

УДК 550.388.2 : 621.373.3

РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРУГОСВЕТНЫХ И ОБРАТНЫХ ЭХО/СИГНАЛОВ ВНЕ ПЛОСКОСТИ БОЛЬШОГО КРУГА

В. А. Бубнов, Г. А. Румянцев

Приводятся экспериментальные данные по распространению обратных эхо/сигналов вне плоскости большого круга. Рассматривается влияние горизонтально неоднородной ионосферы зоны сумерек и большого круга минимального ионосферного поглощения на наблюдаемые эффекты.

Экспериментальные исследования, проведенные в 40-х годах [1], показали, что обратные эхо/сигналы (ОС) могут распространяться вокруг Земли со значительными азимутальными отклонениями от дуги большого круга, на которой лежат корреспондирующие пункты при расстоянии между ними до 1000 км

Более поздние исследования [2], проводимые только в дневные часы, выявили преимущественное распространение ОС в плоскости большого круга при расстоянии между пунктами в 3000 км.

При изучении азимутальных характеристик ОС [3] в утренние и вечерние часы также были замечены случаи отклонения азимутов этих сигналов от плоскости большого круга при удалении передающих пунктов от приемного на расстояния от 500 до 3200 км. Для более тщательного исследования этого явления в период с сентября 1972 года по ноябрь 1973 года в г. Ленинграде производился набор статистических данных по обратным эхо/сигналам радиомаяков, излучающих в диапазоне частот 6300—17200 кГц и расположенных на расстояниях от 500 до 3200 км от пункта приема.

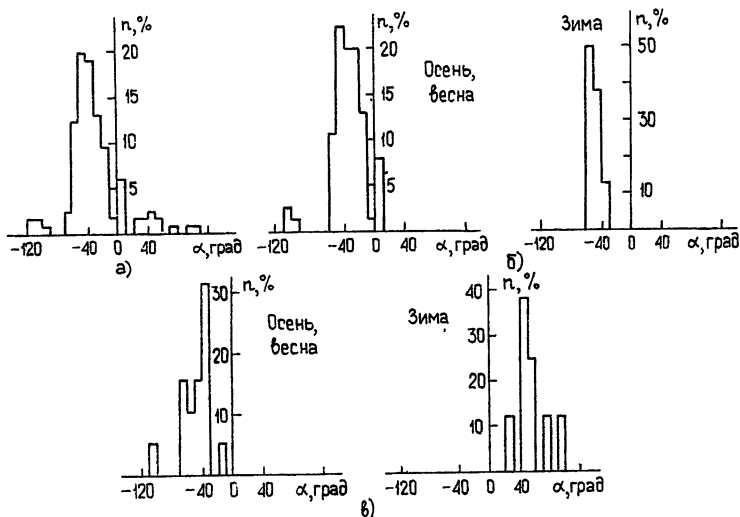


Рис. 1.

На рис. 1 представлены гистограммы отклонения азимутов ОС за весь период наблюдений (рис. 1а—за период наблюдений 9.72—10.73 гг.). Отдельно построены гистограммы отклонения азимутов в утренние часы (рис. 1б) и в вечерние часы (рис. 1в) наблюдений. При этом гистограммы строились отдельно для сезонов осень (весна) и зима. Как видно из рисунков для сезона осень (весна), как в утренние, так и в вечерние часы наблюдаются в основном отрицательные значения отклонения азимутов ОС с наиболее вероятной величиной около -40° , что указывает на возможность наличия одного и того же механизма, приводящего к подобным отклонениям азимутов сигналов.

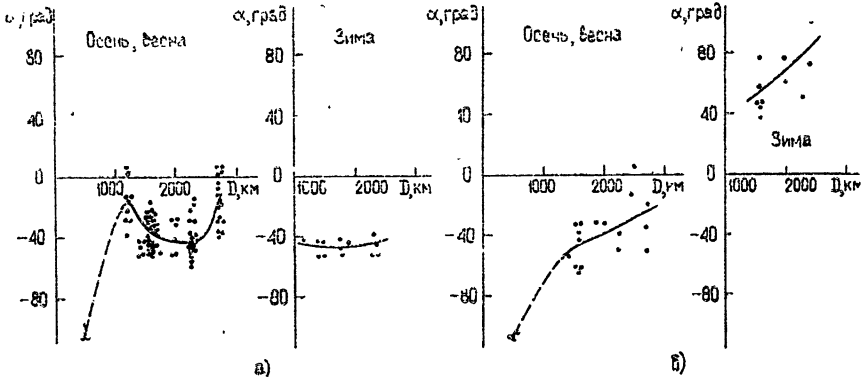


Рис. 2.

В зимний период в большем числе случаев в утренние часы отклонения достигают -55° , хотя в вечернее время отклонения становятся положительными и достигают 45° . На рис. 2 представлены экспериментальные данные отклонения азимутов ОС в зависимости от расстояния до радиомаяков для утренних (рис. 2 а), вечерних (рис. 2 б) часов наблюдений и различных сезонов года. Экспериментальные данные показывают, что для радиомаяков, расположенных на расстоянии до 500 км, как в утреннее, так и в вечернее время азимутальные отклонения могут составлять -90° и более, что, по-всей видимости, определяется областью фокусировки диаметром около 1000 км. Для расстояний до радиомаяков 2000—2200 км в утренние часы осенью (весной) также наблюдается экстремум азимутального отклонения, достигающий величины -60° , который может быть объяснен наличием второй области фокусировки, центр которой сдвинут приблизительно на 2000 км относительно первой. В вечернее время этот эффект менее выражен, так же как и утром в зимний период. На рис. 3 представлены экспериментальные графики отклонения азимутов ОС от дуги большого круга в зависимости от времени суток и сезона. Из графиков видно, что в дни равноденствий траектории распространения ОС претерпевают наибольшие искривления в послевосходные и послезаходные часы в месте приема. При этом некоторое искривление траекторий наблюдается также и в дневное время. В зимний период искривления траекторий наибольшие в послевосходные и предзаходные часы. Взаимосвязь величины азимутального отклонения ОС от плоскости большого круга с утренними и вечерними часами указывает на роль сумеречной зоны в этом явлении. Наличие регулярных горизонтальных градиентов ионизации в этой зоне существенно влияет на траектории распространения радиоволн. А так как оптимальный азимут распространения ОС в утренне-вечерние часы совпадает с положением сумеречной зоны [3], то горизон-

тальные градиенты ионизации представляются в этом случае в виде поперечных наклонов, приводящих к существенным боковым отклонениям траектории распространения радиоволн.

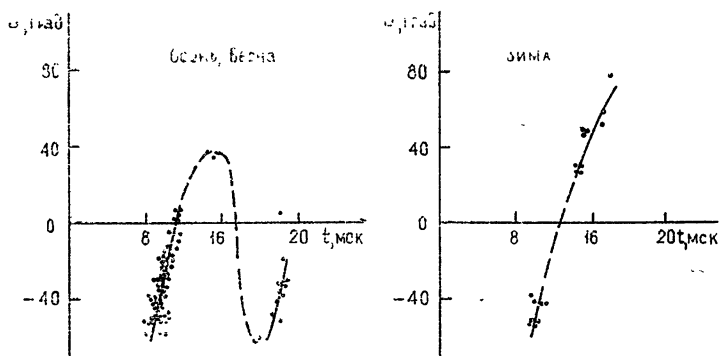


Рис. 3.

В случае кругосветного распространения радиоволн вдоль сумеречной зоны эффект бокового отклонения может накапливаться, а кругосветная траектория будет принимать вид «развернутой спирали». При этом вероятность приема кругосветных эхо/сигналов (КС) при собственном зондировании в пункте передачи должна резко уменьшаться, а в пункте, вынесенном перпендикулярно к трассе распространения на расстояние 1000—1500 км от него,—увеличиваться. Для обратных эхо/сигналов, распространяющихся по пути длиной более 37000 км, вероятность приема будет уменьшаться в пунктах, расположенных на дуге большого круга, и увеличиваться в вынесенных пунктах. Уменьшение числа случаев приема КС в сумеречное время, полученное в экспериментальной работе [4], в некоторой степени подтверждает сделанное предположение.

Отрицательные значения азимутальных отклонений в послевосходные и последзакходные часы дней равноденствий указывают на существование в ионосфере зоны сумерек поперечных наклонов (для трасс вдоль зоны сумерек) с противоположной ориентацией, смещенных приблизительно на 1000 км в ночное полушарие от линии терминатора. При этом в утренне-дневные часы траектории распространения КС и ОС искривляются за счет поперечного наклона в дневную сторону, а в вечерние часы—в ночную сторону. Анализ экспериментальных данных показал, что, несмотря на то, что ОС претерпевали значительные азимутальные отклонения, они все-таки приходили с направления, определяемого большим кругом минимального ионосферного поглощения или оптимальным азимутом их распространения для данного пункта приема.

На рис. 4 построен теоретический оптимальный азимут [3] и нанесены экспериментальные значения азимутов ОС для рассматриваемых периодов наблюдений (сплошная кривая—рассчитанное значение, штриховая кривая—экспериментальное значение). Из рисунка видно хорошее соответствие теоретического оптимального азимута и направления прихода ОС. Сделав предположение, что из пункта передачи сигналы также распространялись по оптимальному направлению, в настоящей работе была произведена оценка величины отклонения траекторий распространения ОС от плоскости большого круга, соответствующего этому направлению. В результате расчетов для сезона осень (весна) средняя величина отклонения в утренние и вечерние часы составила

—10°, в дневные 7°. Для зимнего периода наблюдений эта величина составила в утренние часы —6°, а для предзакходного времени 11°.

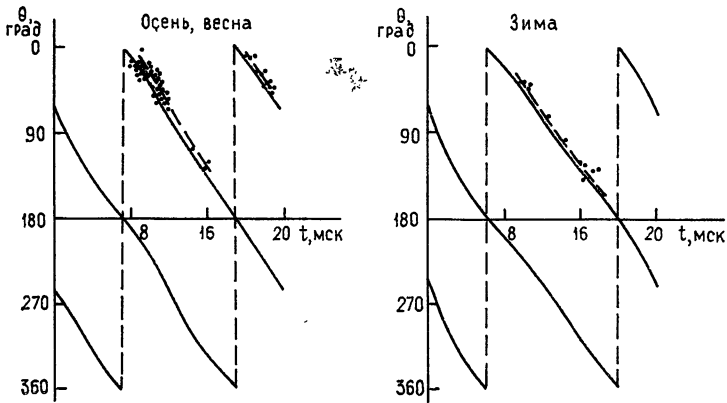


Рис. 4.

Обычно уровни принимаемых обратных эхо/сигналов имеют один максимум, соответствующий моменту времени, когда дуга большого круга, на которой лежат корреспондирующие пункты, совпадает с большим кругом минимального ионосферного поглощения. При настоящих же наблюдениях были замечены два максимума: первый — соответствующий времени, когда происходило искривление траектории распространения ОС, второй — соответствующий изложенному выше положению. Причем в подавляющем числе случаев первый максимум достигал больших значений, чем второй, особенно в диапазоне частот 6300—8500 кГц, что указывает на наличие эффектов фокусировки или уменьшения ионосферного поглощения на «спиральной» траектории по сравнению с большим кругом минимального поглощения. Наиболее вероятной представляется дополнительная фокусировка, возникающая в горизонтально неоднородной ионосфере.

Таким образом, экспериментально полученные результаты указывают на возможность распространения кругосветных и обратных эхо/сигналов вне плоскости большого круга за счет горизонтально неоднородной структуры ионосферы зоны сумерек, выступающей в роли направляющего механизма распространения этих сигналов вдоль дуги большого круга минимального ионосферного поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. A. Hess, Proc. IRE, **36**, № 8, 981 (1948).
2. R. B. Fenwick, O. G. Villard e. a., Proc. IEEE, **52**, № 4, 447 (1964).
3. В. А. Бубнов, Г. А. Румянцев, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, **18**, № 4, 527 (1975).
4. P. M. Banks, J. Geophys. Res., **70**, № 3, 625 (1965).

PROPAGATION OF ROUND-THE-WORLD AND BACKWARD ECHO-SIGNALS OUTSIDE THE PLANE OF A LARGE CIRCLE

V. A. Bubnov, G. A. Rumyantsev

The experimental data on propagation of backward echo-signals outside the plane of a large circle are presented. The influence of the horizontal ionosphere gradient, twilight zone and a large circle of the minimum ionospheric absorption on the effects observed is considered.