

Сезонные и широтные особенности появления и распространения z-волны при внешнем радиозондировании ионосферы Земли

М.В. Коломин, Н.Г. Котонаева, А.Т. Карпачев

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова", 129128, г. Москва, ул. Ростокинская, 9, e-mail: kolominmax@ipg.geospace.ru

Представлены результаты анализа данных ИСЗ «Интеркосмос-19» о зависимости частоты появления Z-компоненты от расстояния до вершин гребней экваториальной аномалии. Подтверждена теория влияния склонов экваториальной аномалии на регистрацию Z-волны в средних широтах.

The results of the analysis of the data of the satellite Intercosmos-19 on the dependence of the frequency of appearance of the Z-component on the distance to the vertices of the crests of the equatorial anomaly are presented. The theory of the effect of the slopes of the equatorial anomaly on the recording of the Z-wave at mid-latitudes has been confirmed.

В 1979 - 1982 годах проводились научные эксперименты на ИСЗ «Интеркосмос-19» (ИК-19), в частности исследовалась ионосфера выше максимума концентрации электронов методом внешнего радиозондирования. Спутник двигался вокруг Земли по орбите с наклоном 74 градуса, что можно считать близкой к полярной. Практически за 3 года активного существования ИК-19 была накоплена обширная база ионограмм, которая спустя несколько десятилетий была использована для изучения морфологии Z-волны.

При описании элементов ионограмм внешнего радиозондирования [1] след Z - компоненты описывается как постоянное явление. Однако при обработке большого массива последовательных ионограмм можно увидеть, что он регистрируется на сериях последовательных ионограмм, причем от витка к витку можно проследить закономерность появления таких отражений. На рис. 1 представлено типичное распределение критической частоты ионосферы foF2 вдоль витка в зависимости от инвариантной широты в ночное время. Отметим, что период функционирования ИК-19 характеризовался повышенной солнечной активностью, что привело к тому, что даже ночью критическая частота на вершинах гребней экваториальной аномалии (ЭА) достигала 16 МГц. Ряд, отмеченный на рисунке как z, показывает места регистрации следа Z-компоненты на ионограммах. 0 – следа нет, 1 – след есть. Видим, что следы Z-компоненты регистрируются у основания гребней ЭА.

На рис. 2 представлено распределение foF2 в дневное время. Здесь над экватором нет существенного падения концентрации электронов, что также связано с высокой солнечной активностью. Нижний график показывает, что следы Z-компоненты так же наблюдаются на склонах гребней ЭА.

Существует несколько теорий регистрации Z-компоненты магниторасщепленного сигнала на ионограммах в определенных широтах зондирования. Одна из них отражена в [2], где утверждается, что след Z-волны появляется на ионограммах в тех местах работы ионозонда, где медленная необыкновенная компонента магниторасщепленной волны, распространяясь вдоль силовых линий геомагнитного поля, достигает условий отражения в виде перпендикулярных магнитным линиям наклонных слоев ионосферы. Такими наклонными слоями могут являться области ионосферы с высоким градиентом концентрации электронов, как, например, экваториальная аномалия. В связи с подвижностью аномалии во времени для получения статистических зависимостей

необходимо было проанализировать корреляцию регистрации Z-волны на ионограммах не относительно географического местоположения ионозонда, а относительно расстояния от него до эпицентра аномалии. В нашем предположении во время зондирования в средних широтах Z-компонента устремляется вдоль магнитных силовых линий к экватору, где на пути встречает склон экваториальной аномалии, от которого, в свою очередь, отражается и возвращается на приемник спутника. Рассмотрение именно средних широт в построении предположения обусловлено выводами [3], где приведены результаты анализа данных ОК «Мир», в которых зафиксирована наибольшая вероятность регистрации Z-волны на ионограммах орбитального комплекса в диапазоне северных широт от 36° до 39°. В южных широтах предполагается обратная картина.

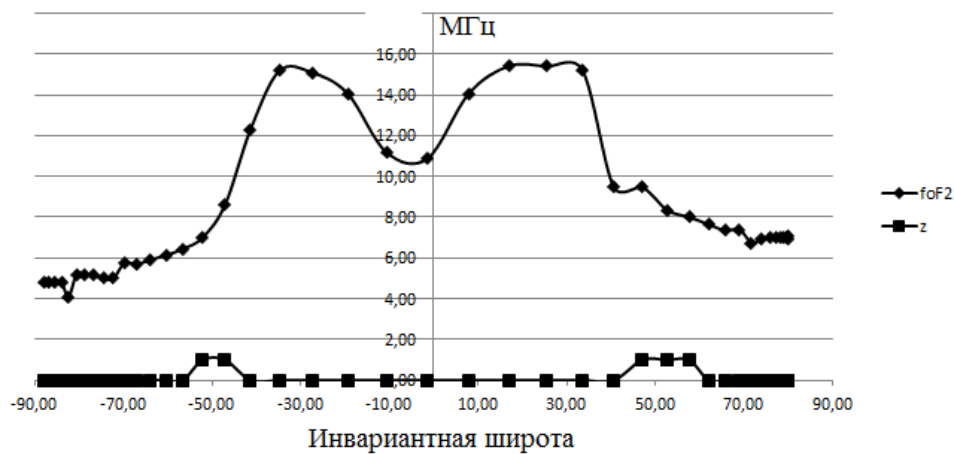


Рис.1. Типичные широты регистрации следа Z-компоненты на ионограммах в ночное время:

**foF2 - Распределение критической частоты ионосферы вдоль орбиты.
Z – маркер наличия следа Z-компоненты на ионограммах.**

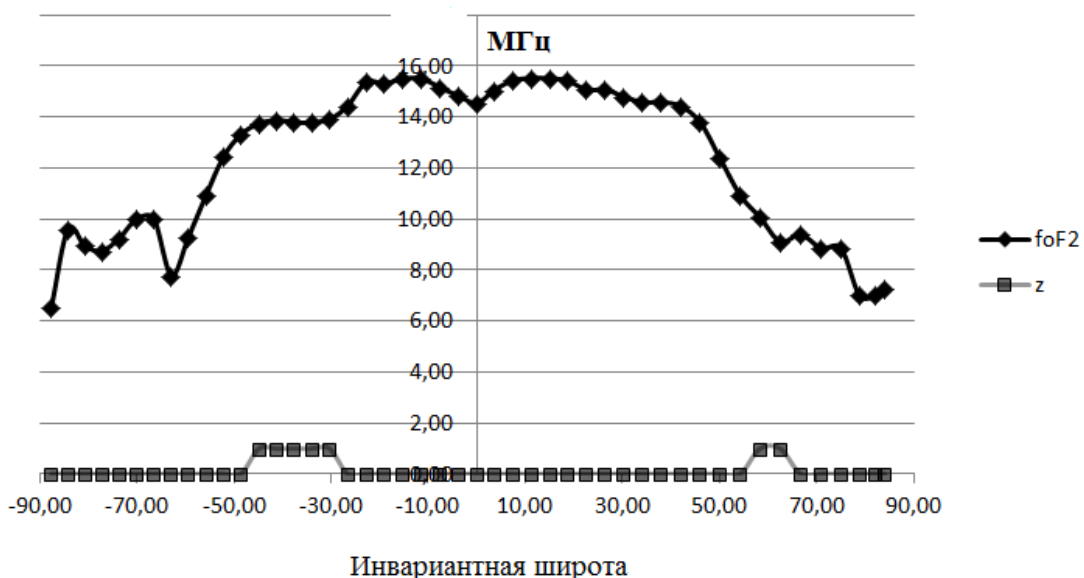


Рис.2. Типичные широты появления следа Z-компоненты на ионограммах в дневное время:

**foF2 - Распределение критической частоты ионосферы вдоль орбиты.
Z – маркер наличия следа Z-компоненты на ионограммах.**

Обладая обширной базой измерений ионозонда практически вдоль инвариантной широты можно провести статистический анализ вероятности регистрации Z-компоненты на ионограммах с ИСЗ «Интеркосмос-19» от расстояния в момент измерений между спутником и экстремумом хребта аномалии. Экспериментальные данные были систематизированы по сезонам, а также по месту зондирования на северное и южное полушария. Разделение статистических выкладок по разным полушариям было произведено из-за различия в морфологии северного и южного гребней экваториальной аномалии.

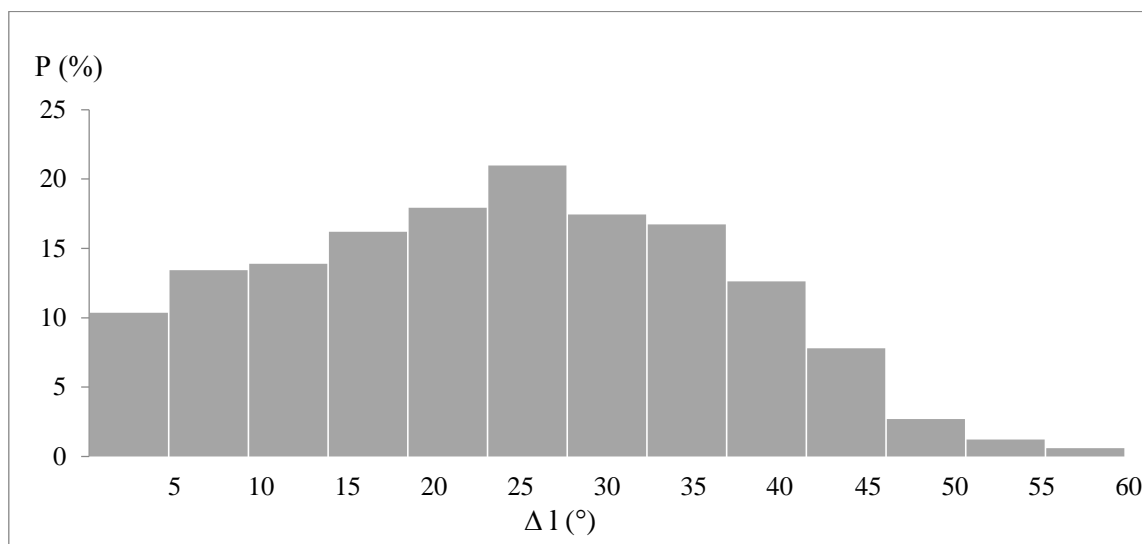


Рис. 3. Диаграмма вероятности появления Z-волны на ионограммах ИСЗ "ИК-19" от расстояния до максимума гребня экваториальной аномалии в северном полушарии.

Таблица 1. Количественное распределение ионограмм северного полушария по расстоянию до максимума экваториальной аномалии

Δl (°)	[0;5]	[5;10]	[10;15]	[15;20]	[20;25]	[25;30]	[30;35]	[35;40]	[40;45]	[45;50]	[50;55]	[55;60]	[60;65]
N	897	484	547	623	619	596	590	592	642	653	594	494	335
Nz	93	65	76	101	111	125	103	99	81	51	16	6	2

На рис.3 представлена диаграмма вероятности появления Z-волны в период межсезонья для северного полушария, а на рис. 2 для южного, где P- отношение ионограмм с Z-следом к общему количеству на промежутках Δ l, Δ l- расстояние в градусах от места регистрации ионограммы со следом Z-компоненты до широты вершины гребня ЭА. Как видно из рис.3 , наибольшая встречаемость наблюдается на расстоянии 25 – 30° (2,8 – 3,3 тыс. км) до вершины северного гребня ЭА, а из рис. 4 на расстоянии 35 – 40° (3,9 – 4,4 тыс. км) до вершины южного гребня ЭА. Данное различие может быть обусловлено разной структурой аномалии в северной и южной частях, где северный склон экваториальной аномалии наблюдается крутым, а южный – пологим.

В таблицах 1 и 2 представлено количественное распределение данных ионозонда по расстоянию до максимума аномалии для северного и южного полушарий. N- общее количество ионограмм, полученных на выделенном интервале, Nz- количество ионограмм с зафиксированным Z-следом.

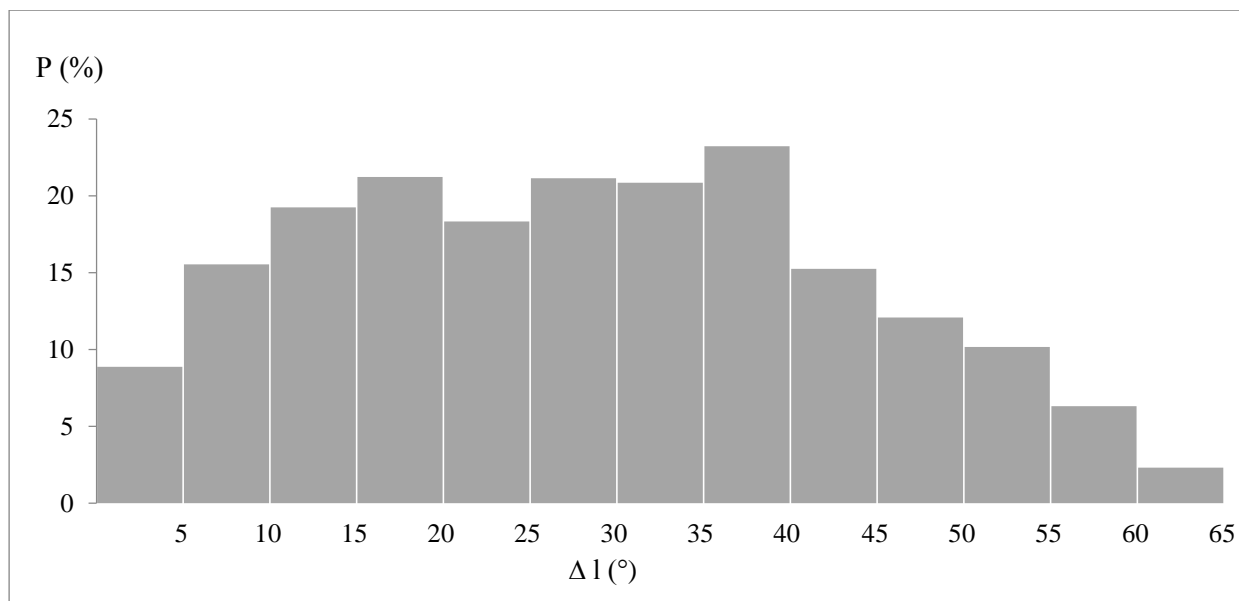


Рис. 4. Диаграмма вероятности появления Z-волны на ионограммах ИСЗ "ИК-19" от расстояния до максимума гребня экваториальной аномалии в южном полушарии.

Таблица 2. Количественное распределение ионограмм южного полушария по расстоянию до максимума экваториальной аномалии

Δl (°)	[0;5]	[5;10]	[10;15]	[15;20]	[20;25]	[25;30]	[30;35]	[35;40]	[40;45]	[45;50]	[50;55]	[55;60]	[60;65]
N	878	566	639	678	687	676	676	680	695	604	560	443	302
Nz	78	88	123	144	126	143	141	158	106	73	57	28	7

Следуя полученным результатам, можно считать выдвинутое предположение обоснованным. На появление Z-компоненты на ионограммах внешнего зондирования в средних широтах влияет экваториальная аномалия. Регистрация следа Z-волны в других областях может быть следствием высокого градиента ионосферных неоднородностей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-29-06052.

Литература

1. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм / М.: Наука, 1978. – 342 с.
2. Ратклифф Дж.А., Магнитно-ионная теория и ее приложения к ионосфере / Пер. А. А. Корчака. М.: Изд. ин. лит., 1962. 248 с.
3. Коломин М.В., Котонаева Н.Г., Крашенинников И.В. Регистрация Z-волны при вертикальном радиозондировании ионосферы со спутника// Известия ВУЗов. Физика. 2016. Т. 59, № 12-3. С. 11-14.