

7. Plotkin V.V. GPS detection of ionospheric perturbation before the 13 February 2001, El Salvador earthquake // Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.. 2003. V.3, P. 249-253.
8. Liu J.Y., Chuol Y.J., Pulinets S.A., Tsai H.F. A study on the TEC perturbations prior to the Reili, Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes // in book Seismo Electromagnetics: Litosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling, 2002 Tokyo:TerraPub, P. 297-301.
9. Liu J.Y., Chen Y.I., Jhuang H.K., Lin Y.H. Ionospheric foF2and TEC anomalous days associated with M>5.0 earthquakes in Taiwan during 1997-1999 // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences. V.15, № 3. P. 371-383.
10. Saraf A. K. Choudhury S. NOAA-AVHRR detects thermal anomaly associated with 26 January, 2001 Bhuj Earthquake, Gujarat, India // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 26, No. 6. P. 1065-1073.
11. Yurur M. T. The positive temperature anomaly as detected by Landsat TM data in the eastern Marmara Sea (Turkey): possible link with the 1999 Izmit earthquake // International Journal of Remote Sensing. 2006. V. 27, № 6. P. 1205-1218.
12. Pulinets S.A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K.A., Pokhmelnikh L.A. The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes // Physics and Chemistry of the Earth. 2006. V.31. P.143-153.

ХАРАКТЕРИСТИКИ F-РАССЕЯНИЯ НА ИОНОГРАММАХ ВНЕШНЕГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИСЗ ИНТЕРКОСМОС-19

CHARACTERISTICS OF F-SPREAD ON THE TOPSIDE IONOGRAMM OF INTERKOSMOS-19 SATELLITE

В.А. Телегин, А.Т. Карпачев

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН*

The F-spread phenomenon observing on the topside ionograms of Interkosmos-19 satellite has been investigated. The different types of F-spread associated with the irregularities located at different altitudes of the topside ionosphere are classified. The 3 main types and some additional types associated with the large-scale irregularities of negative and positive sign were detected. Global distribution of occurrence probability (P) of the F-spread in the both hemispheres, for all local times, summer and winter solstices, for the high solar activity in 1979-1981 was built. The longitudinal, latitudinal, diurnal and seasonal variations in the F-spread occurrence probability were investigated. Our analysis shows that the longitudinal variations in P in the first approximation anticorrelate with the NmF2 variations, both in winter and in summer conditions. The latitudinal variations in P have more difference in the 60-90°E and 270-300°E longitudinal sectors. In diurnal variations of the F-spread occurrence probability the daytime, evening and nighttime peaks were revealed. The comparison between topside sounding data and ground based sounding data has been carried out. It is shown that at all the latitudes P in the topside ionosphere is greater than that in the bottom side. The reasons of the revealed F-spread occurrence probability variations are discussed.

Введение

Явление F-рассеяния на ионограммах наземного зондирования изучалось неоднократно, как экспериментальными средствами, так и теоретически (см., например, обзор [2] и ссылки в нем). На ионограммах внешнего зондирования F-рассеяние наблюдается еще чаще, чем на наземных, что, учитывая специфику спутниковых наблюдений, сильно затрудняет их обработку. Поэтому исследование этого явления во внешней ионосфере представляется важным, как с физической, так и с методической точки зрения. Проявления F-рассеяния во внешней ионосфере исследованы слабо, существует всего несколько работ по данным спутников Alouette (см., например, [4]) и Интеркосмос-19 [3], и только, по-видимому, одно исследование по данным ISS-b [5].

Огромный массив данных спутника Интеркосмос-19 (ИК-19) позволяет провести полномасштабное исследование F-рассеяния во внешней ионосфере.

1. Экспериментальные данные

Спутник ИК-19 работал в активном режиме с марта 1979 г. по февраль 1981 г. Ионограммы внешнего зондирования фиксировались как в аналоговом, так и в цифровом виде. Аналоговые ионограммы содержат полную информацию о внешней ионосфере, но они принимались в реальном времени только на наземных пунктах в Москве, Апатитах, Норильске и на Кубе. На рис.1 приведен пример аналоговой ионограммы хорошего качества, полученной при зондировании над Москвой 25 марта 1980 г. По оси абсцисс приведена частота зондирования в МГц, по оси ординат эффективное расстояние от спутника в сотнях километров (максимальное расстояние равнялось 2000 км). На рис.1 отмечены основные характеристики ионограммы внешнего зондирования: след обыкновенной (O-trace) и необыкновенной (X-trace) волны, критические частоты F2 слоя (f_oF2 и f_xF2), отражения от Земли, резонансы гирочастоты (F_H), и частоты отсечки Z, O и X мод (f_z , f_n и f_x соответственно). Оба следа четко выделяются, критические частоты определяются совершенно точно, помехи и F-рассеяние полностью отсутствуют.

Ионограммы хорошего качества регистрировались примерно в 40% случаев, на остальных ионограммах следы были размытыми, диффузными, иногда до такой степени, что становились не обрабатываемыми. На рис.2 приведены примеры ионограмм, полученных в области главного ионосферного провала. Верхняя ионограмма получена на

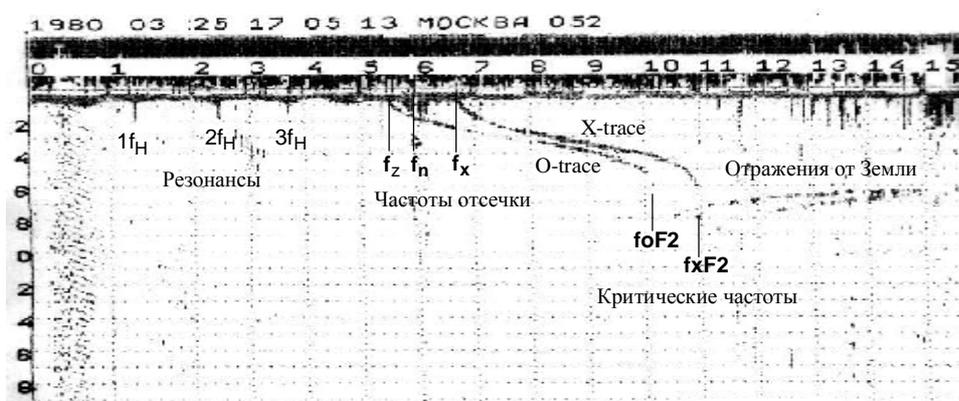


Рис.1. Аналоговая ионограмма ИК-19, полученная 25.03.1980 г. над Москвой.

экваториальной стенке ГИП. На ней фиксируются дополнительные следы на большей дальности, чем основные, что свидетельствует о наличии крупномасштабной неоднородности слоя F2. Появление дополнительных отражений, как правило, предшествует появлению F-рассеяния. Действительно, при приближении к минимуму ГИП, следы отражений становятся широкими и размытыми вследствие сильного F-рассеяния. Нижняя ионограмма, полученная в минимуме провала уже полностью диффузная, следы не разделяются, хотя критические частоты слоя F2 еще можно определить.

Цифровые ионограммы могли фиксироваться вдоль всей орбиты спутника, но, к сожалению, из-за малого объема бортовой памяти они сильно теряли в информативности. Однако основной массив данных ИК-19 составляют цифровые ионограммы, поэтому характеристики F-рассеяния исследовались, в основном, на основе анализа этих ионограмм.

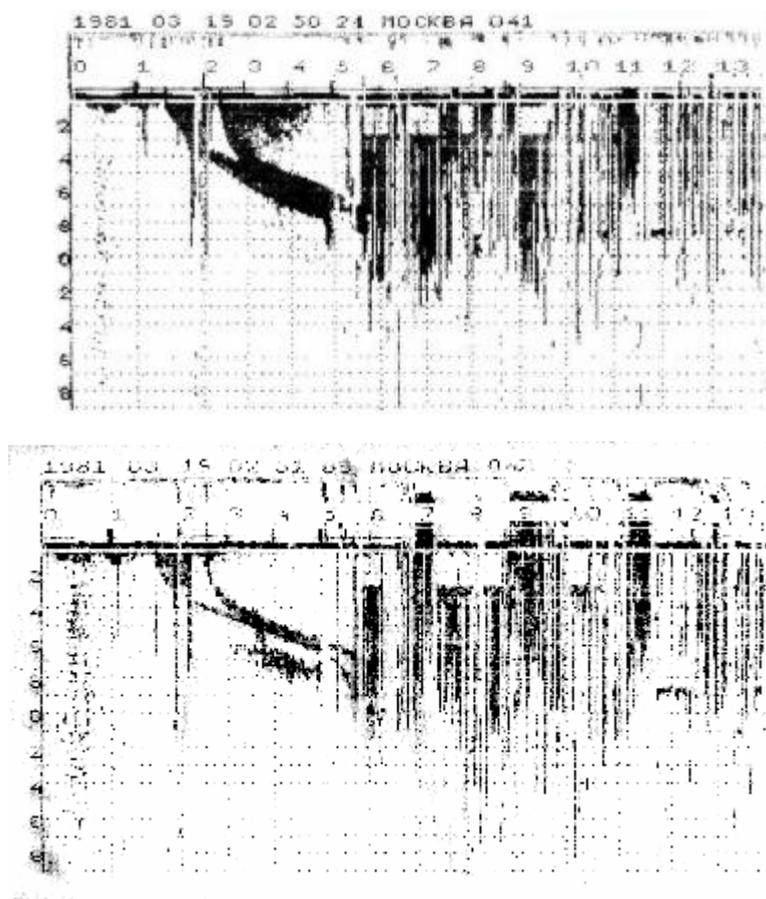


Рис.2. Ионogramмы ИК-19, зарегистрированные в области провала.

2. Классификация типов F-рассеяния

Рассеяние в области главного ионосферного провала связано со сложной структурой субавроральной ионосферы. На рис.3 слева приведен разрез ионосферы в области провала и обозначены возможные пути распространения радиоволны [1]. Следы 3 и 5 формируют «нормальную» ионogramму. Следы 1 и 2 образуют дополнительный, более удаленный след ниже критической частоты, а след 4 выше критической слоя F2. На высоких широтах спутник быстро пересекает силовые трубки с пониженной или повышенной концентрацией плазмы, поэтому весьма вероятен захват и распространение волны в волноводе [4] – рис.4. Сигналы 1 и 2, задержанные в волноводах, будут формировать рассеянный дополнительный след, задержанный относительно основного, что и наблюдается на рис.3. В итоге, ионogramма, полученная в ионосферном провале, может иметь очень сложный, диффузный вид, как на рис.2.

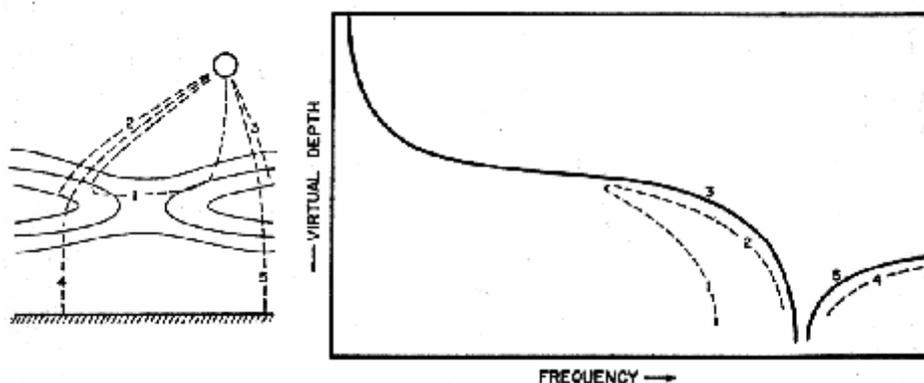


Рис.3. Схема образования F-рассеяния в области провала.

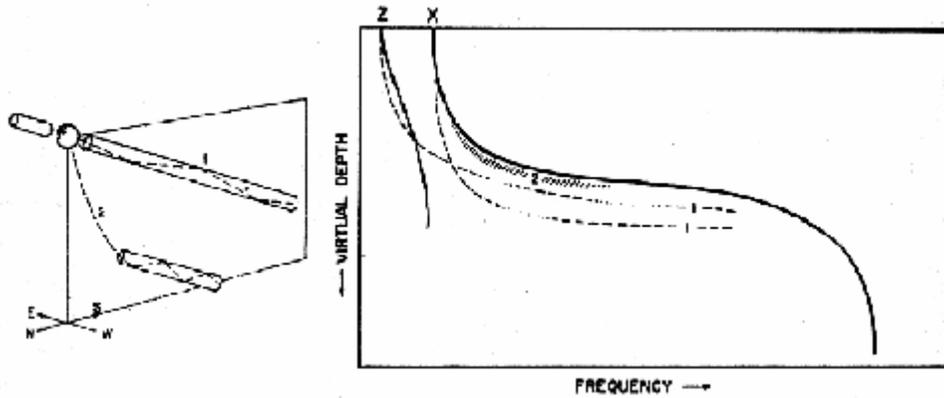
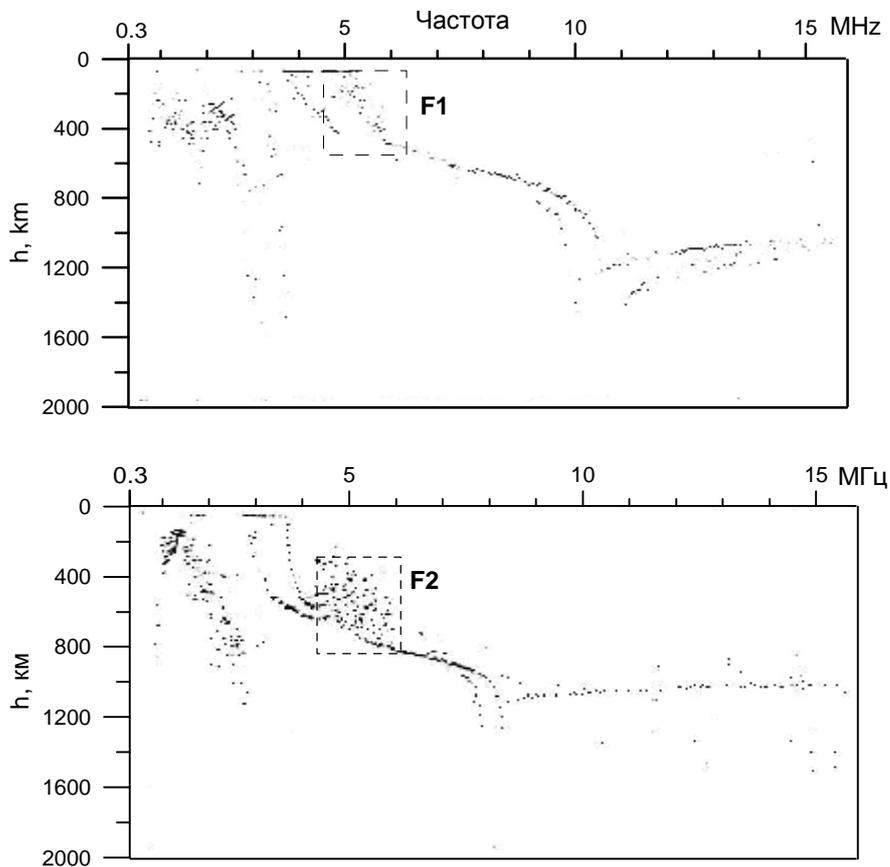


Рис.4. Схема образования F-рассеяния на высоких широтах.

На рис.5 вверху показан тип рассеяния F1, при котором имеет место значительное F-рассеяние на участке следа вблизи высоты спутника. Этот тип рассеяния наблюдается на высоких широтах. В середине рис.5 показан F2 тип рассеяния, когда рассеянное облако точек наблюдается на среднем участке следа. Наиболее часто этот тип проявляется на умеренно средних широтах. Сначала формируется слабое рассеянное облако точек ниже основного следа, а затем интенсивное облако выше основного следа, которое экранирует все, что ниже, поскольку на каждой частоте фиксировалось всего 3 отражения. Этот тип рассеяния также, по-видимому, связан с волноводным распространением [4]. Спутник при этом находится внутри волновода, который расположен по обе стороны от экватора.



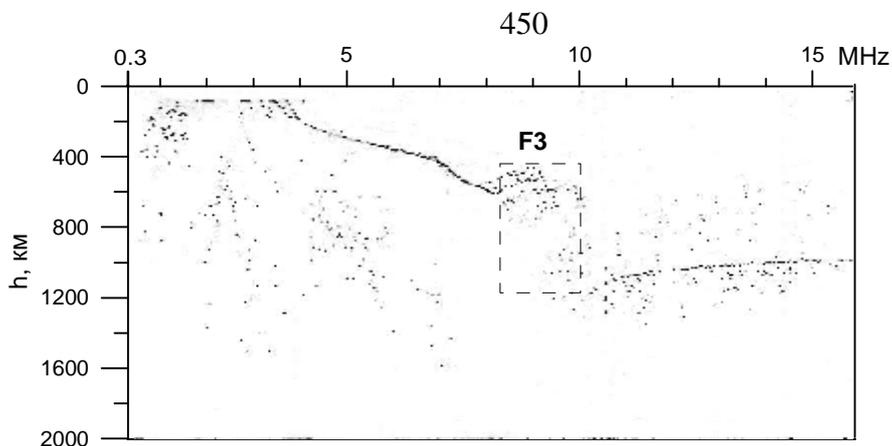


Рис.5. Типы рассеяния: F1 (вверху), F2 (в середине) и F3 (внизу).

Наконец, самый распространенный тип рассеяния F3 представлен на рис.5 внизу. Он характеризуется наличием сильного рассеяния вблизи критической частоты слоя F2. Этот тип встречается на всех широтах, он соответствует частотному рассеянию, которое часто наблюдается на наземных ионограммах. Этот тип рассеяния является основным и на ионограммах внешнего зондирования, поэтому именно он является главной целью статистического исследования, проведенного ниже.

3. Статистический анализ характеристик F-рассеяния

Глобальное распределение вероятности P появления F-рассеяния было построено на основе анализа 30.000 цифровых ионограмм для зимнего солнцестояния. Все данные

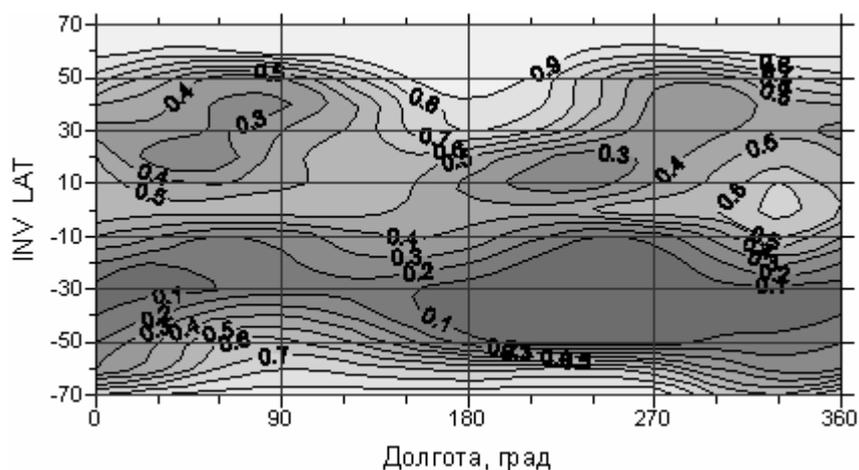


Рис.6. Глобальное распределение F3 типа рассеяния для дополуночных часов местного времени в условиях декабрьского солнцестояния.

относятся к условиям высокой солнечной активности ($F_{10.7} \sim 200$), зимнему солнцестоянию (1.5 месяца до и после 22 декабря 1979 г. и 1980 г.), спокойным условиям ($K_p \leq 3$). Данные ИК-19 равномерно охватывают все долготы и широты обоих полушарий, что позволяет построить глобальное распределение P для всех часов местного времени.

На рис.6 для примера приведено распределение P для дополуночных условий (21-24 LT). F-рассеяние гораздо сильнее в зимнем полушарии, где электронная концентрация ниже. На карте можно выделить два наиболее характерных долготных сектора: $180-210^\circ E$ и $270-330^\circ E$, где электронная концентрация почти на всех широтах обоих полушарий соответственно понижена и повышена, а величина P , наоборот, увеличена и уменьшена. Обычно считается, что даже ночью на средних широтах F-рассеяние слабое, поэтому широтные кривые P , построенные по наземным данным, на этих широтах идут вблизи нуля (см., например, [6]). По данным Интеркосмос-19 величина P на широте 40° составляет около 0.3 даже в долготном секторе $60-90^\circ$ и достигает ~ 0.85 на долготе $\sim 180^\circ$.

4. Суточные и долготные вариации вероятности F-рассеяния

На рис.7 приведены суточные вариации $foF2$ и вероятности появления F-рассеяния для фиксированной инвариантной широты 50° ILAT северного полушария. Штриховой кривой на рис.7 внизу для сравнения приведены вариации величины P , выделенные для того же самого периода 1979-1980 г. по данным наземного зондирования для станции Москва (51° ILAT). Видно, что суточные вариации величины P в нижней и верхней ионосфере имеют подобный характер, но вероятность появления F-рассеяния на высотах выше максимума слоя F2 гораздо выше. Следовательно, неоднородность верхней ионосферы гораздо сильнее, чем нижней ионосферы. Из рис.7 видно также, что суточные вариации $foF2$ и P в первом приближении антикоррелируют, т.е., чем меньше $foF2$, тем сильнее F-рассеяния, и наоборот.

На рис.8 для примера приведены долготные вариации $foF2$ и P для околополуночных часов, выделенные в полосе средних широт ($40-50^\circ$) северного и южного полушарий. Электронная концентрация испытывает сильные вариации с долготой, характер которых зависит как от полушария, так и от сезона (см., например, [7]). Видно, что долготные вариации P и $foF2$, так же как и суточные вариации, в первом приближении антикоррелируют.

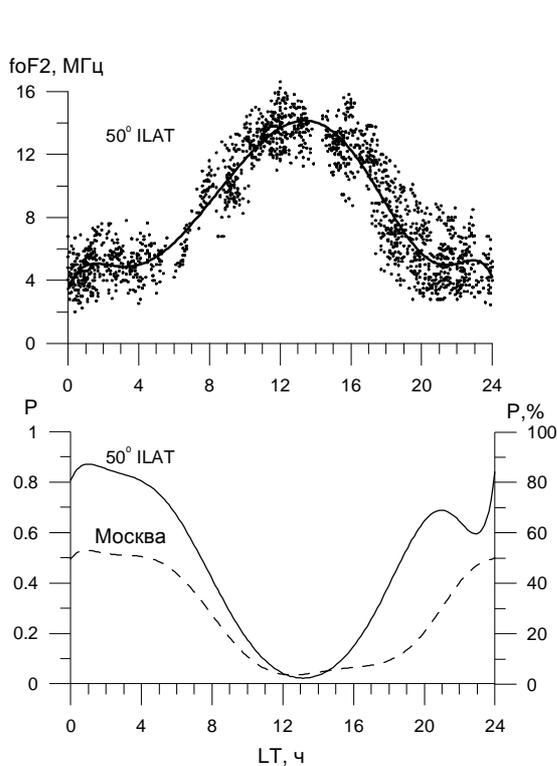


Рис.7. Суточные вариации $foF2$ и P для 50° ILAT северного полушария в сравнении с данными ст. Москва (51° ILAT).

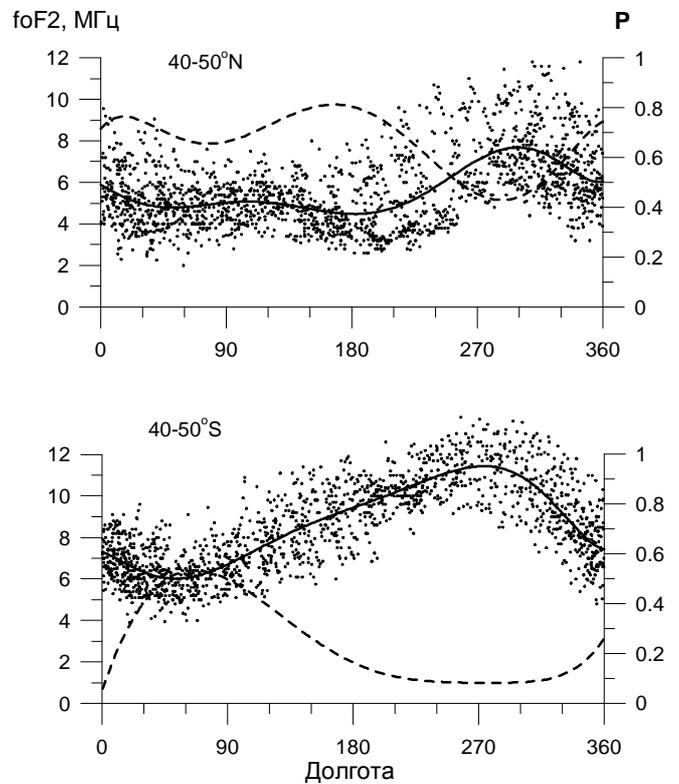


Рис.8. Долготные вариации $foF2$ (точки и аппроксимация) и P (штриховые кривые) для $40-50^\circ$ N и $40-50^\circ$ S в ночных условиях.

Заключение

Результаты анализа большого массива данных спутника Интеркосмос-19 показывают, что эти данные позволяют проводить всестороннее исследование явления F-рассеяния для условий высокой солнечной активности. Основным преимуществом спутника Интеркосмос-19 перед всеми другими аналогичными спутниками является глобальность полученной с его помощью информации. Это дает возможность детально

изучить особенности характеристик этого явления на всех долготах и широтах, т.е. в разных областях ионосферы.

Список литературы

1. Бенькова Н.П., Козлов Е.Ф., Коченова Н.А., Саморокин Н.И., Флигель М.Д. Структура и динамика субавроральной ионосферы. – М.: Наука, 1993. –144 с.
2. Гершман Б.Н., Казимировский Э.С., Кокуров В.Д., Чернобровкина Н.А. Явление F-рассеяния в ионосфере. – М.: Наука. 1984. –142 с.
3. Депенева А.Х. Явление F-рассеяния в низкоширотной ионосфере // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. 1982. Т.59. С.28-31.
4. Calvert W. and Schmid C. Spread-F observations by the Alouette topside sounder satellite // J. Geophys. Res. 1964. V.69. № 9. P.1839-1852.
5. Maruyama T. and Matuura N. Occurrence probability of topside spread echoes // Solar Terrestrial Environmental Research in Japan. 1981. V.5. P.38-40.
6. Singleton D.G. The morphology of spread-F occurrence over half a sunspot cycle // J. Geophys. Res. 1969. V.73. № 1. P.295-308.
7. Карпачев А.Т. Глобальный долготный эффект в ночной внешней ионосфере по данным ИСЗ Интеркосмос-19. Препринт № 45(734). 1987. –28 с.