

[14] Somsikov V.M. The solar terminator and dynamic phenomenon in the atmosphere (a review). [Somsikov V.M. Solnechnyj terminator i dinamicheskie yavleniya v atmosfere (obzor)]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 2011, Vol. 51, no. 6, pp. 723–735.

[15] Booker H.G. The role of acoustic gravity waves in the generation of spread F and ionospheric scintillation. *J. Atmos. and Terr. Phys*, Vol. 41, no. 5, pp. 501–515.

[16] Chernishova S.P., Sheftel V.M., Scharenskaja E.G. The wave disturbance of electronic concentration in the ionosphere at morning terminator. [Chernyshyova S.P., Sheftel' V.M., Shharenskaya E'.G. Volnovye vozmushheniya e'lektronnoj koncentracii v ionosfere vblizi utrennego terminatora]. *Geomagnetizm i ae'ronomiya — Geomagnetism and aeronomy*, 1985, Vol. 25, no. 2, pp. 143–146.

Охремчик Сергей Аркадьевич, кандидат химических наук, ассистент кафедры радиофизики, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация

E-mail: ohremchiksanb@mail.ru

Тел.: (473)–220–89–16

Okhremchik Sergey Arkadievich, candidate of chemical sciences, assistant of chair of radiophysic, physical faculty, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

E-mail: ohremchiksanb@mail.ru

Tel.: (473)–220–89–16