

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.146-149

## АНАЛИЗ ИОНОГРАММ ВНЕШНЕГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИК-19 В ОБЛАСТИ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА ДЛЯ УСЛОВИЙ РАВНОДЕНСТВИЯ

В.А. Телегин<sup>1</sup>, В.Г. Воробьев<sup>2</sup>, О.И. Ягодкина<sup>2</sup>, В.И. Рождественская<sup>1</sup>, Е.В. Осипенкова<sup>3</sup>,  
А.А. Каптюг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова  
РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ “Полярный геофизический институт”, г. Апатиты, Россия

<sup>3</sup>Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва, Россия

**Аннотация.** Проведен анализ ионограмм внешнего зондирования, полученных при прохождении спутником Интеркосмос-19 областей аврорального овала и полярной шапки. Показано, что в области высыпаний аврорального овала в магнитоспокойные периоды могут наблюдаться «чистые» ионограммы, на которых полностью отсутствуют дополнительные следы, связанные с неоднородностями в ионосфере. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в области овала сияний в эти периоды отсутствует F-рассеяние.

### 1. Введение

О сложности процессов, протекающих в полярной ионосфере свидетельствуют многочисленные исследования ученых, проводимые на протяжении длительного времени [Брюнелли и Намгаладзе, 1988; Мишин, Ружин, Телегин, 1989; Карпачев, 2016; Клименко и др., 2015]. Поэтому сопоставление результатов внешнего зондирования ионосферы, полученных со спутника ИК-19, с местоположением аврорального овала, может пролить свет на их взаимосвязь с вариациями ионосферных параметров. Тщательные исследования высокоширотных ионограмм внешнего зондирования на спутнике Интеркосмос-19 [Карпачев, 2016] выявили длинные удаленные земные отражения и короткие дополнительные земные следы сильного F-рассеяния на ионограммах в области дневного каспа. Наиболее интересной особенностью ионограмм Интеркосмос-19 оказалось наличие полосы шумов и множественных следов около 6 МГц и в интервале 8-10 МГц. Тем не менее, в высоких широтах наблюдаются и «чистые» ионограммы, т.е. ионограммы на которых полностью отсутствуют дополнительные следы, связанные с неоднородностями в ионосфере.

### 2. Изменение критической частоты вдоль трассы пересечения аврорального овала спутником

В настоящей работе нас интересовали характерные структуры высокоширотной ионосферы, в окрестностях которых наблюдались «чистые» ионограммы. На рис. 1 приведен пример «чистой» ионограммы внешнего зондирования, когда полностью отсутствуют дополнительные следы неоднородностей ионосферы, что имеет место в спокойных геомагнитных условия [Карпачев и Телегин, 2008]. Хорошо видны четкие отражения двух компонент (обыкновенной и необыкновенной) от внешней ионосферы и Земли. Вероятность появления незашумленных («чистых») ионограмм сильно уменьшается на широтах более +70° ШЛТ. На рис. 2 показан отрезок траектории при пересечении спутником ИК-19 овала полярных сияний в процессе его движения в сторону высоких широт (слева направо на рис. 2) возможны пять вариантов внешнего зондирования в рамках классического подхода (зондирование вертикально вниз в конусе 60 град.): спутник находится левее овала, спутник находится в овале и облучается область левее овала, спутник – в овале и облучается овал, спутник правее овала и облучается овал, спутник правее овала и облучается область вне овала. Рассмотрение таких возможных вариантов необходимо для понимания причин появления рассеянных ионограмм, и соответствующих им ионосферных неоднородностей в высоких широтах. Для оценки положения «чистых» ионограмм в области овала сияний проводилось координатное сравнение по модели высыпаний [Vorobjev et al., 2013]. Надо отметить, что эта модель показывает границы овалов дискретных и диффузных высыпаний, приведенных к высоте 110 км. Высота орбиты спутника ИК-19 изменялась от 550 км до 1050 км. Для рассматриваемых ниже трех случаев пересечения спутников аврорального овала высота спутника изменялась от 560 км до 810 км.

Наклонение магнитного поля на высоте спутника для этих случаев менялась от 75° до 88°. В таком случае, при проецировании координат овала на высоты спутника мы получаем смещение к югу границ трех характерных высокоширотных структур менее, чем на 1.5 градуса и этим эффектом в первом приближении

можно пренебречь. Тем не менее, надо хорошо представлять возможное положение спутника относительно областей дискретных и диффузных высыпаний.

Как показывает анализ, на ионограммах, полученных в высоких широтах южного и северного полушарий, практически всегда наблюдается уширение отраженного сигнала. В отдельных случаях уширение отраженного сигнала такое сильное, что становится невозможным определение критических частот. Чтобы показать, что «чистые» ионограммы в высоких широтах все же встречаются, были взяты три интервала времени, когда траектория спутника ИК-19 пересекала высокоширотную ионосферу в магнитоспокойные периоды ( $AL > -200$  нТл).

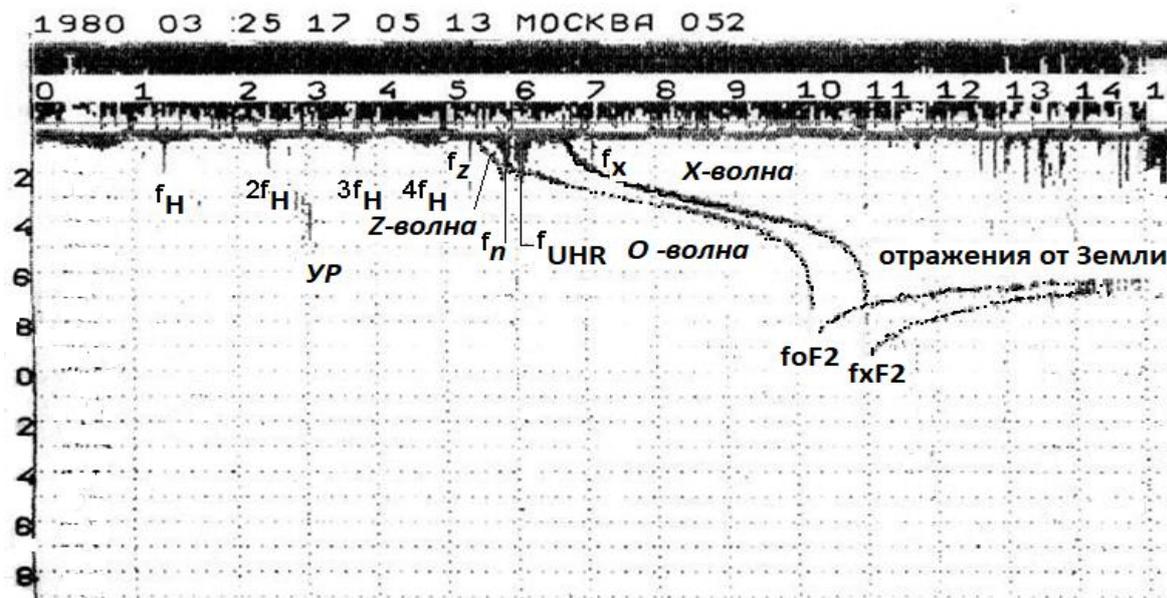


Рисунок 1. Пример «чистой» ионограммы внешнего зондирования

На рис. 3, 4 и 5 приведены результаты внешнего зондирования, полученные в период 14-15 апреля 1980 г. в интервалы времени: 17:50-18:05 UT (рис. 3); 21:10-21:24 UT (рис. 4); 00:31-00:46 UT (рис. 5), и построены траектории движения спутника ИК-19 в исправленных геомагнитных координатах. На рис. 3а, 4а и 5а видно, что спутник движется с дневной стороны в область ночного сектора. На этих картах, с учетом магнитной активности показано положение овалов высыпаний авроральных частиц: цифрой 1 обозначен овал дискретных форм сияний, цифрой 2 - область диффузных высыпаний экваториальнее овала, а цифрой 3 - область мягкого диффузного свечения к полюсу от овала дискретных форм. Карты построены для исправленных геомагнитных координат больше 60 градусов с указанием мест зондирования. Ионозонд работал в режиме ZAP 4, т.е. зондирование проводилось через 400 км. Координаты полученных ионограмм внешнего зондирования отмечены кружочками (цифра 4) или звездочками (цифра 5). Цифрой 5 отмечены координаты, где фиксировались «чистые» ионограммы, подобно представленным на рис. 1. Рассеяние может быть и не очень сильным, тогда хорошо виден отраженный от ионосферы след, а может быть и настолько сильным, что следа на ионограмме не видно. Цифры 6 и 8 обозначают начало и конец выбранного участка траектории движения спутника. (Цифра 6 - для «чистых» ионограмм).

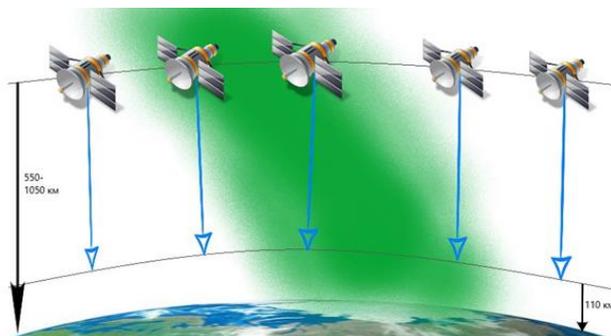
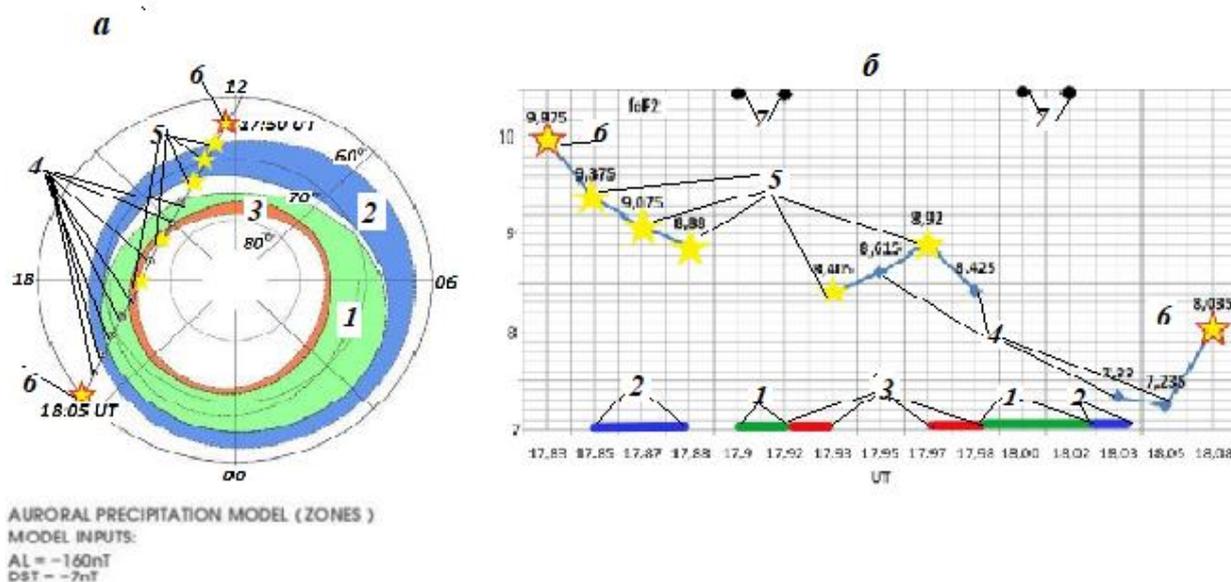


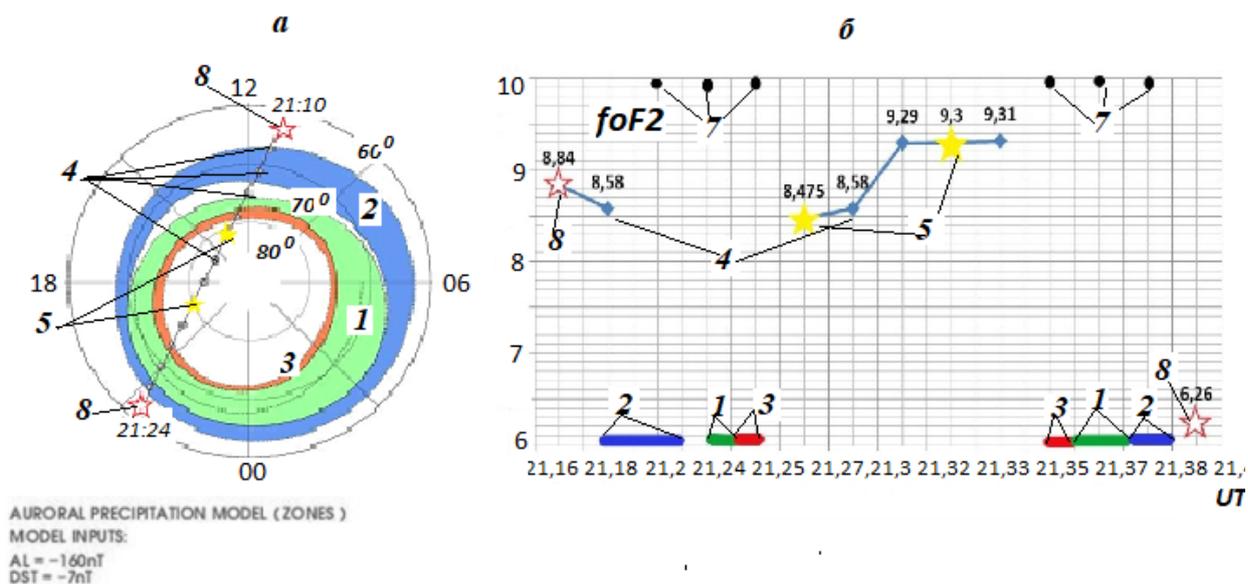
Рисунок 2. Положение ИК-19 относительно овала полярных сияний

В рамках данной работы проводилось исследование «чистых» ионограмм, а анализ всего многообразия возможных проявлений F-рассеяния будет предметом дальнейшего исследования. На рис. 3б, 4б и 5б показано изменение критической частоты вдоль траектории движения спутника ИК-19. В основании каждого из трех графиков цифрами 1, 2, 3 отмечены зоны высыпания, соответствующие аналогичным областям на рис. 3а, 4а и 5а. Цифрами 4, 5 и 6 показано наличие критических частот на ионограммах внешнего зондирования. Черными точками (цифра 7) наверху каждого графика отмечены сильно рассеянные ионограммы, когда невозможно определить критическую частоту.



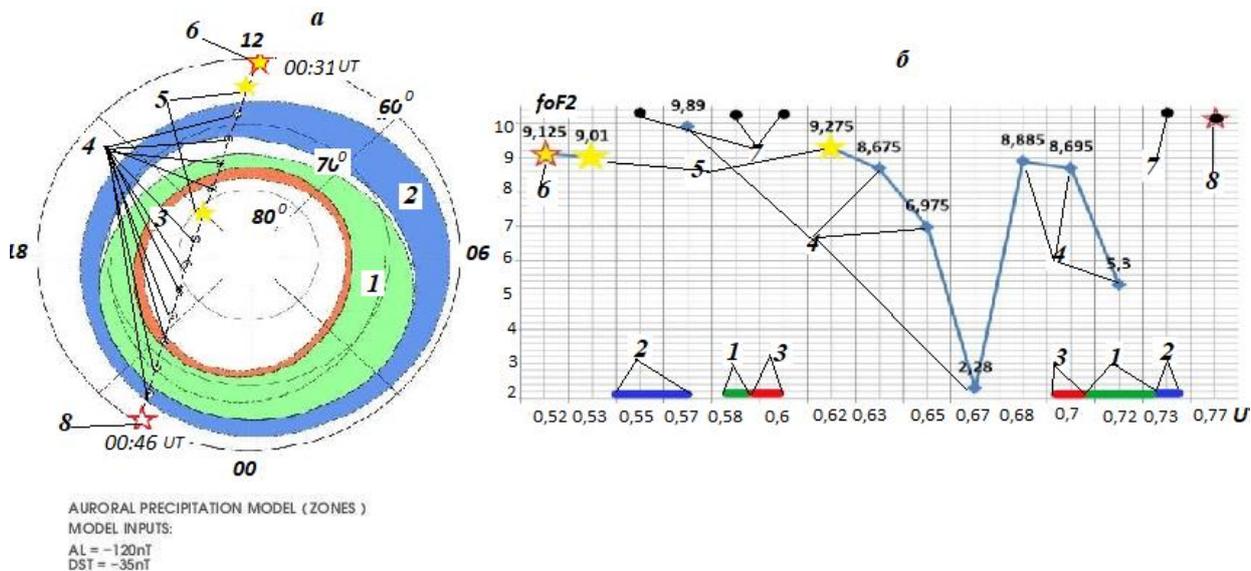
**Рисунок 3.** Координаты 15-ти зондирований 14.04.1980 г. в интервале времени 17:50-18:05 UT: *a* - траектория спутника ИК-19 относительно трех высокоширотных структур; *b* - график распределения  $foF2$ .

На рис. 3б видно, что при движении спутника с дневной стороны на вечернюю чистые ионограммы наблюдаются в области аврорального овала вплоть до вечернего сектора и затем на ночной стороне, когда спутник выходит из зоны аврорального овала. Хорошо видно, что в области дискретных форм ионограммы настолько зашумлены, что определить критическую частоту невозможно. Внутри полярной шапки при некотором увеличении критической частоты также наблюдается «чистая» ионограмма.



**Рисунок 4.** Координаты 14-ти зондирований 14.04.1980 г. в интервале времени с 21:10 до 21:24: *a* - траектория спутника ИК-19 относительно трех высокоширотных структур; *b* - график распределения  $foF2$ .

На рис. 4б в вечернее время «чистые» ионограммы наблюдаются только в области полярной шапки, а в областях аврорального овала критическая частота практически не определяется. На рис. 5б «чистые» ионограммы имели место только вне аврорального овала на границе полярной шапки. В отличие от рис. 3 и 4 здесь наблюдается резкое уменьшение критической частоты при прохождении спутником полярной шапки. После прохождения полярной шапки значение критической частоты восстанавливается в области мягкого диффузного свечения и уменьшается вдвое в области дискретных форм. Далее в области диффузных высыпаний и дискретных форм критическая частота не определяется и только вне этих областей фиксируется значение критической частоты 9.39 МГц. В данном примере F-рассеяние наблюдается в области полярной шапки, но, несмотря на резкое уменьшение критической частоты, её все же удается определить.



**Рисунок 5.** Координаты 15-ти зондирований 15.04.1980 г. в интервале времени с 00:31 до 00:46 UT: **а** - траектория спутника ИК-19 относительно трех высокоширотных структур; **б** - график распределения  $foF2$ .

### 3. Заключение

Анализ ионограмм, полученных на борту спутника Интеркосмос-19, показал, что критическая частота F2 слоя меняется существенно, т.е. ионосфера в высокоширотной области не является плоскостойкой структурой. Наличие «чистых» ионограмм характерно для плоскостойкой однородной ионосферы. В рассматриваемых случаях «чистые» ионограммы наблюдались в основном вне области дискретных высыпаний аврорального овала и при значительных градиентах критической частоты. При увеличении градиентов  $foF2$  на ионограммах наблюдается F-рассеяние. В данной работе впервые исследуется вопрос о возможности наблюдения «чистых» ионограмм внутри областей авроральных высыпаний различного типа и в непосредственной близости от них.

### Литература

- Telegin V.A., Karpachev A.T. Characteristics of F-spread on the topside ionogram of interkosmos-19 satellite, 2016 / [www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/IV-international/downloads/section\\_5/section\\_5\\_report\\_0008.pdf](http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/IV-international/downloads/section_5/section_5_report_0008.pdf)
- Карпачев А.Т. Особенности высокоширотных ионограмм, полученных при зондировании на спутнике ИНТЕРКОСМОС-19. //Гелиофизические исследования № 14. С.17-30. 2016, ИПГ ISSN: 2304-7380
- Брюнелли В.В., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука. 1988. 542 с.
- Мишин Е.В., Ружин Ю.Я., Телегин В.А. Взаимодействие электронных потоков с ионосферной плазмой М.: Гидрометеиздат. 1989. 263с.
- Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф.С., Ратовский К.Г., Захаренкова И.Е., Степанов А.Е., Котова Д.С., Воробьев В.Г., Ягодкина О.И. Влияние геомагнитных бурь 26-30 сентября 2011 года на ионосферу и распространение радиоволн КВ-диапазона. / Геомагнетизм и аэронавигация. Т.55. №6. С.769-789. 2015
- Vorobjev V.G., Yagodkina, O.I., Katkalov, Y. Auroral Precipitation Model and its applications to ionospheric and magnetospheric studies // J. Atm. S-Terr. Phys. V. 102. Issue (September). P. 157 – 171. 2013.