УДК 50.388.2

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ИОНОГРАММ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ НА СПУТНИКЕ ИНТЕРКОСМОС-19

А.Т. Карпачев

Поступила в редакцию 11.01.2016 г.

Исследованы особенности высокоширотных ионограмм, полученных при зондировании на спутнике «Интеркосмос-19». Рассмотрены случаи, когда минимальные частоты земных отражений намного меньше, чем максимальные частоты основных отражений. Выявлены длинные удаленные земные отражения и короткие дополнительные земные следы. В области дневного каспа наблюдались ионограммы с чрезвычайно сильным Fрассеянием. Отмечены случаи образования дополнительного максимума электронной концентрации выше максимума регулярного слоя F2. Наиболее интересной особенностью ионограмм «Интеркосмос-19» оказалось наличие полосы шумов и множественных следов около 6 МГц и в интервале 8–10 МГц.

Ключевые слова: ИОНОСФЕРА, ВНЕШНЕЕ РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ, ИНТЕРКОСМОС -19, ИОНОГРАММЫ, АРКТИКА, КАСП, АВРОРАЛЬНЫЙ ОВАЛ, ЗЕМНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ

введение

К полярной или высокоширотной ионосфере принято относить широты выше экваториальной границы аврорального овала. При спокойных геомагнитных условиях эта граница находится на широтах около ~65° ILAT в полночь и ~75° ILAT в полдень. Область ионосферы экваториальнее аврорального овала определяется как субавроральная ионосфера. Главной структурной особенностью субавроральной ионосферы является ионосферный провал. Полярная стенка провала определяется высыпаниями мягких частиц, повышение электронной концентрации в авроральном овале иногда называют плазменным кольцом. Главной особенностью высокоширотной ионосферы безусловно является наличие на ионограммах и наземного и спутникового зондирования явления, известного как Fрассеяние. Днем оно обычно слабое, но резко возрастает ночью, так что очень часто на ионограмме внешнего зондирования регистрируются только сильно рассеянные земные следы. В образовании высокоширотной ионосферы участвует много процессов, включая сильно изменчивые высыпания частиц, электрические поля и токи. Они практически непрерывно генерируют крупномасштабные неоднородности ионосферной плазмы, что в свою очередь приводит к особенностям в распространении радиоволн и соответственно к появлению на ионограммах Интеркосмос-19 (ИК-19) дополнительных, часто очень необычных отражений. Данная работа посвящена выделению и качественному анализу этих отражений. Наличие сильного F-рассеяния сильно затрудняет эту задачу, тем не менее, удалось достаточно четко выделить несколько наиболее интересных особенностей на высокоширотных ионограммах «Интеркосмос-19».

1. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УДАЛЕННЫЕ (И ДВОЙНЫЕ) ОСНОВНЫЕ СЛЕДЫ

На ионограммах ИК-19 часто наблюдаются дополнительные следы, удаленные от основных следов отражений. Они бывают как сильно рассеянные, так и четко сформированные, как одиночные, так и двойные. На рисунке 1 приведено несколько примеров из серии последовательных ионограмм, зарегистрированных 2 июля 1980 г. в спокойной (Кр ~1) вечерней (~18 LT) ионосфере южного полушария. Ионограммы наблюдались на гладком уровне электронной концентрации, иначе говоря, не было какой-либо структуры фоновой ионосферы, которая могла создавать такие отражения. С другой стороны, дополнительные следы четкие, не размытые, таким образом они связаны с отражениями от неоднородной структуры, размеры которой намного больше длины излученной волны. Расстояние до этой структуры меняется (увеличивается) при изменении вдоль траектории широты от 70,2° ILAT до 67,2° ILAT и долготы от 71,7° Е до 80,1° Е.



Рис. 1. Ионограммы, зарегистрированные 2 июля 1980 г. в вечерней ионосфере на инвариантных широтах 70,2°(а), 69,3°(б), 68,1°(в) и 67,2°(г) в долготном секторе 71,7-80,1° Е.

Дополнительные следы находятся на разных расстояниях от основного следа, но по мере движения спутника сближаются и сливаются в один. Исходя из этого можно предположить, что в стороне от спутника находилась крупномасштабная неоднородность с увеличенной относительно фона электронной концентрацией, которая отвечает за дополнительные, удаленные отражения. Неоднородность со сложной структурой, так чтобы обеспечить два дополнительных отражения, либо две неоднородности, отвечающие каждая за свое отражение. Конкретные форму, расположение и плотность неоднородности можно определить только на основе детальных траекторных расчетов.

2. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ ОТ СЛОЯ Е И ЗЕМЛИ

На ионограммах ИК-19 иногда наблюдаются дополнительные отражения на частотах выше критической частоты слоя F2. Это практически всегда имеет место на высоких широтах, т.е. это скорее высокоширотное явление. Пример такой ионограммы приведен на рис. 2. Ионограмма была записана 20 ноября 1979 г. в 16:15 UT (11.7 LT) на широте 68,7° S и долготе 292° E. На ней наблюдаются дополнительные отражения на меньших высотах, чем у регулярных земных следов. Разница составляет около 100 км. Это типичная высота слоя E ионосферы. Обычно слой E экранируется более мощным слоем F2 и поэтому не проявляется при зондировании сверху. Однако иногда в ионосфере проявляется гораздо более мощный спорадический слой Es, и тогда на частотах выше критической частоты слоя F2 возможны отражения как от Земли, так и от тонкого слоя Es, который частично прозрачен. Слой Es создается интенсивными потоками высыпающихся частиц. Если это так, то критическая частота Es в данном случае была около 11,5 МГц. Отметим, что геомагнитная активность в этот период была повышена — до Кр=3+.



Рис. 2. Ионограмма, зарегистрированная 20 ноября 1979 г. в дневной (11.7 LT) ионосфере на широте 68,7° S и долготе 292,1° Е при Кр=3.



Рис. 3. Ионограмма, зарегистрированная 13 ноября 1979 г. в дневной (12.5 LT) ионосфере на широте 74,1° S и долготе 160° Е при Кр=5.



Рис. 4. Ионограммы, зарегистрированные 11 мая 1979 г. в ночной ионосфере (00:00-01:00 LT) на широтах 70,4°S, 69,2°S, и 66,6°S в долготном секторе 270-282° Е при Кр=3+.

На рисунке 3 приведен обратный пример — когда дополнительный след был зарегистрирован ниже обычного земного отражения. Но теперь разница между Х-компонентой земного отражения и дополнительным следом составляет около 190–200 км. Это позволяет предположить другой механизм образования дополнительного слоя — радиоволна, дошедшая до Земли, затем переотразилась от слоя Е к Земле и вернулась на спутник с задержкой по времени и соответственно по расстоянию 100х2=200 км. Если это так, то критическая частота слоя Е в данном случае была около 9 МГц.

Наконец на рис. 4 приведены три примера из редкой серии ионограмм, на которых наблюдался дополнительный земной след, степень удаленности которого от нормального следа увеличивалась по мере движения спутника от высоких широт к более низким. Серия состояла из 13 ионограмм, и как

© Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова



Рис. 5. Изменения с широтой foF2, расстояния D удаленного следа от основного земного следа и долготы вдоль орбиты спутника для наблюдений 11 марта 1979 г.

видно из рис. 46, расстояние между следами увеличивалось от 100 км до 800 км при движении от широты примерно 73° S до широты 66° S, что по расстоянию соответствует ~700 км (рис. 4в). Это значение точно соответствует увеличению расстояния между следами. Поэтому можно предположить, что дополнительные отражения имели место от некоторой структуры, расположенной на широте ~72–73°. Рисунок 5а показывает, что значения foF2 при этом уменьшались с 7.3 МГц до 3.6 МГц, иначе говоря, на высоких широтах наблюдалась область повышенной электронной концентрации, которая могла обеспечивать дополнительные отражения. Стенка повышенной концентрации в полярной ионосфере всегда вытянута по долготе, при движении спутника по орбите отражения идут перпендикулярно к ней, поэтому изменении долготы учитывать не нужно, только изменения по широте. Дополнительные отражения вблизи стенки ионизации наблюдались практически во всем интервале частот от критической частоты до конца диапазона ионозонда, а по мере удаления от нее этот интервал сужался в результате ухудшения условий отражения. Сам след при этом размывался по той же самой причине. Однако это качественные рассуждения, для их подтверждения необходимо провести траекторные расчеты.

3. ЗАДЕРЖАННЫЕ НАКЛОННЫЕ ЗЕМНЫЕ СЛЕДЫ (НЗС)

Задержанный земной след на ионограммах представляет собой наклонный след, сильно удаленный от обычного земного следа. Вместе с нормальным, почти горизонтальным следом он составляет структуру в виде некоторого крюка — рис. 6. НЗС были обнаружены по данным зондирования на космической станции МИР [1]. Стация МИР имела наклонения орбиты 52°, поэтому могла фиксировать такие следы только на экваториальных и низких широтах. Однако позднее по данным ИК-19 было проведено статистическое исследование, которое показало, что такие следы в действительности наблюдаются в широкой полосе широт [2]. На рисунке 6 показана аналоговая ионограмма, записанная 25 июля 1980 г. на широте 74.0° S. На рисунке 7 слева на широтном разрезе foF2 отмечено место наблюдения НЗС. Как видно, НЗС был зарегистрирован у основания высокоширотного пика электронной концентрации. Наличие неоднородности ионосферной плазмы с резким градиентом электронной концентрации является необходимым условием для формирования H3C на ионограммах внешнего зондирования. Механизм формирования удаленного земного следа рассмотрен в цитированных выше работах. Он заключается в том, что радиоволна, отраженная от земной поверхности возвращается к спутнику по двум путям — обычным, вертикальным, и наклонным, преломляясь через неоднородность. Поскольку второй путь гораздо длиннее, второй земной луч сильно задержан относительно первого.

На рисунке 7 справа приведен случай наблюдения таких следов в области ионосферного провала, полученный 14 августа 1980 г. в 9,7 LT. В таком случае мы имеем дело с крутой экваториальной и полярной стенками провала, поэтому кроме удаленного земного следа наблюдаются еще и дополнительные основные следы, которые являются наклонными отражениями от обеих стенок. В этом случае структура ионограммы становится особенно сложной — рис. 8. Ионограммы на рисунках 7 и 9 были записаны в южном полушарии, однако точно такие ионограммы регистрировались и в северном полушарии.



Рис. 6. Ионограмма, зарегистрированная 25 июля 1980 г. в дневной (12.5 LT) ионосфере на широте 74,0° S и долготе 132,6° Е при Кр=2.



Рис. 7. Широтные вариации foF2, наблюдавшиеся 25 июля 1980 г. (слева) и 14 августа 1980 г. Точками указано положение спутника.



Рис. 8. Ионограмма, зарегистрированная 14 августа 1980 г. в дневной (9.7 LT) ионосфере на широте 72,2° ILAT и долготе 122,1° Е при Кр=2-.

4. ПЕРЕХЛЕСТЫ

На ионограммах внешнего зондирования максимальные частоты основных О и Х-компонент и минимальные частоты как правило совпадают и соответствую критическим частотам foF2 и fxF2. Однако иногда земные отражения наблюдаются на меньших частотах, чем основные следы — рис. 10. М.Д. Флигель назвал это явление «перехлестом». Он предполагал, что при этом основные лучи отражаются от центра наклонной к горизонту положительной неоднородности ионосферной плазмы, а земные лучи преломляются на краю этой неоднородности, в области с меньшими значениями электронной концентрации [3]. Позднее было показано, что эта схема не позволяет получить перехлест, поскольку для того, чтобы земной луч вернулся на спутник, необходимо наличие второй неоднородности [4]. Но самое интересное, что в классическом виде, как на рис. 9 перехлесты наблюдается только в дневной зимней ионосфере южного полушария. Область распространения явления очень широкая и занимает долготы западного полушария и широты от гребня экваториальной аномалии до 70°S.

Однако дополнительный анализ показал, что это явление более сложное. На самом деле наблюдаются все варианты: самый простой, как на рис. 9, самый сложный, когда регистрируются низкочастотные и высокочастотные основные следы и с ними связанные земные отражения, т.е. целых 4 пары следов, а также промежуточные варианты. Более тщательный анализ ионограмм показал, что в



Рис. 9. Ионограмма, зарегистрированная 23 июня 1979 г. в вечерней (18.7 LT) ионосфере на широте 8,5° S и долготе 13,8° Е при Кр=2-.



Рис. 10. Ионограмма, зарегистрированная 19 ноября 1979 г. в вечерней (18.9 LT) ионосфере на широте 71,7° N и долготе 254° Е при Кр=2.



Рис. 11. Аналоговая ионограмма, зарегистрированная 8 апреля 1981 г. в вечерней (19.1 LT)ионосфере на широте 73,5° N и долготе 53,2° E.

северном полушарии довольно часто наблюдается как раз промежуточный вариант, когда низкочастотные основные отражения сопровождаются отражениями от Земли, а высокочастотные основные следы не связаны с земными. Эти ионограммы, в отличие от южного полушария, является типично высокоширотным явлением. В частности, ионограмма, приведенная на рис. 10, была получена в северном полушарии в спокойной вечерней ионосфере на широте 71,7° N и долготе 254° Е. Такие ионограммы безусловно также связаны с наличием неоднородностей ионосферной плазмы, но для более детального описания требуется провести траекторные расчеты.

Более четко эту ситуацию воспроизводит аналоговая ионограмма, полученная при приеме телеметрической информации в реальном времени на наземном пункте Москва — рис. 11. Высокочастотные следы регистрировались на 22 ионограммах, в течение 3 мин, на широтах 67,6–66,6° ILAT и долготах 52–87°Е. Наличие высокочастотных следов означает наличие неоднородности с повышенной относительно фона концентрацией ионосферной плазмы. Однако, чтобы ответить на вопрос, где расположена эта неоднородность, какова ее форма и как реализуются лучевые траектории, создающие ионограмму, необходимо провести траекторные расчеты.

5. ИОНОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ДНЕВНОГО КАСПА

Дневной касп представляет собой воронку в магнитном поле Земли, которая образуется под воздействием солнечного ветра на магнитосферу. В это воронку высыпаются мягкие частицы из переходного слоя магнитосферы. Проекция дневного каспа на высотах ионосферы в первом приближении представляет собой овал с большой осью по долготе и с малой по широте. В спокойные периоды времени касп занимает область вокруг полудня (примерно от 10 до 14 LT), с ростом магнитной активности этот интервал увеличивается. В спокойные периоды времени касп занимает по широте при-

мерно 5-6°, его экваториальная граница находится на широте ~78°ILAT, с ростом магнитной активности эта граница сдвигается до ~62°ILAT [5], а сам касп становится узким. Поскольку в касп, как в воронку, идут высыпания мягких электронов, следует ожидать появления мелкомасштабных (десятки и сотни метров) неоднородностей ионосферной плазмы, и, как следствие, появление F-рассеяния на ионограммах. Действительно, такие ионограммы наблюдаются в области дневного каспа. На рисунке 12 приведена ионограмма, полученная 28 мая 1980 г. примерно в полдень на широте 72,7° ILAT. При Кр=2 это как раз соответствует широтам каспа. На ионограмме наблюдается огромное рассеянное облако, которое к счастью почти не затрагивает начало главных следов отражений и отражения от Земли, так что структура ионограммы хорошо прослеживается несмотря на F-рассеяние. Рассеянное облако занимает широкую полосу широт и выглядит в виде некоторого купола что является проявлением чисто технической особенности цифровых ионограмм ИК-19 — ионозонд на каждой частоте записывал только три первых сильных отражения. Если бы объем телеметрической памяти на спутнике был больше и позволял записать все отражения, рассеянная область скорее всего выглядела бы как полоса, уходящая на большие расстояния, а не как купол. Особенно четко рассеянное облако проявилось на ионограмме, зарегистрированной 11 августа 1980 г. в дополуденной ионосфере рис. 13. Рассеянное облако занимает диапазон частот от 2 до 5 МГц и полностью экранирует основные следы, после чего вплоть до критической частоты необыкновенная компонента радиосигнала фиксируется четко. Такая картина, вероятно, объясняется тем, что спутник только на короткое время пересекает область с мелкомасштабными неоднородностями.



Рис. 12. Ионограмма, зарегистрированная 28 мая 1980 г. в дневной (12.4 LT) ионосфере на широте 72,7° ILAT и долготе 285° Е при Кр=2.



Рис. 13. Ионограмма, зарегистрированная 11 августа 1980 г. в 10 LT на широте 68,5° S (73.3° ILAT) и долготе 175,3° Е при Кр=20.

6. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ

На рисунке 14 приведены две последовательных ионограммы, полученные 7 января 1980 г. в послеполуденной ионосфере. Ионограммы не очень высокого качества, поскольку на них не полностью прописаны земные отражения и О-компонента основного следа. Однако главная особенность этих ионограмм видна четко. На первой из них, начиная с высоты ~400 км, наблюдается дополнительный след, параллельный Х-компоненте, который безусловно связан с неоднородностью плазмы с концентрацией выше фоновой. На следующей ионограмме Х-компонента радиосигнала как бы поглощает эту неоднородность, так что на высоте ~350 км появляется перегиб, а участок следа, отвечавший за фоновую ионосферу исчезает. На рисунке 15 приведены N(h)-профили, рассчитанные по Х-компоненте на первой ионограмме и на второй. Хорошо видно, что до 700 км оба профиля совпадают, показывая примерно одинаковые значения электронной концентрации на больших высотах внешней ионосферы. На более низких высотах внешней ионосферы электронная концентрация повышается, при этом максимальное повышение наблюдается на высотах вблизи 600 км. Формально такую ситуацию можно определить как образование дополнительного слоя, выше максимума регулярного слоя F2, аналогично дополнительному экваториальному слою F3. Обе ионограммы были записаны в (12,5-13,0) LT при Кр=1 на широтах (67,7-70°) ILAT, т.е. несколько экваториальнее дневного каспа, поэтому в качестве причины появления неоднородности ионосферной плазмы можно предполагать высыпания мягких частиц в области каспа с последующим выносом ионизации горизонтальным дрейфом, направленным к экватору [6]. Другой причиной могут служить электрические поля, которые регулярно появляются в этой области и которые обеспечивают дрейф плазмы вверх.



Рис. 14. Ионограммы, зарегистрированные 7 января 1980 г. в дневной (12,6 LT) ионосфере на широтах 73,7° N (вверху) и 72,5° N (внизу) и долготах 20,3 и 32,1° Е.

© Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова



Рис. 15. N(h)-профили, рассчитанные по ионограмме на рис. 14а (тонкая линия) и по ионограмме на рис. 14б (толстая линия).

7. ШУМЫ И СЛЕДЫ ОТРАЖЕНИЙ В ДИАПАЗОНАХ ОКОЛО 6 МГЦ И 8-10 МГЦ

Наиболее интересным явлением в области высоких широт по-видимому является появление странной полосы шумов в диапазоне частот 8–9 МГц. Таких ионограмм довольно много. На рисунках 16 и 17 приведены два примера. На первой ионограмме это действительно полоса шумов в диапазоне 8–9 МГц. Однако часто эта полоса расплывется, занимая диапазон 8–10 МГц образует довольно причудливые структуры, например, в виде купола, как на рис. 17. Купол на рис. 17 неплотный, поэтому земные отражения еще фиксируются, а плотная полоса шумов на рис. 16 полностью их экранирует. Как уже отмечалось выше, это специфическая особенность ионограмм ИК-19, поскольку в цифровом режиме ионозонд мог регистрировать только три первых отражения (выше некоторого порога). Ионограммы на рис. 16 и рис. 17 были получены в условиях, когда критические частоты слоя F2 были ниже 8 МГц.

На рисунках 18 и 19 показаны примеры ионограмм, когда критические частоты находились в диапазоне 8–10 МГц. Видно, что на первой из них появляется дополнительный след, явно связанный с неоднородностью, более интенсивной, чем фоновая ионосфера. На следующих ионограммах ситуация развивается, усложняется, появляется несколько дополнительных следов и в итоге картина может выглядеть совершенно удивительно, как на рис. 17. Отметим, что дополнительные следы в данном случае занимают диапазон частот от 9,5 до 11,5 МГц.



Рис. 16. Ионограмма, зарегистрированная 15 августа 1980 г. в 20,4 LT на широте 68,8° N (79.3° ILAT) и долготе 89,8° W при Кр=2-.



Рис. 17. Ионограмма, зарегистрированная 13 ноября 1979 г. в 12,0 LT на широте 72,2° S (66,5° ILAT) и долготе 216° Е при Кр=5.



Рис. 18. Ионограмма, зарегистрированная 19 ноября 1979 г. в 11,8 LT на широте 69,5° S и долготе 3,9° W при Кр=1+.



Рис. 19. Ионограмма, зарегистрированная 29 ноября 1979 г. в 10,9 LT на широте 63,8° S (76,4° ILAT) и долготе 97,8° Е при Кр=0+.

Тщательный анализ высокоширотных ионограмм позволил обнаружить и другое, гораздо более редкое явление — формирование полосы широт в диапазоне 5,5–6,5 МГц — рис. 20. Этот пример, как это часто бывает в научном поиске, позволил предположить возможную причину наблюдаемых шумов и следов. Дело в том, что частота 6 МГц соответствует длине волны 50 м, а это как раз длина длинных антенн ионозонда 25х2=50 м. Осталось понять, с чем связана полосы широт 8–10 МГц, которая соответствует длинам 30–38 м. Оказалось, что середина этой полосы 34 м точно соответствует двойной длине штанги гравитационно-демпфирующего устройства (17 м). Описанные выше ионограммы являются чисто высокоширотным явлением. По-видимому, для генерации шумов требуется либо сильно наклонные силовые линии геомагнитного поля, либо связь с магнитосферной плазмой вдоль этих линий. Таким образом, необходим более глубокий анализ причин возникновения этих шумов на основе расчетов.



Рис. 20. Ионограмма, зарегистрированная 4 июля 1980 г. в 5,1 LT на широте 63,9° N (68° ILAT)и долготе 127,5° W при Кр=3-.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен качественный анализ наиболее интересных особенностей на высокоширотных ионограммах внешнего зондирования на спутнике «Интеркосмос-19». Обнаружены серии ионограмм с дополнительными, иногда двойными следами отражений, удаленными от основных отражений. Следы очень четкие, что свидетельствует об отражении от крупномасштабной неоднородности, удаленной от спутника. В случае двойных отражений возможно наличие двух неоднородностей. Наблюдается несколько типов дополнительных земных отражений. Несколько коротких (по частотному диапазону) следов было зафиксировано на ~100 км выше нормальных земных следов. Очевидно они связаны с отражениями от мощного спорадического слоя Es. Несколько коротких следов наоборот, наблюдалось на ~200 км ниже основных земных следов. Они, по-видимому, связаны с переотражениями радиоволны от слоя Е к Земле и снова от Земли к спутнику. Короткие следы обоих типов наблюдаются в основном в высокоширотной ионосфере, что связано, вероятно, с образованием мощных спорадических слоев Еѕ под действием высыпаний частиц, критическая частота которых превышала критическую частоту слоя F2. Была зарегистрирована уникальная серия ионограмм с дополнительными почти горизонтальными земными отражениями. Эти отражения занимали широкую полосу частот вплоть до конца диапазона ионозонда, как и обычные земные отражения, но постепенно удалялись по расстоянию от основных земных отражений. Анализ показывает, что эти длинные следы скорее всего связаны с отражениями от стенки электронной концентрации, расположенной на широте полярнее спутника. Наконец, часто наблюдались удаленные сильно наклонные отражения, которые вместе с основными земными отражениями формируют типичную структуру в виде крюка, который иногда занимает довольно большой диапазон по частоте. Причины образования этих следов хорошо известны и связаны с переотражениями земного луча от крупномасштабной неоднородности. В южном западном полушарии, в летних дневных условиях очень часто регистрируется так называемый перехлест, когда минимальная частота земных отражений оказывается намного меньше максимальной частоты основных отражений. В южном полушарии перехлесты наблюдаются практически на всех широтах, в северном полушарии это высокоширотной явление. Перехлест в северном полушарии всегда проявляется в виде дополнительного, высокочастотного основного следа. При этом низкочастотный след всегда сопровождается земным следом, а высокочастотный — никогда. Ясно, что высокочастотный след связан с отражением от неоднородности с повышенной относительно фона концентрацией. Чрезвычайно сильно рассеянные ионограммы был зарегистрированы в области дневного каспа. Они безусловно связаны с высыпаниями мягких частиц, которые образуют мелкомасштабные неоднородности, вызывающие F-рассеяние. Как видно из вышесказанного, практически все перечисленные особенности на ионограммах ИК-19 связаны с особенностями распространения КВ радиоволн при наличии неоднородностей ионосферной плазмы. Эти неоднородности являются неотъемлемой характеристикой высокоширотной ионосферы. Не является исключением и крупномасштабная неоднородность, которая занимает низкие высоты внешней ионосферы и проявляется в виде дополнительного слоя, выше регулярного слоя F2. Но самым интересным явлением на ионограммах ИК-19 является появление полосы шумов и множественных следов в диапазоне 8–10 МГц и иногда вблизи 6 МГц. Это связано с влиянием на ионосферную плазму антенн спутника с длиной 50 м (6 МГц) и штанги гравитационно-демпфирующего устройства длиной 17 м (9 МГц). Однако это только качественные соображения. Для точного ответа на вопрос как образуются наблюдаемые особенности на ионограммах ИК-19, потребуются детальные расчеты.

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

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Данилкин Н.П., Котонаева Н.Г., Анишин М.М. Задержанный нижний след на спутниковых ионограммах новое средство изучения макронеоднородностей ионосферы. Изв. вузов. Радиофизика. Т. 49. № 1. С.9-20. 2006.
- 2. Карпачев А.Т., Жбанков Г.А., Телегин В.А. Удаленные земные отражения на ионограммах ИСЗ «Интеркосмос-19. Геомагнетизм и аэрономия. Т.53. № 6. с.809-816. 2013.
- 3. Флигель М. Д. Об одном возможном механизме наклонного распространения радиоволн во внешней ионосфере. Геомагнетизм и аэрономия. Т.29. № 1. С.71–75. 1989.
- 4. Карпачев А.Т., Жбанков Г.А., Телегин В.А. Область постоянной генерации крупномасштабных неоднородностей в дневной зимней ионосфере южного полушария. Геомагнетизм и аэрономия. Т.56. №1. С.69– 76. 2016.
- 5. Meng C.-I. Diurnal variation of the auroral oval size // Journal Geophysical Research. V.84. № 9. P.5319-5323. 1979.
- 6. Данилов А. Д. Морозова Л. Д., Мирмович Э.Г. О возможной природе положительной фазы ионосферных бурь. Геомагнетизм и аэрономия Т. 25. №5. С. 768-772. 1985.

FEATURES OF THE HIGH-LATITUDE IONOGRAMS OBTAINED BY THE TOPSIDE SOUNDING ONBOARD THE "INTERCOSMOS-19" SATELLITE

A.T. Karpachyov

Features of the high-latitude ionograms obtained by topside sounding onboard the "Interkosmos-19" satellite are investigated. The ionograms where the minimum frequencies of the terrestrial reflections are much less than the maximum frequencies of the main reflections are considered. The long distant terrestrial reflections and short additional terrestrial traces were revealed. In the daytime cusp region the ionograms with extremely strong F-spread were observed. The formation of the additional electron density maximum above the regular F2-layer peak was registered. The most interesting feature of the "Interkosmos-19" ionograms is the appearance of noise and multi-band traces in the range of 8-10 MHz and sometimes about 6 MHz.

KEYWORDS: IONOSPHERE, TOPSIDE SOUNDING, INTERCOSMOS-19 , IONOGRAM, ARCTIC, CUSP, AURORAL OVAL, TERRESTRIAL TRACES