

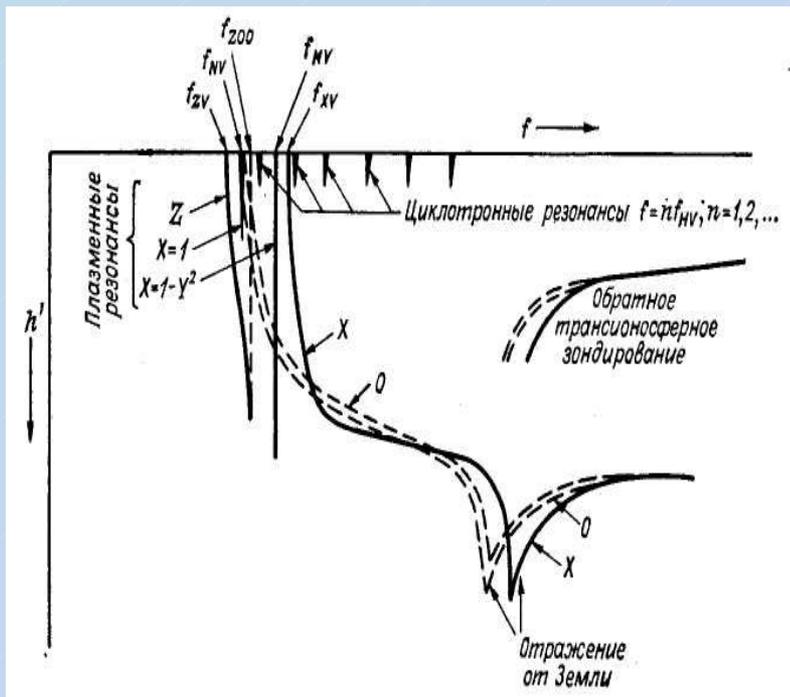
**Радиозондирование с ОКК "Мир"
как продолжение эксперимента по
радиозондированию
с КА "Интеркосмос-19"**

Котонаева Н. Г.

ГУ ИПГ им. Е.К.Федорова

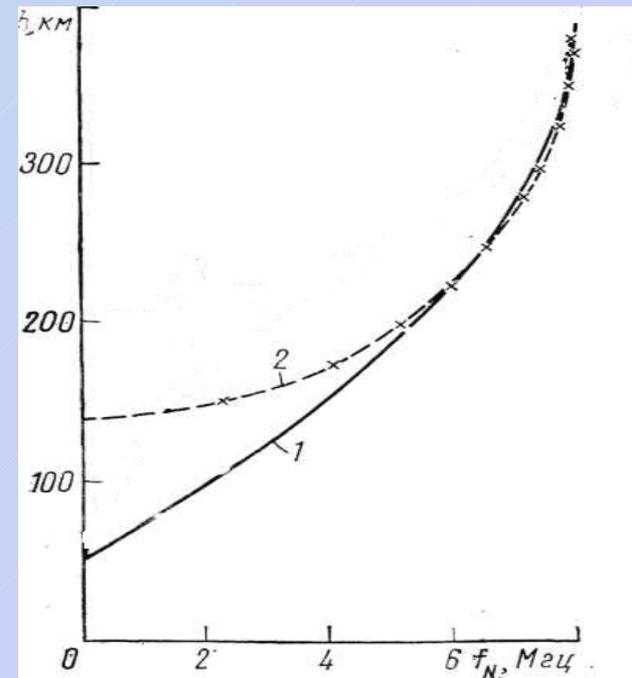
2009 г.

Схематическая ионограмма внешнего радиозондирования с нанесенными результатами обратного трансионосферного радиозондирования



Н.П. Данилкин в книге
«Ионосферная – магнитная служба»

N(h)- профили, восстановленные по результатам обратного трансионосферного радиозондирования



Н.П. Данилкин, В.В. Соцкий,
ГиА, 1976, №6

Прогноз модели IRI-2001 на 31 марта 1999 г 23-59 UT

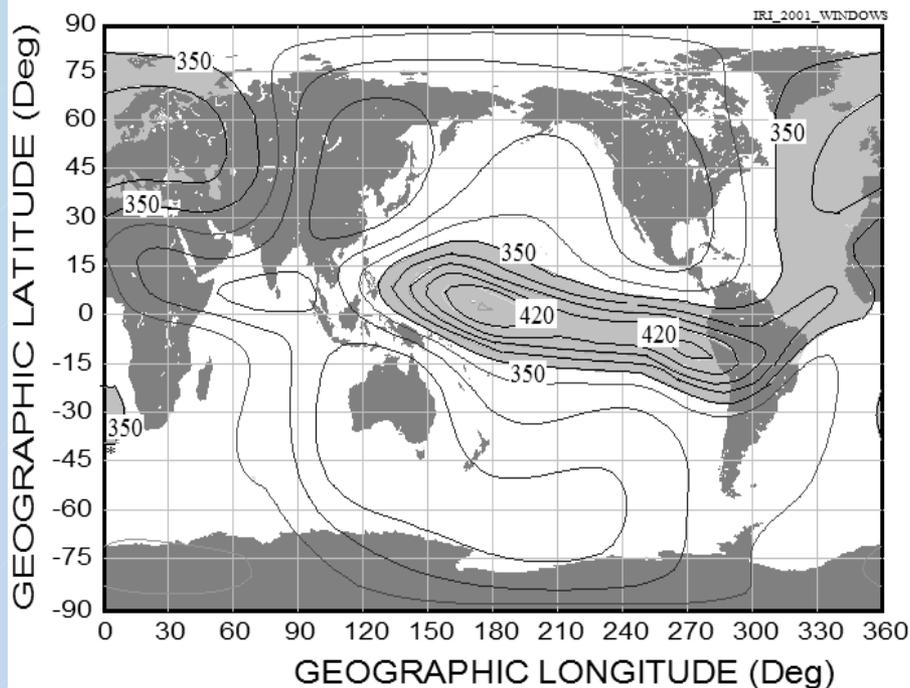
ВЫСОТЫ ГЛАВНОГО МАКСИМУМА ИОНОСФЕРЫ

hmF2 (km) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

Altitude: 9999.0(km)

UT 23:59 Year:1999 Month: 3 Day:31 (90/Year)

SSN: 83.8 IG: 99.8 (OBSERVED for the month)



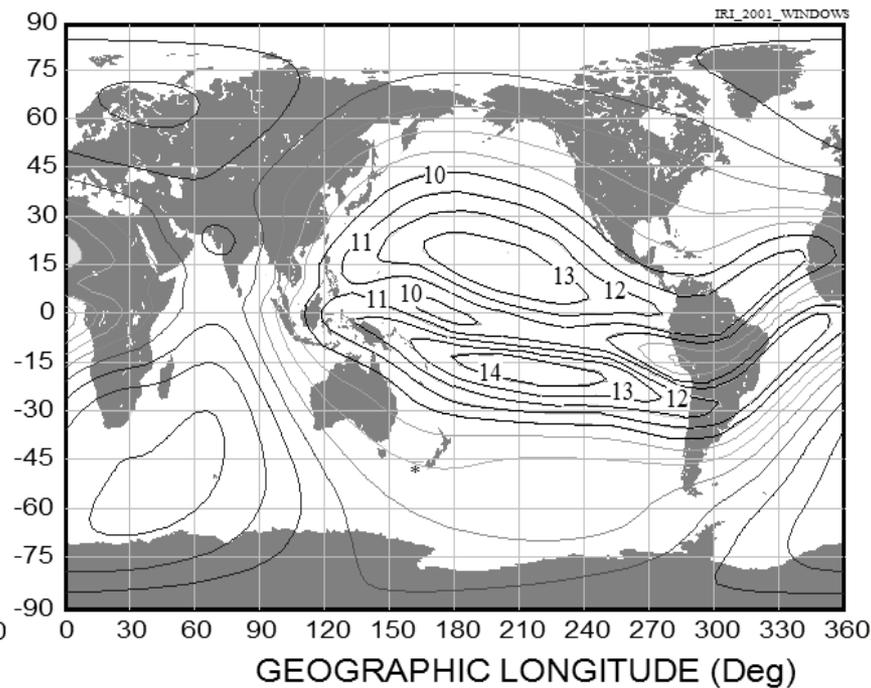
ПЛАЗМЕННЫЕ ЧАСТОТЫ НА ВЫСОТЕ 350 КМ

fN (MHz) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

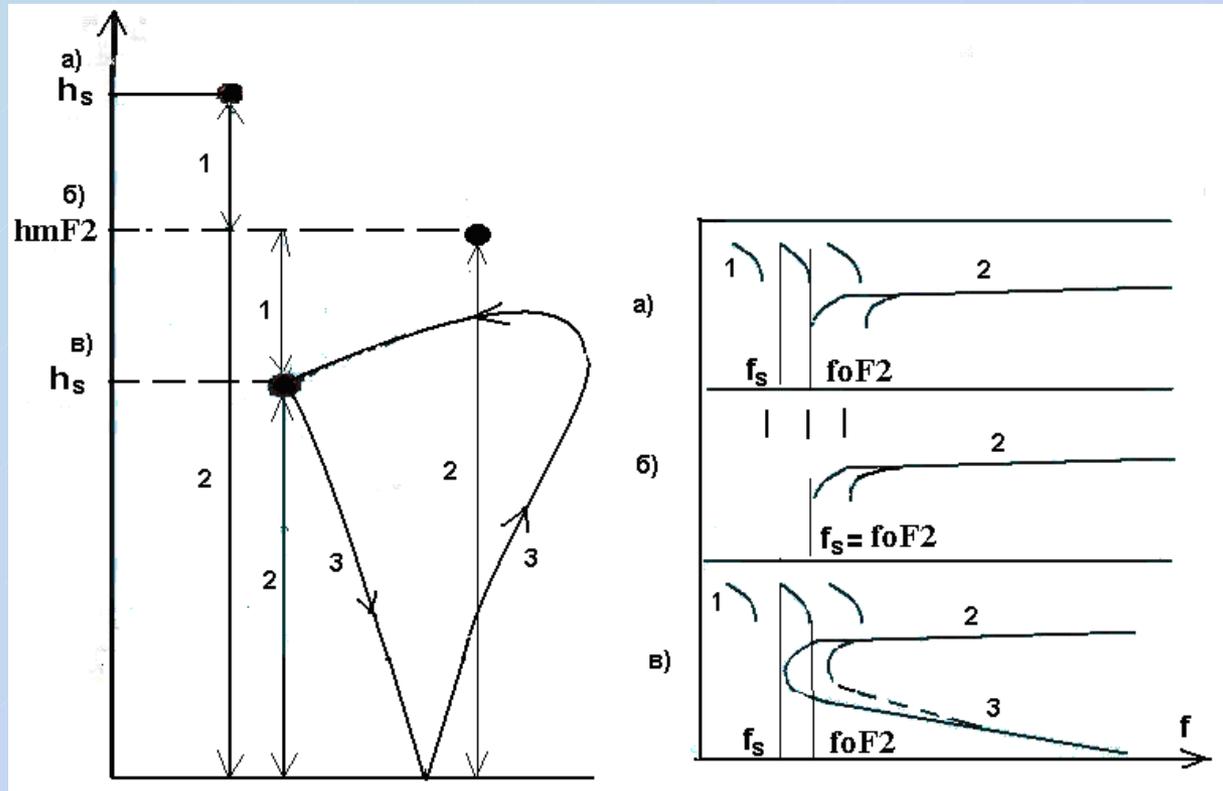
Altitude: 350.0(km)

UT 23:59 Year:1999 Month: 3 Day:31 (90/Year)

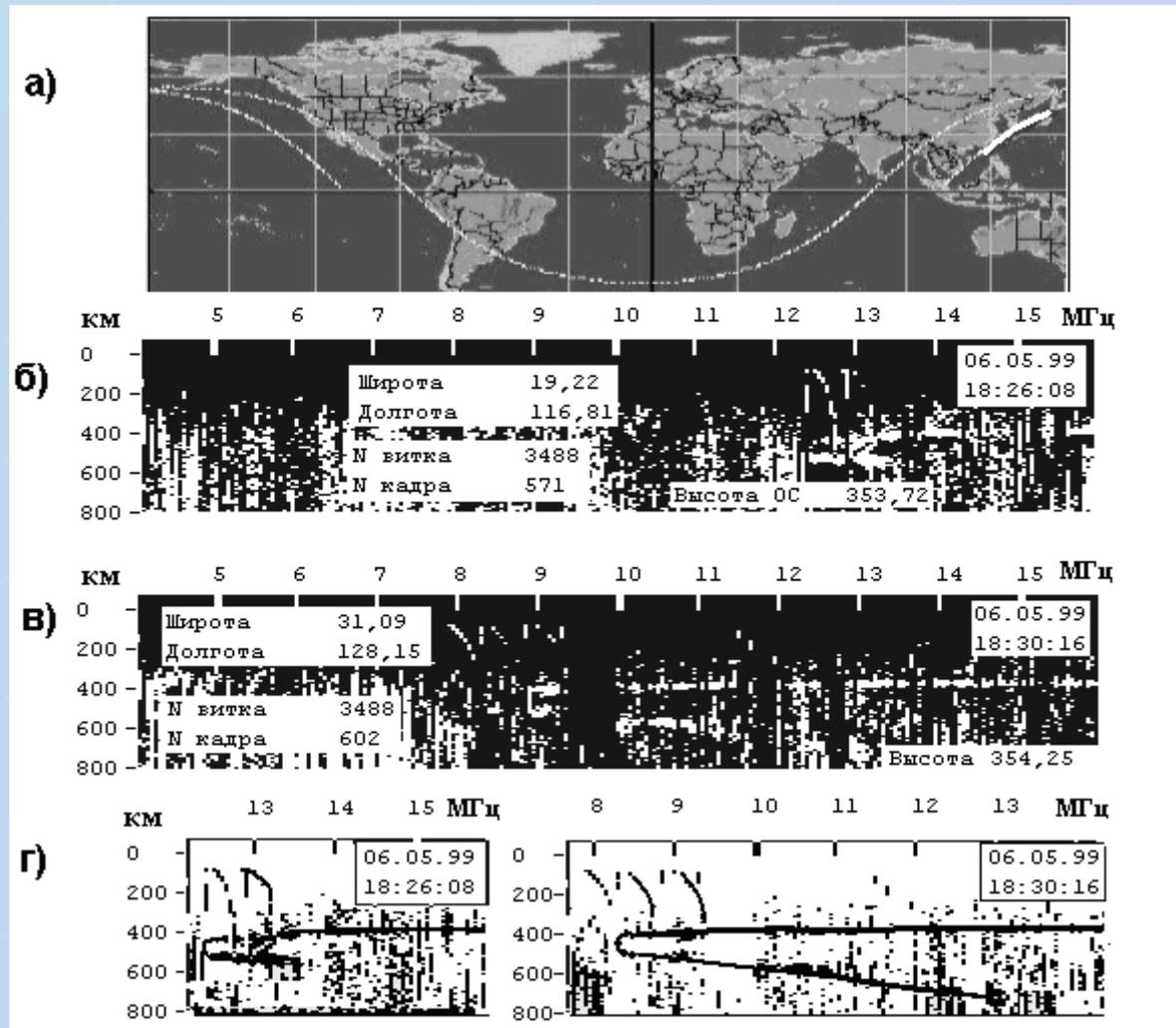
SSN: 83.8 IG: 99.8 (OBSERVED for the month)



Аппаратурная регистрация положения ионозонда относительно максимума ионосферы

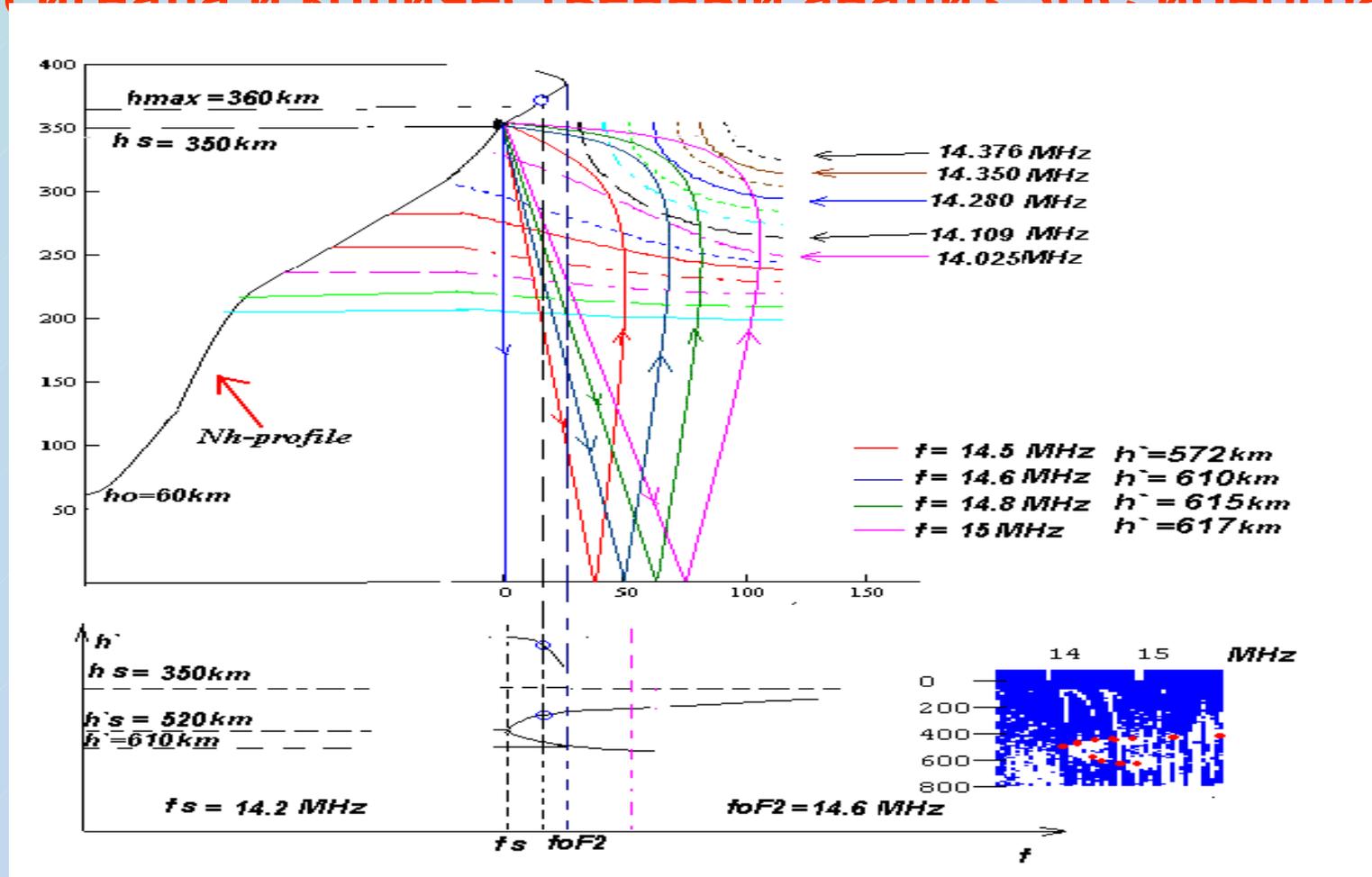


Ионограммы с задержанным нижним следом



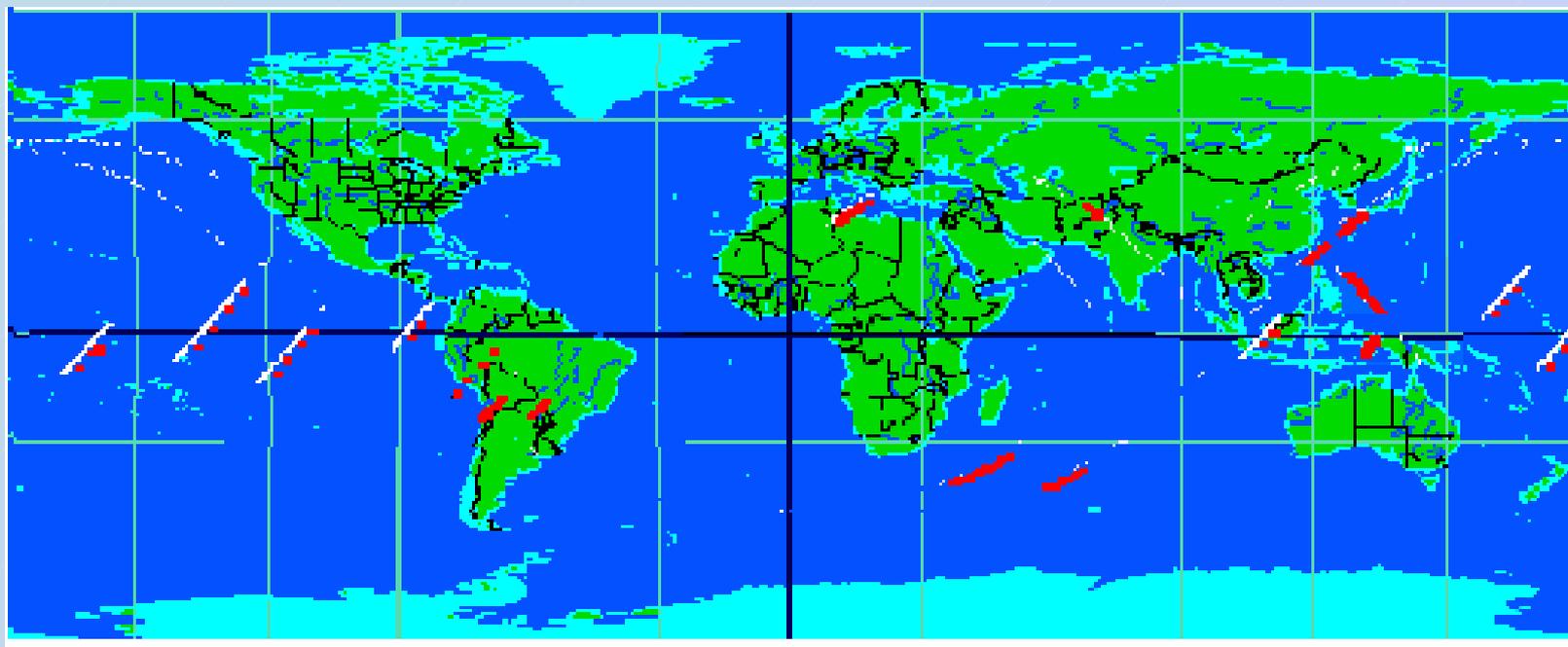
2500
KM

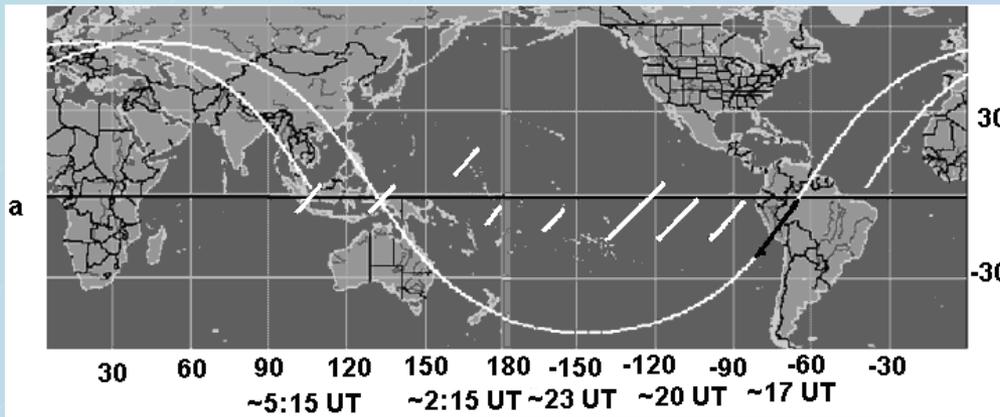
Результаты расчета возвратных траекторий сигнала и количественный анализ ЗНС ионограммы



- ☑ Траекторный синтез позволяет вычислить параметры неоднородностей и их расположение в пространстве

**Участки орбиты ОК «Мир»,
на которых зафиксированы
последовательности ионограмм с ЗНС**





витка № 2921
 траектории КС
 Диагностика ЗНС на 9
 МИР, а также
 последовательных витках

фрагменты
 траекторий, на
 которых

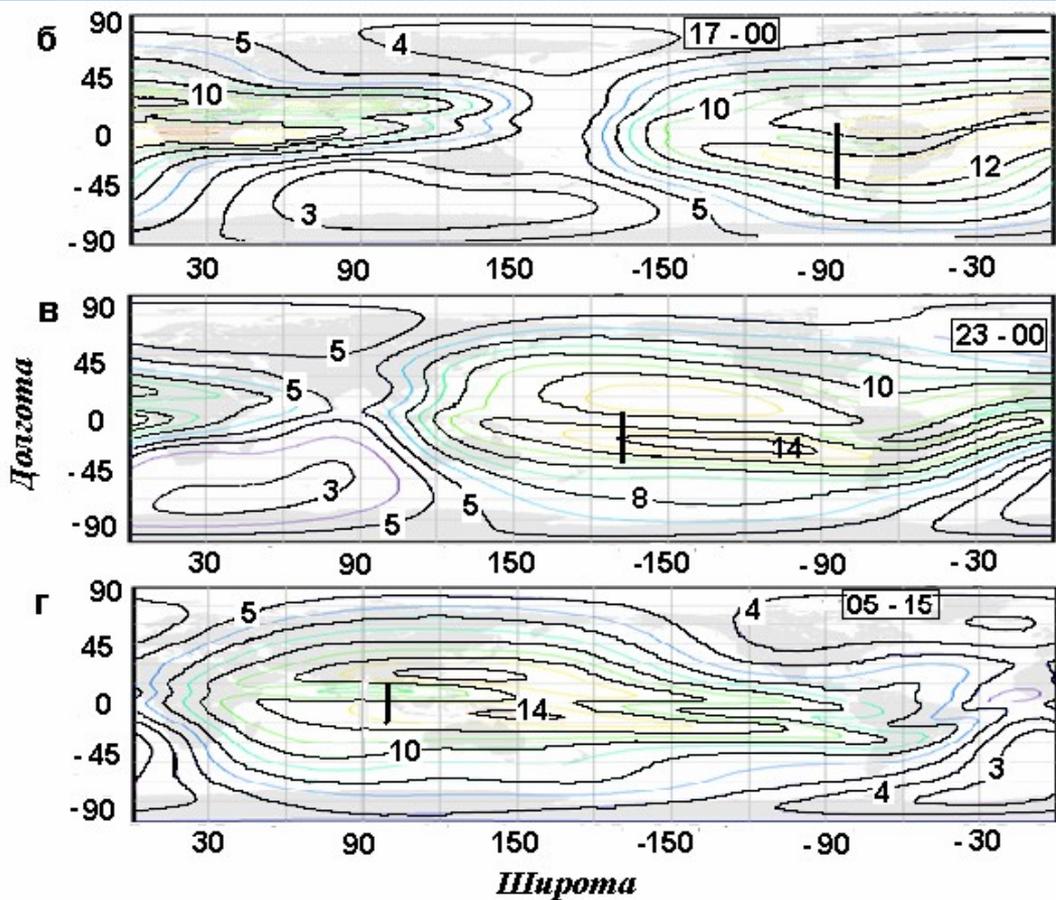
наблюдались ЗНС
 в течение
 последующих

восьюми витков; б,
 в, г - глобальное
 распределение

критических
 частот в
 максимуме

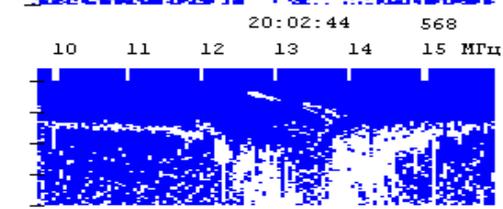
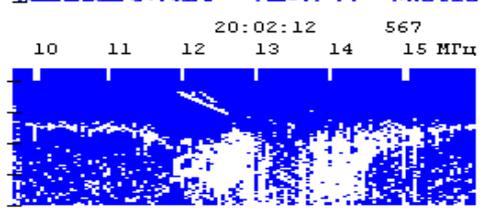
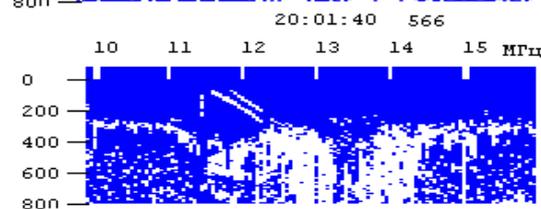
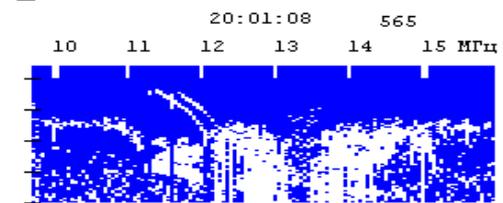
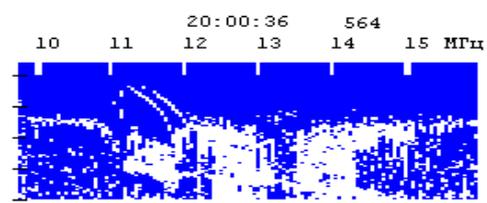
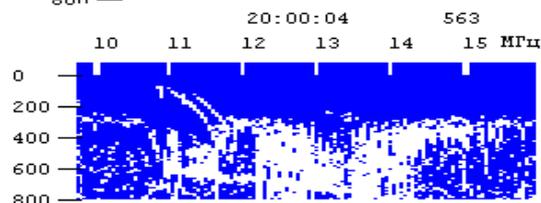
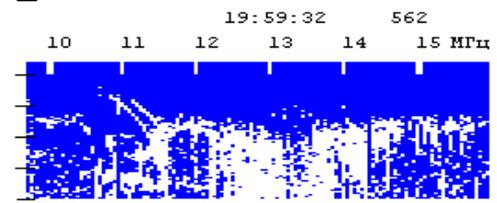
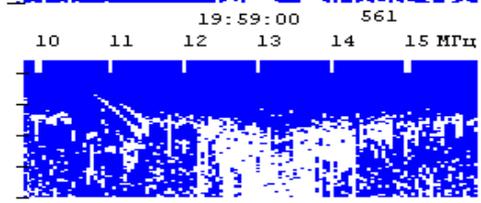
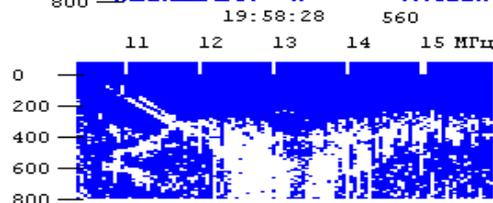
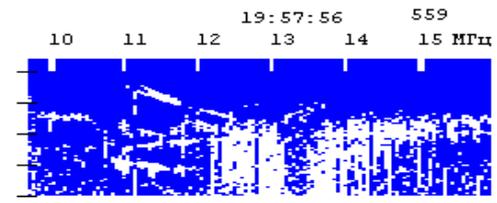
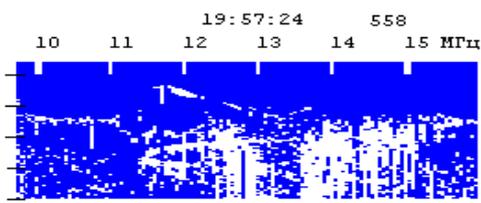
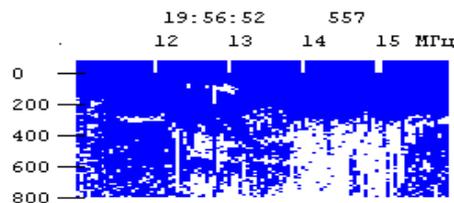
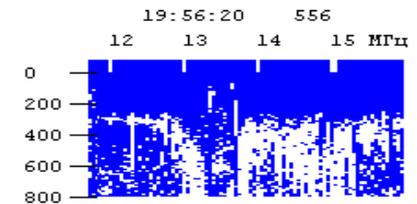
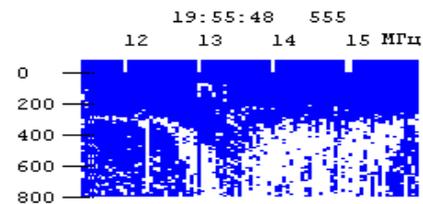
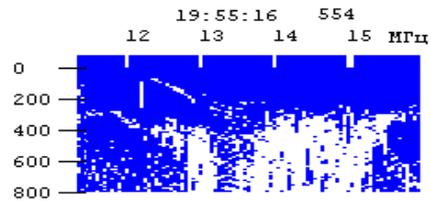
ионосферы,
 соответственно в
 17:00, 23:00 и в

05:15 UT, с

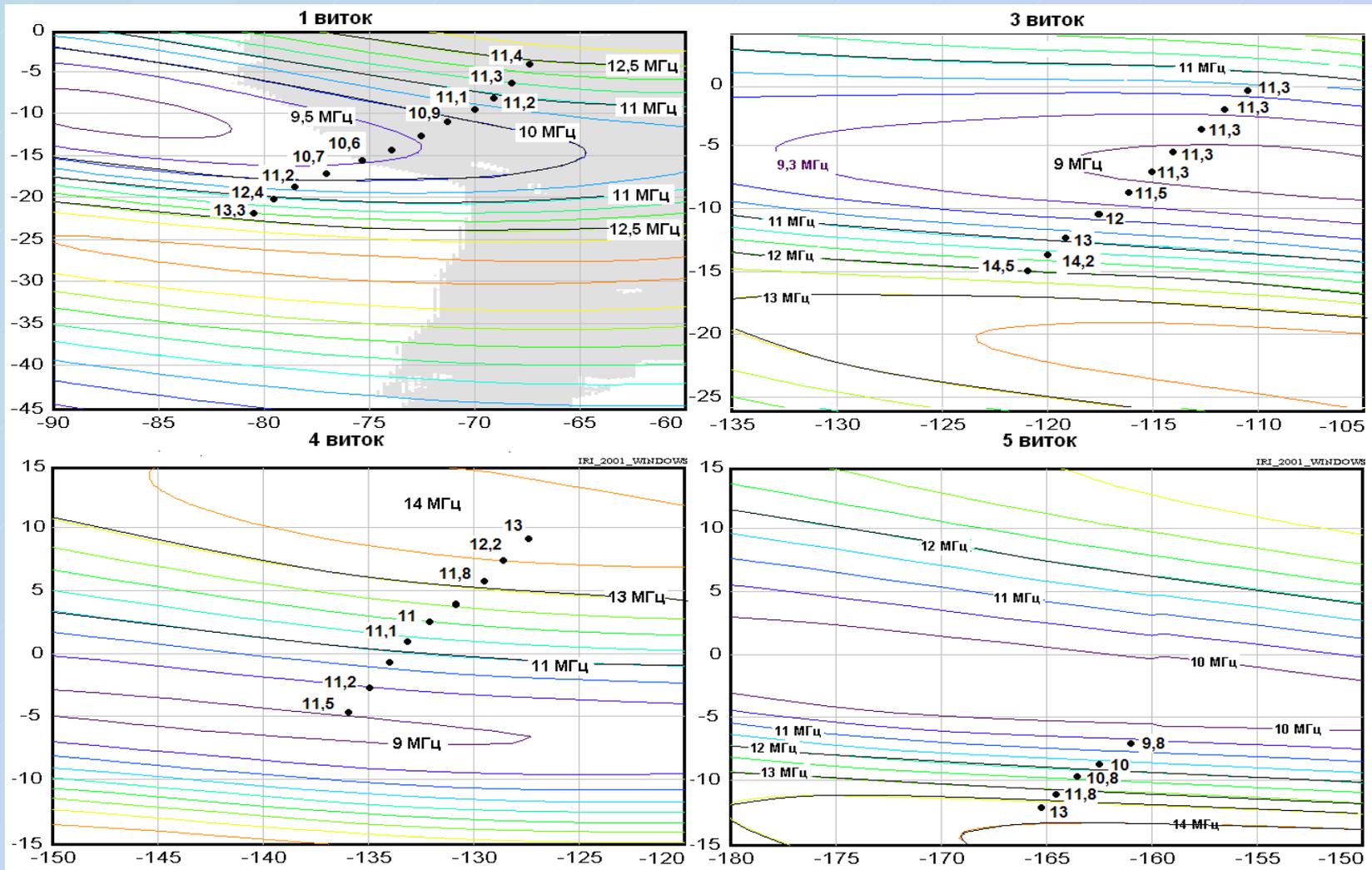


Ионограммы 1 витка

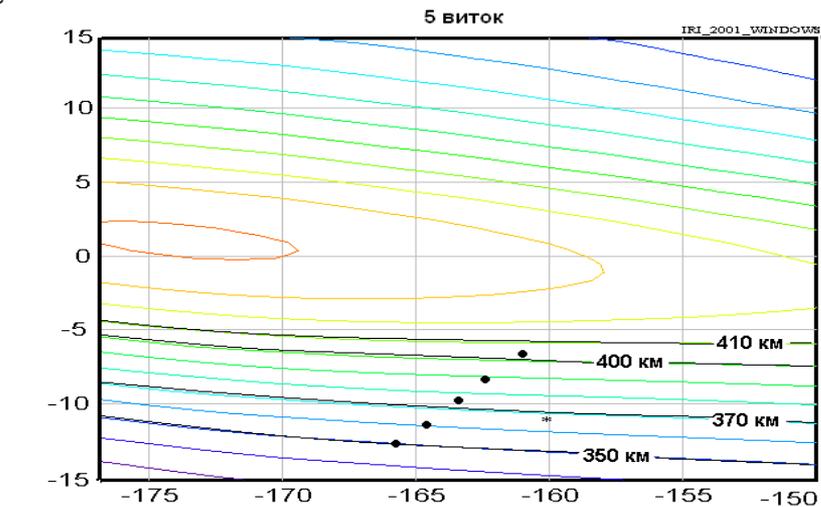
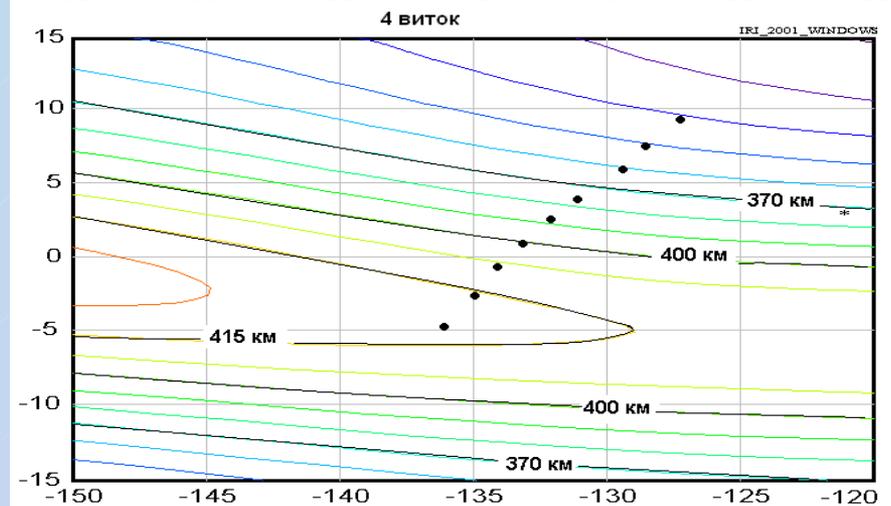
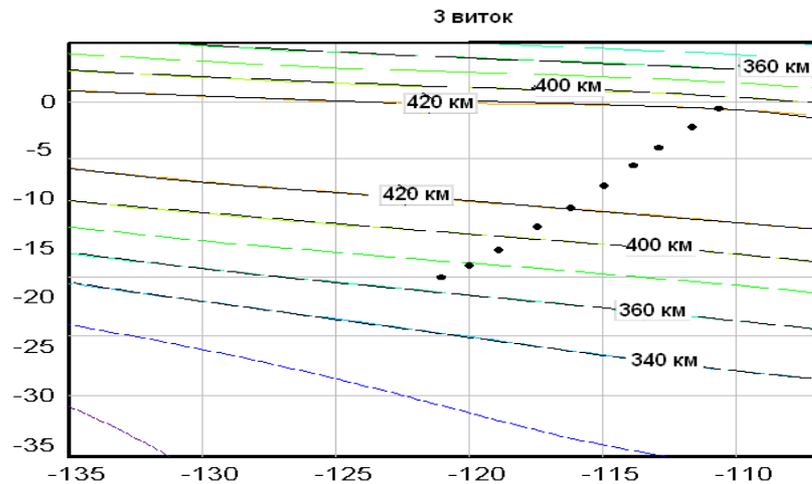
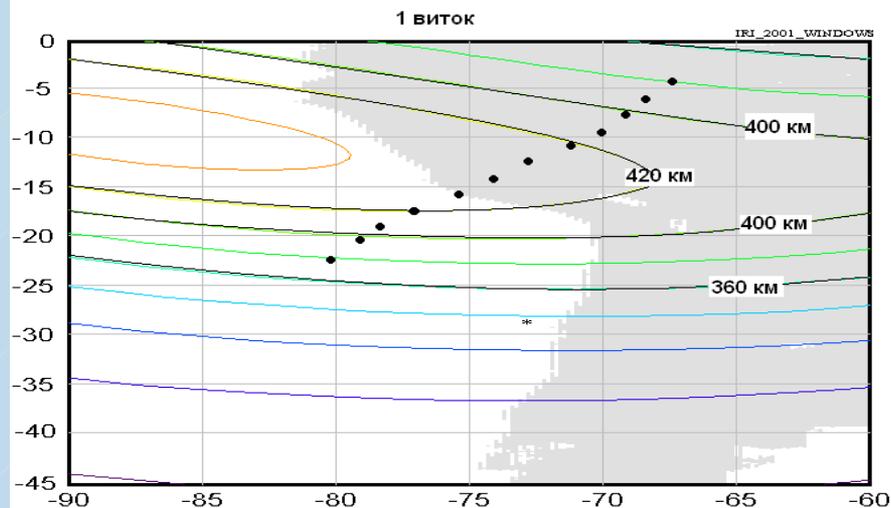
ОС "МИР" модуль "Природа" 31.03.99



Линии одинаковых значений плазменных частот на высоте спутника



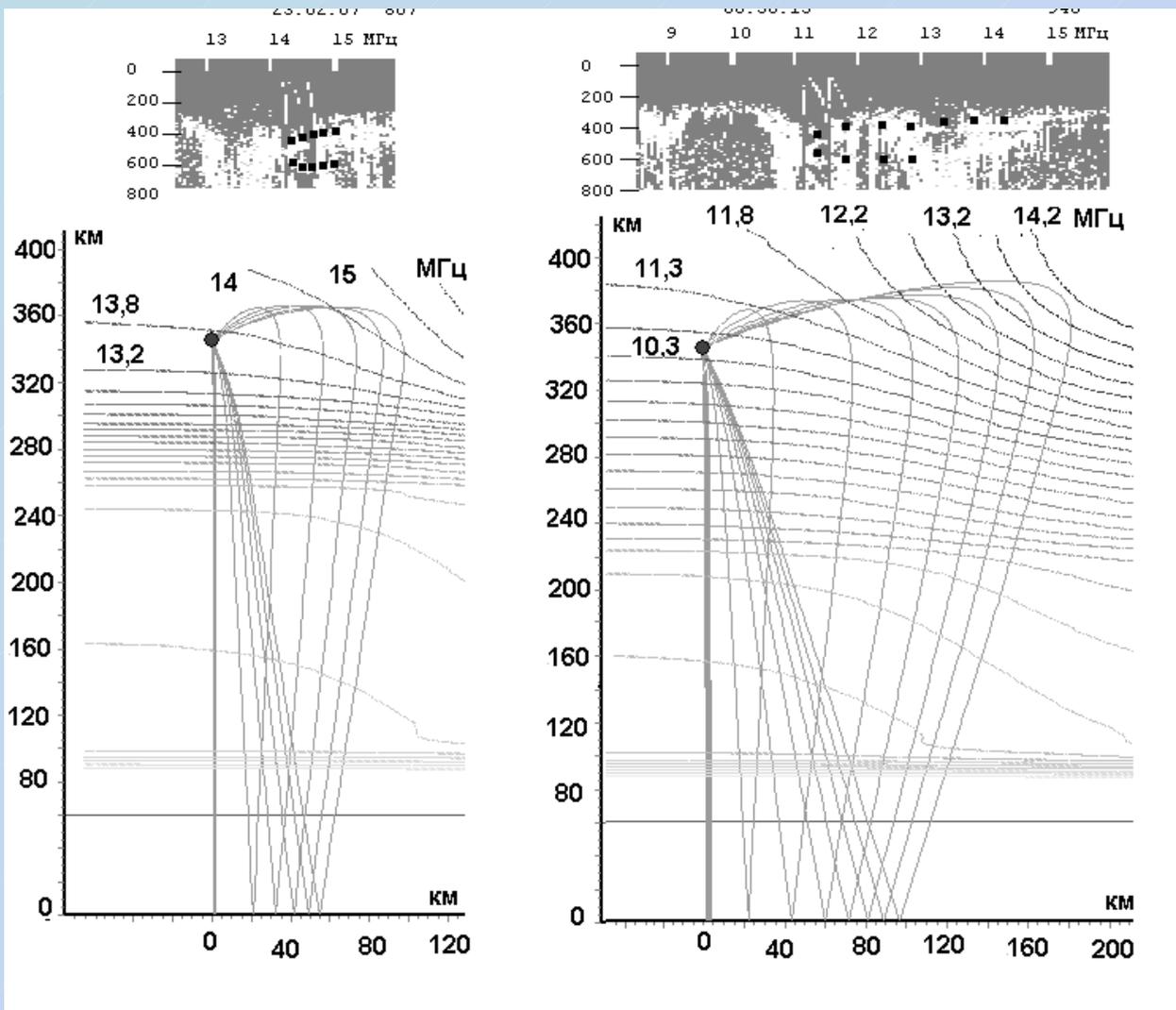
Линии одинаковых значений высоты максимума слоя F2



Расчеты возвратных траекторий на спутник

а) для ионограммы № 807 3 витка;

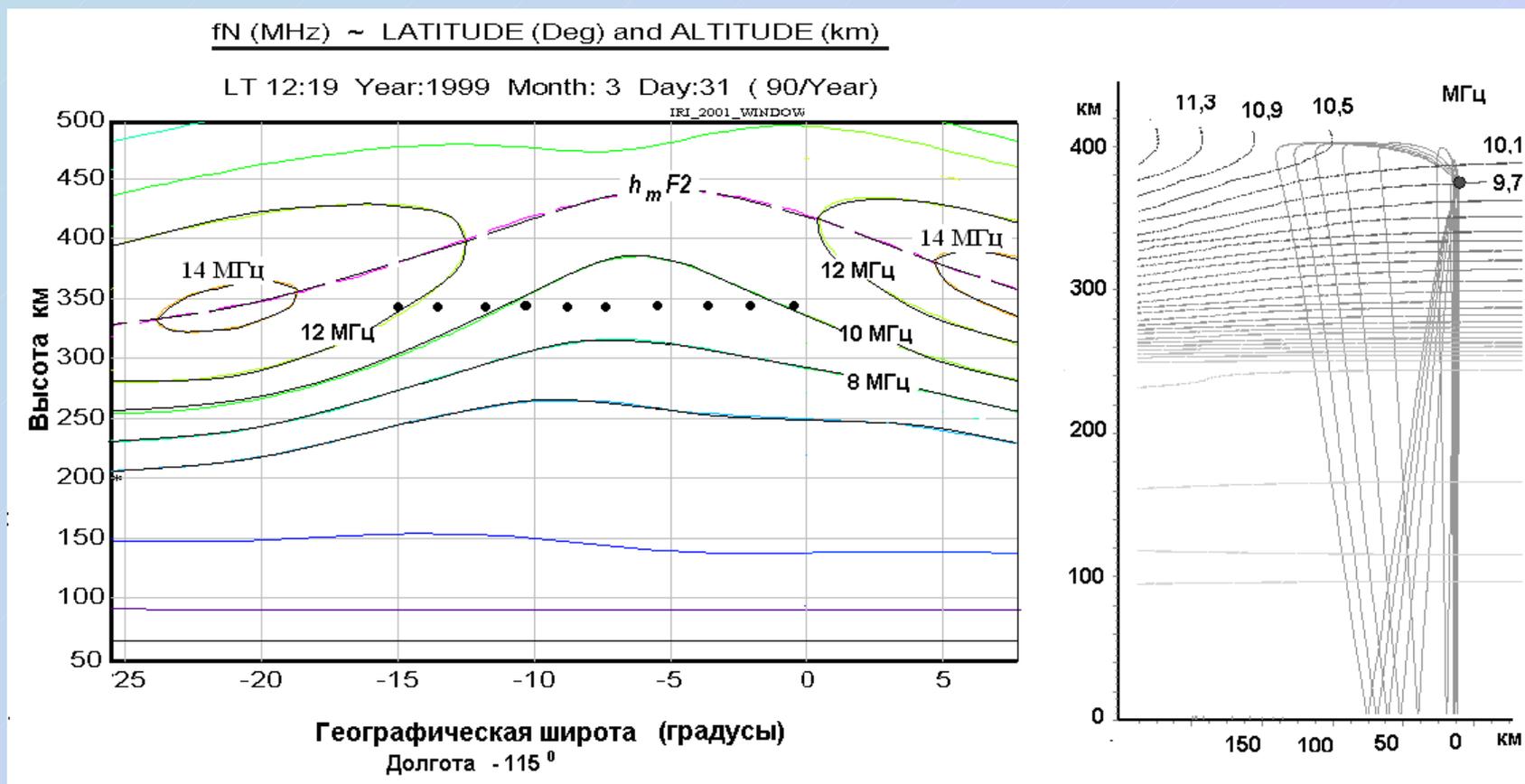
б) ионограммы № 940 4 витка



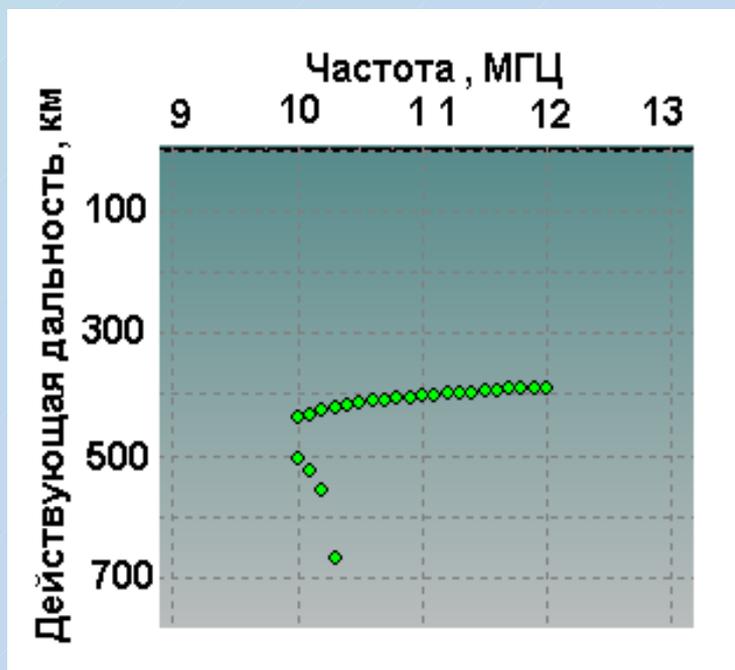
Горизонтальный
градиент
плазменных
частот для
ионограммы 807
1 МГц на 100 км,
для ионограммы
940 1,5 МГц на
100 км.

Распределение плазменных частот по долготе -115° в районе зондирования по прогнозу модели IRI. Расчет возвратных траекторий на спутник в смоделированной ионосфере

Горизонтальный градиент плазменной частоты 1 МГц на 250 км.



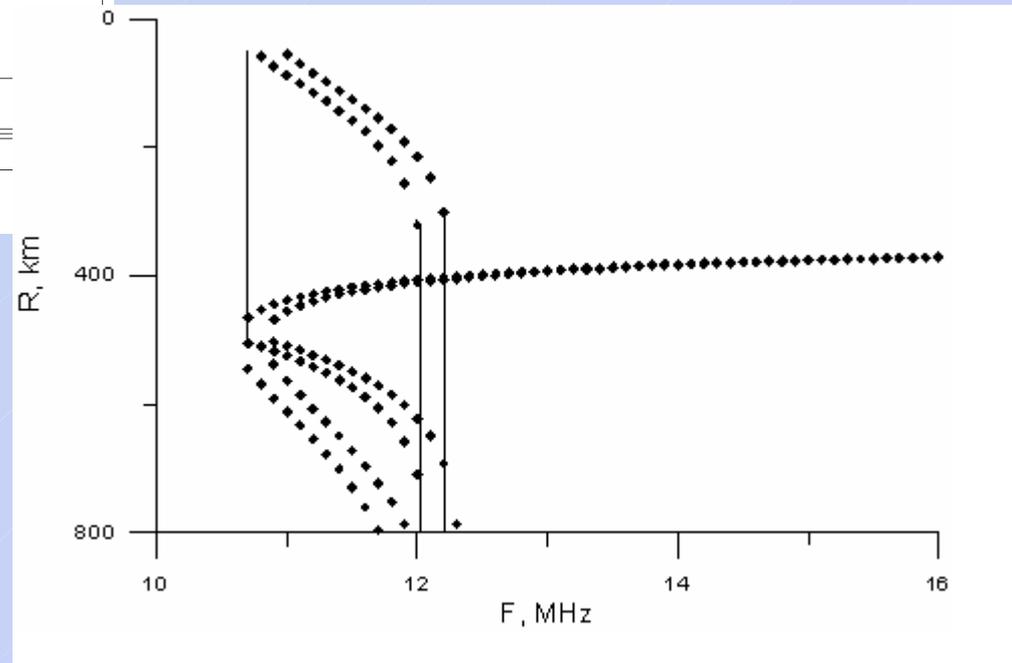
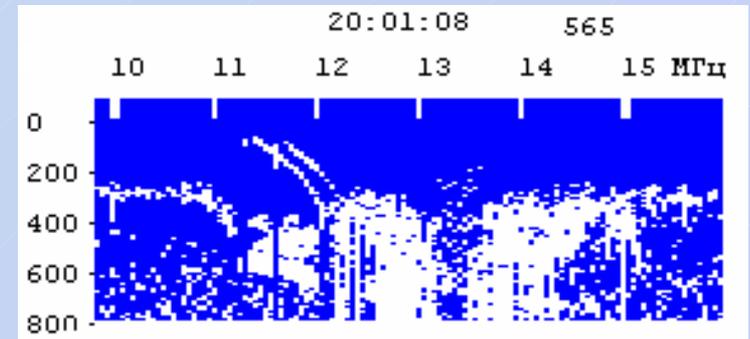
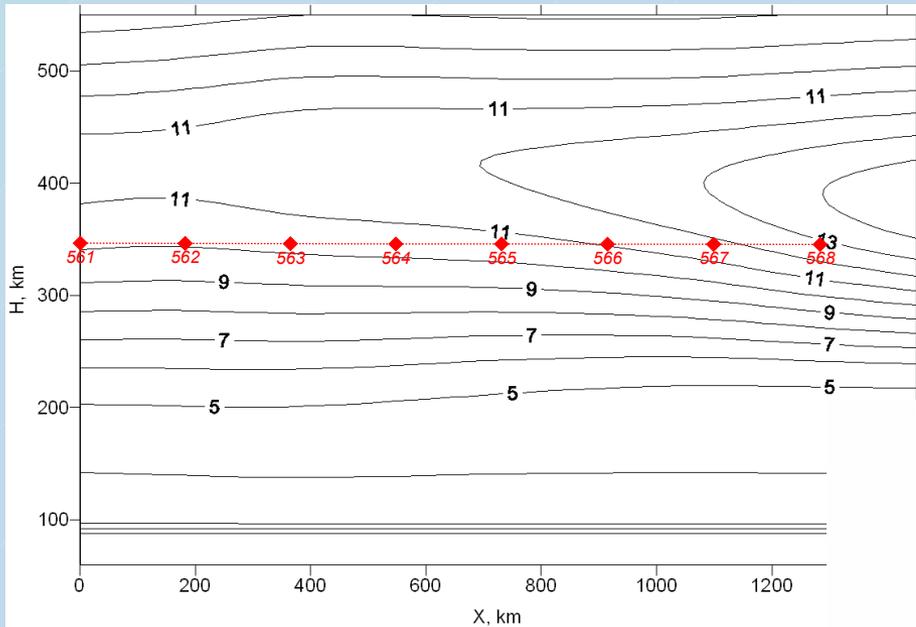
Смоделированная ионограмма в ионосфере, соответствующей прогнозу IRI



☑ Причиной возникновения ЗНС могут являться горизонтальные градиенты электронной плотности, свойственные этим районам в это время.

Расчеты показали, что зоны увеличения высоты максимума слоя F2 в районе экватора в

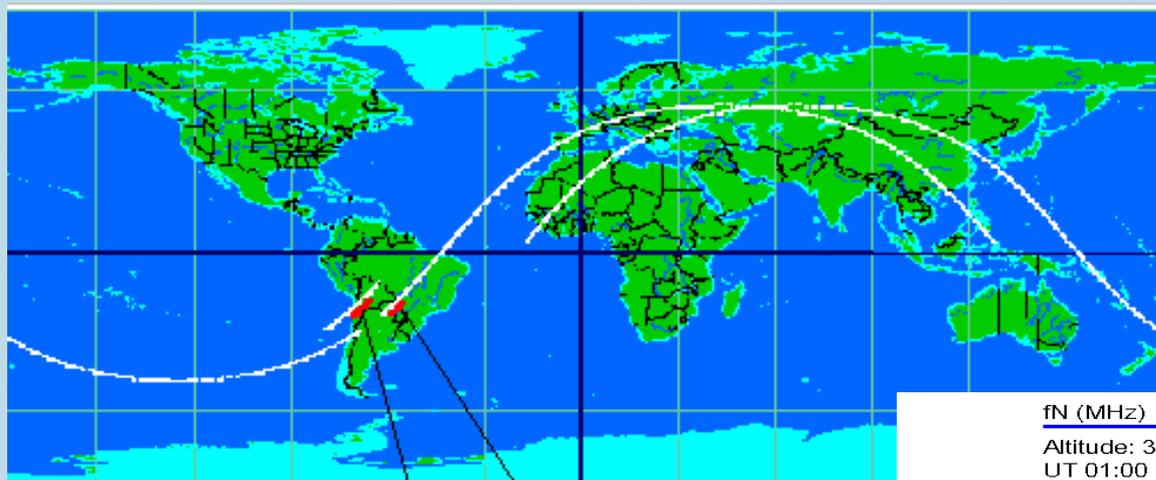
Проверка возможности существования возвратных на спутник траекторий при наклонном зондировании



Широта – $7,93^\circ$

Долгота – $-69,21^\circ$

Фрагменты орбиты ОКК «Мир», на которых зарегистрированы последовательности ионограмм с ЗНС 10 и 11 марта 1999 года



10.03.1999 4:03

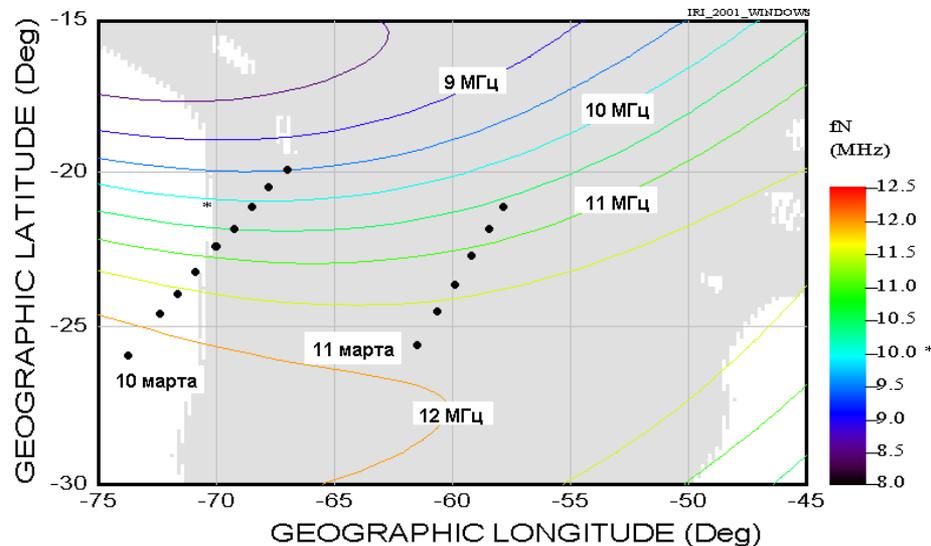
11.03.1999 2:55

f_N (MHz) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

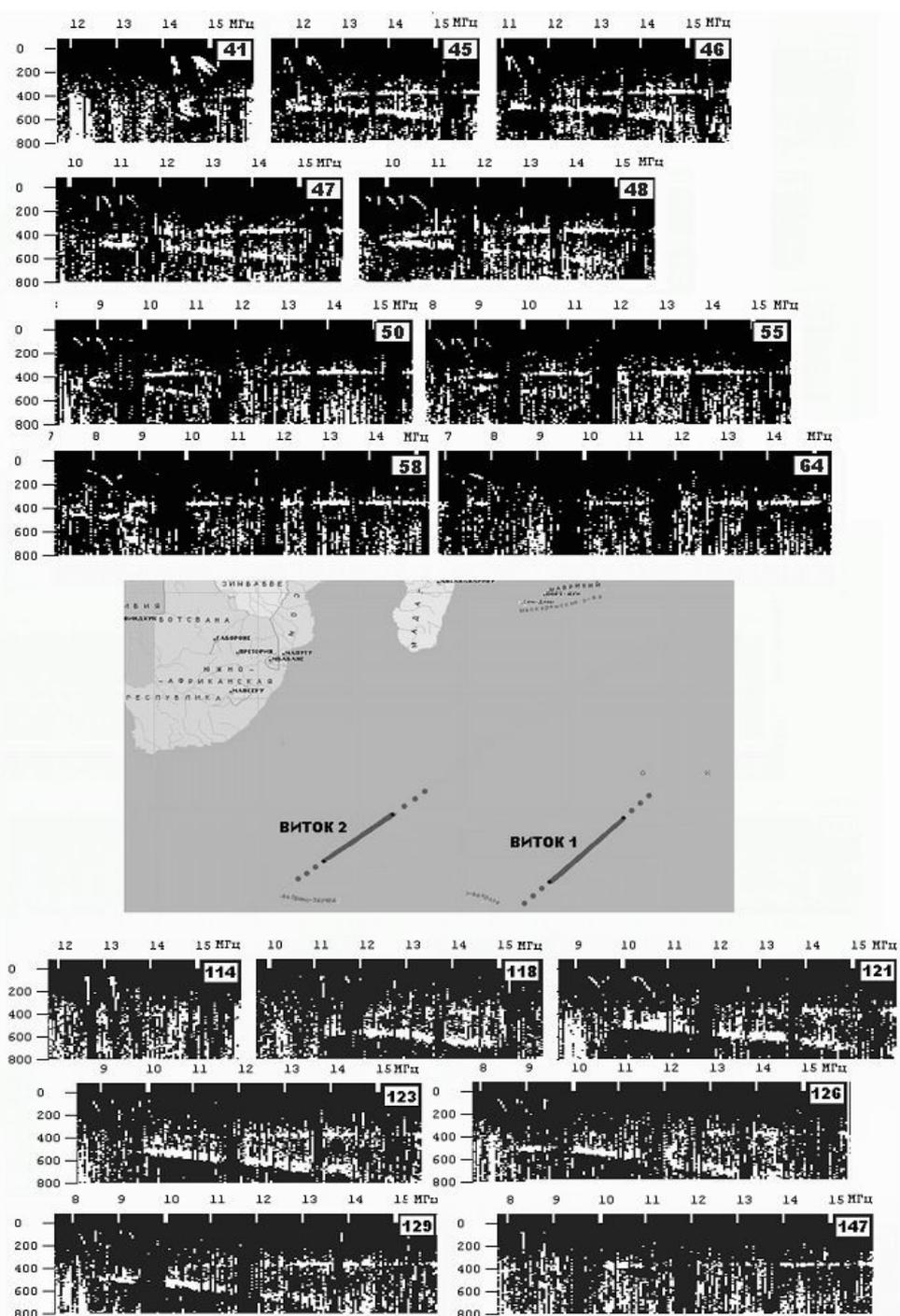
Altitude: 356.0(km)

UT 01:00 Year:1999 Month: 3 Day:10 (69/Year)

SSN: 83.8 IG: 99.8 (OBSERVED for the month)



Последовательности ионограмм с ЗНС



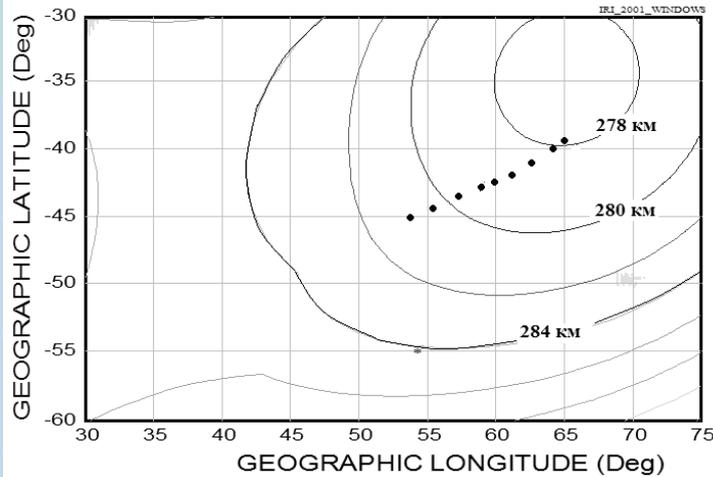
Прогноз критических частот и высот максимума ионосферы 5 марта 1999 г.

hmF2 (km) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

Altitude:9999.0(km)

UT 15:00 Year:1999 Month: 5 Day: 5 (125/Year)

SSN: 90.5 IG: 103.7 (OBSERVED for the month)

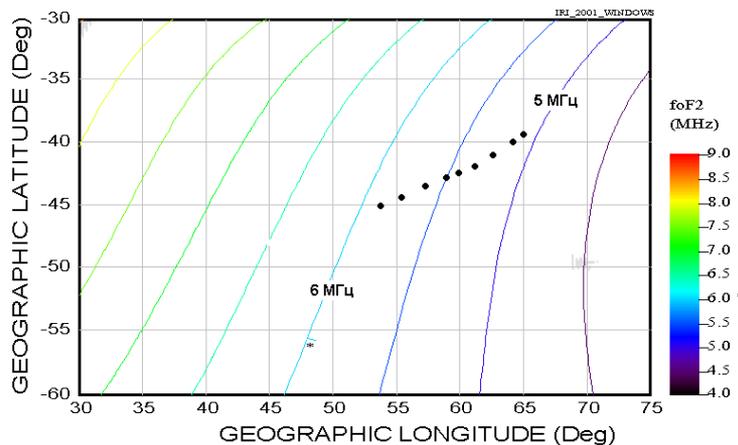


foF2 (MHz) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

Altitude:9999.0(km)

UT 15:00 Year:1999 Month: 5 Day: 5 (125/Year)

SSN: 90.5 IG: 103.7 (OBSERVED for the month)

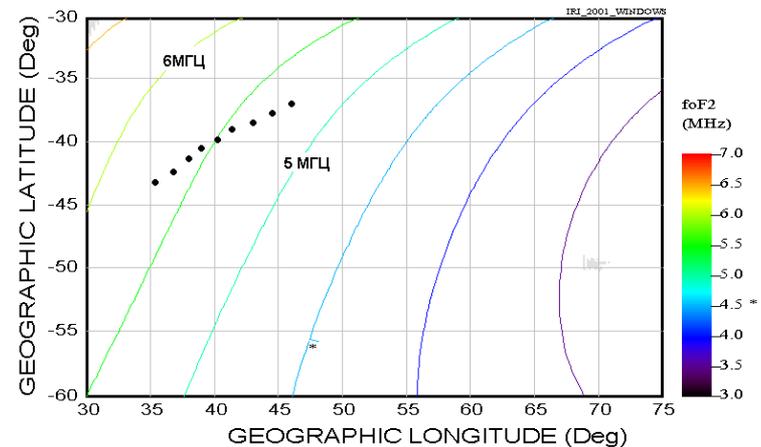


foF2 (MHz) ~ LONGITUDE (Deg) and LATITUDE (Deg)

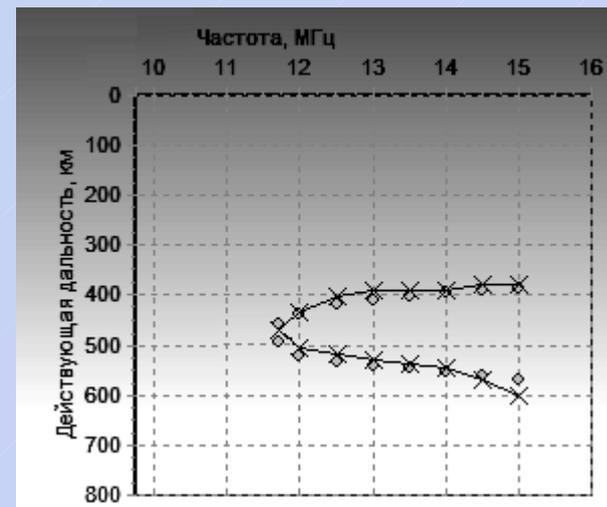
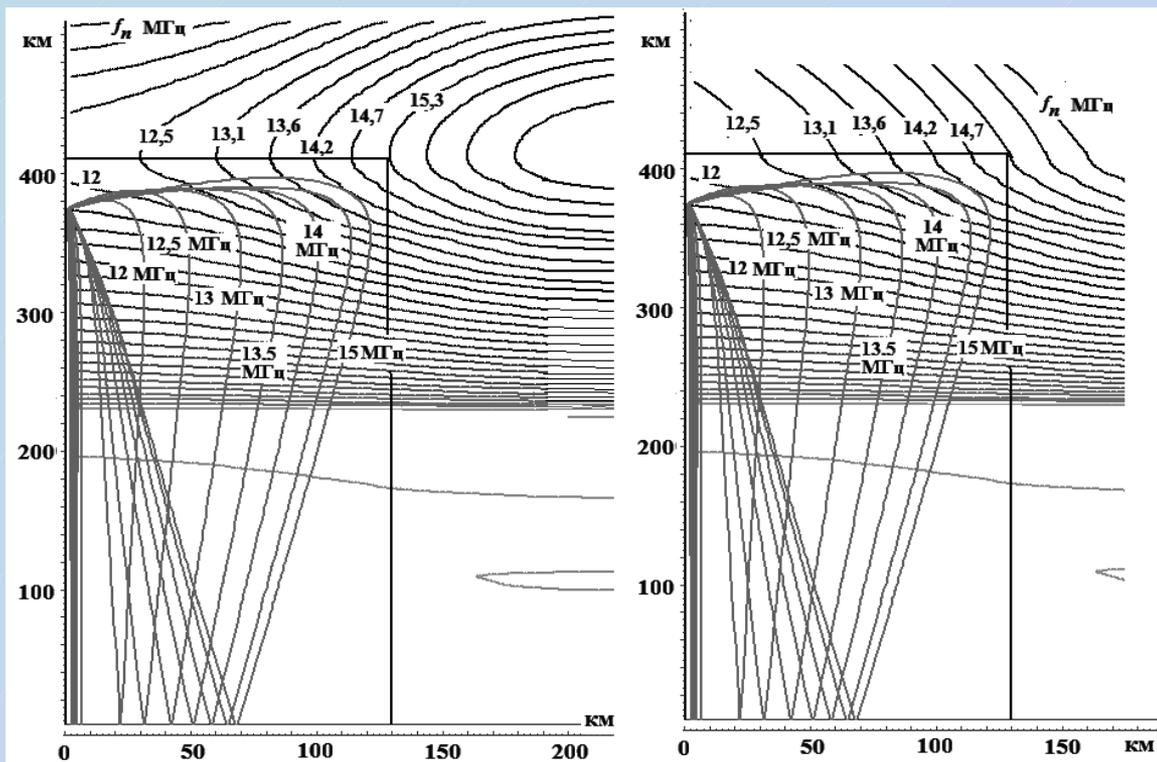
Altitude:9999.0(km)

UT 16:15 Year:1999 Month: 5 Day: 5 (125/Year)

SSN: 90.5 IG: 103.7 (OBSERVED for the month)

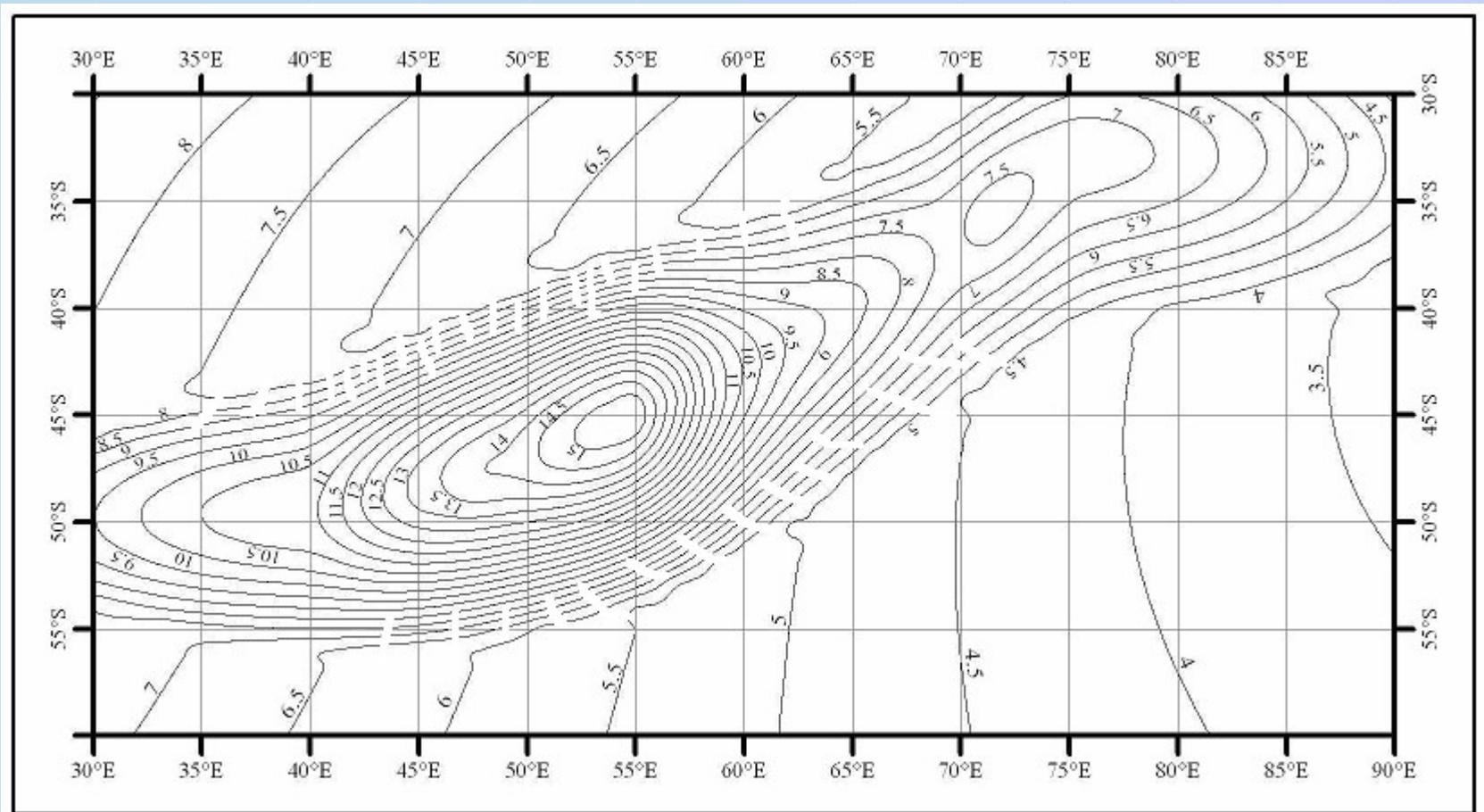


Возвратные на спутник траектории, с действующими дальностями, соответствующими ионограмме

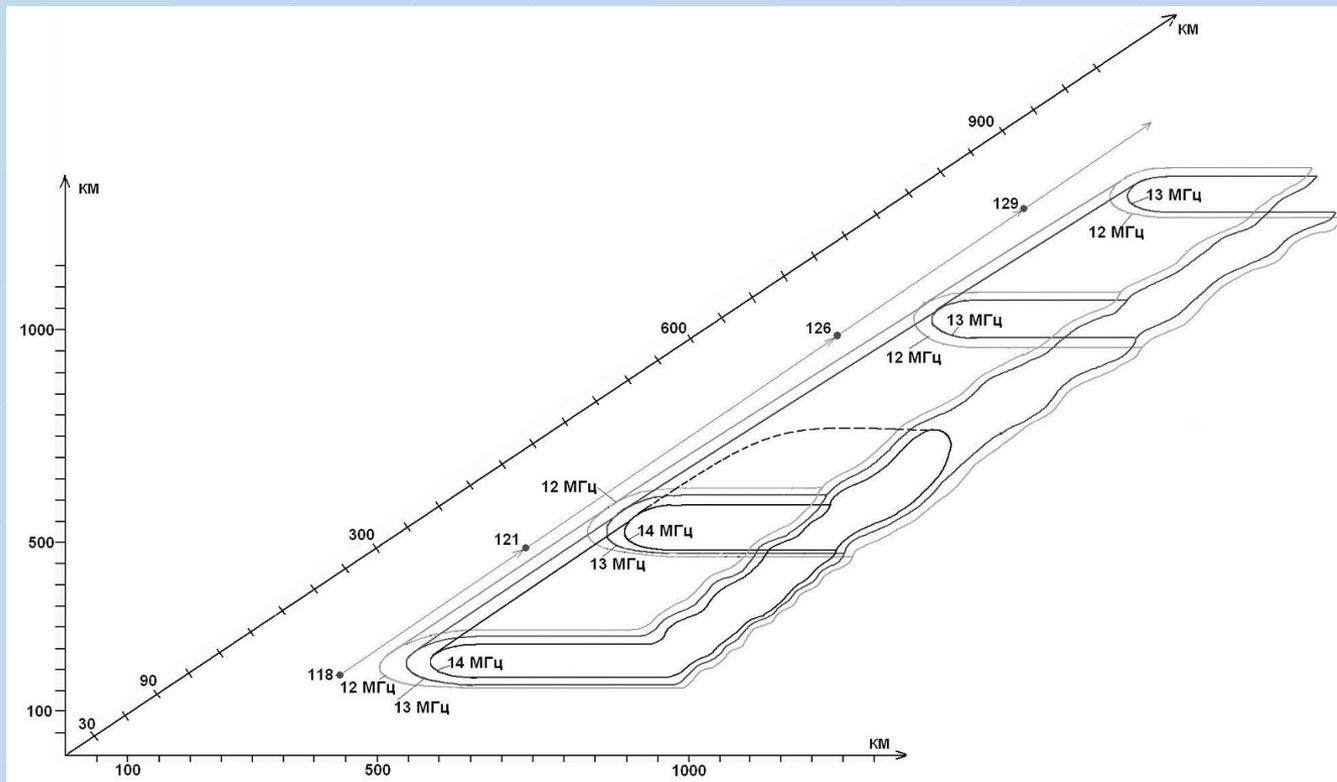


Предполагаемое распределение концентрации в ионосфере

**Карта изоэлектронной концентрации
для серии 5 мая 1999
с 18-00 по 18-08 МВ, построенная с помощью
метода кригинга
и с интервалами корреляции 1000 км**



Пространственная модель макромасштабной неоднородности, восстановленная по результатам радиозондирования с ОКК «МИР».
Цифрами обозначены номера ионограмм второго витка и линии одинаковой концентрации электронов



- ☑ **Найденные неоднородности по своим масштабам являются крупномасштабными и существуют длительное время.**
Явление ЗНС есть краевой эффект на таких

Коррекция модели IRI

Мониторинг ионосферы по спутниковым и наземным ионограммам

№ ионограммы / название станции	$\Delta F_{\text{мод}}$, %	$\Delta F_{\text{корр}}$, %
532	29.1	21.1
533	6.5	3.3
534	4.3	0.6
535	14.9	5.3
536	15.4	0.2
537	14.5	2.2
538	12.2	3.3
539	13.8	6.8
540	5.7	1.5
542	3.3	1.9
544	3.5	1.1
546	1.9	0.2
548	3.9	2.4
549	8.0	3.6
550	12.9	7.8
<u>Vanimo</u>	40.6	37.4
<u>Darwin</u>	19.8	14.4
<u>Townsville</u>	7.6	1.3
<u>Brisbane</u>	3.5	10.5
<u>Canberra</u>	3.6	8.9

до коррекции величина относительного

отклонения модели от реальности составляла

в среднем величину 11.2%, находясь

в пределах от 1.9% до 40.6%.

После проведения коррекции отклонение

критической частоты от модели составило

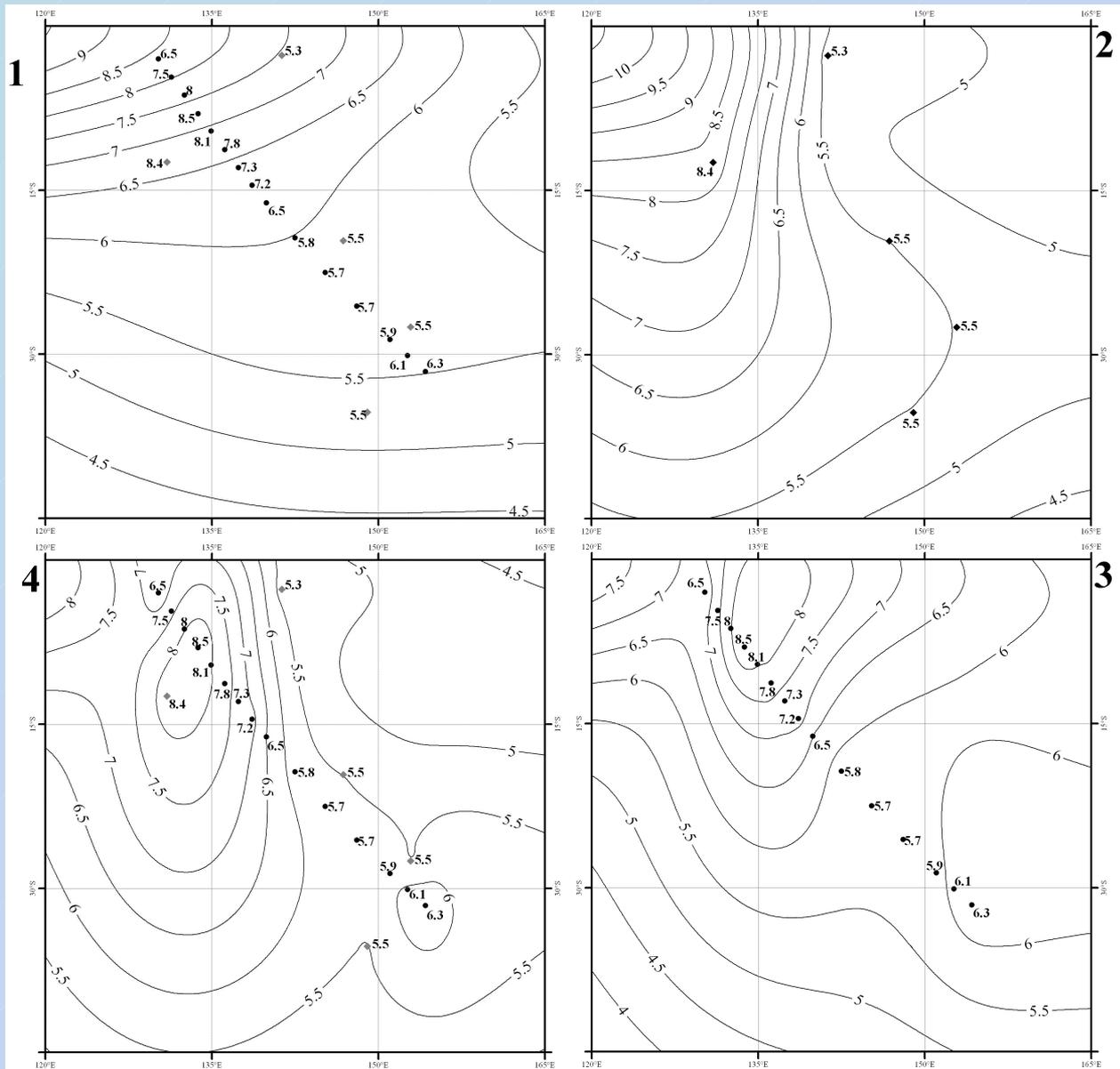
в среднем 6.7%, варьируясь в пределах

от 0.2% до 37.4%. Проведение коррекции

позволило снизить погрешность в определении

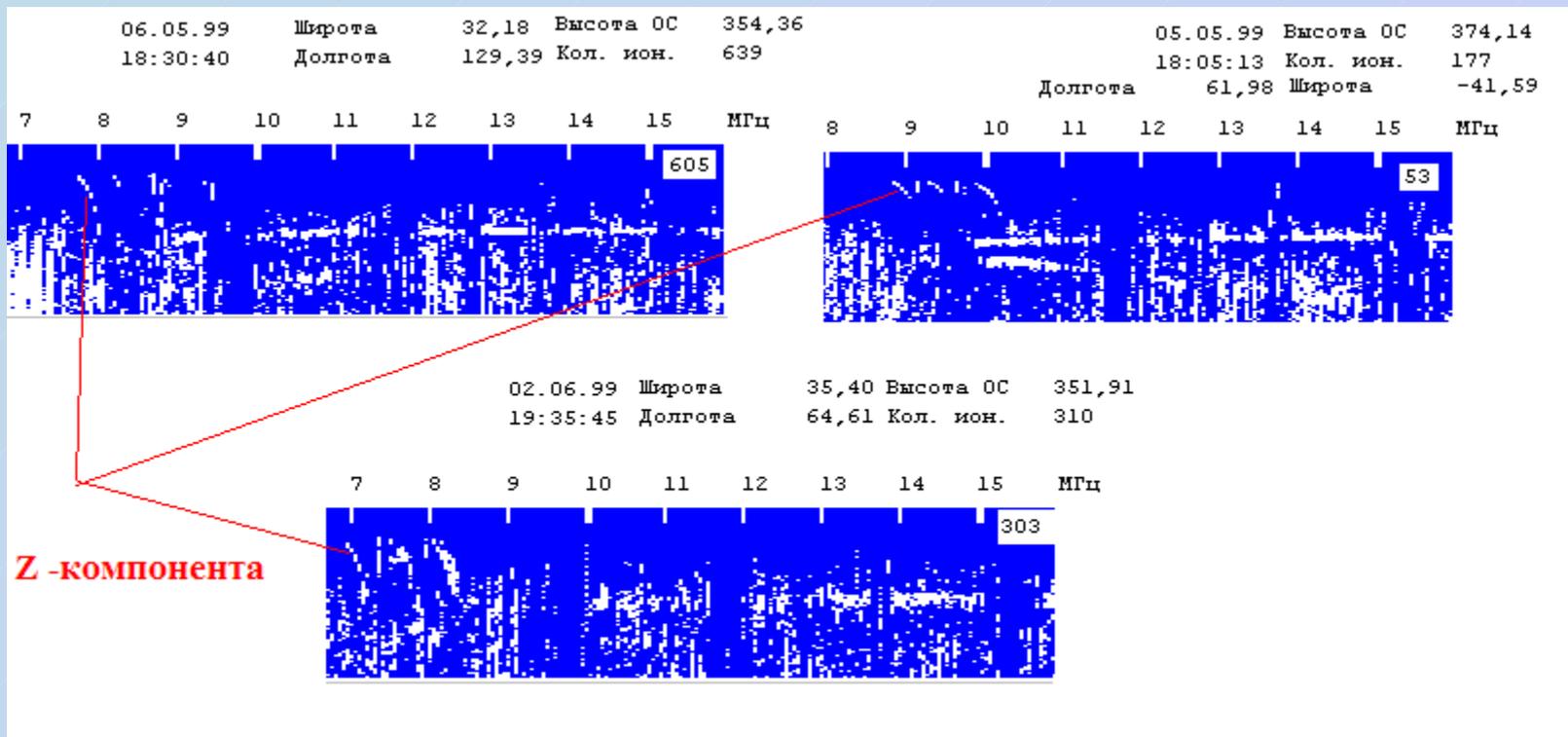
реальной критической частоты в отдельно

взятой точке практически в два раза.

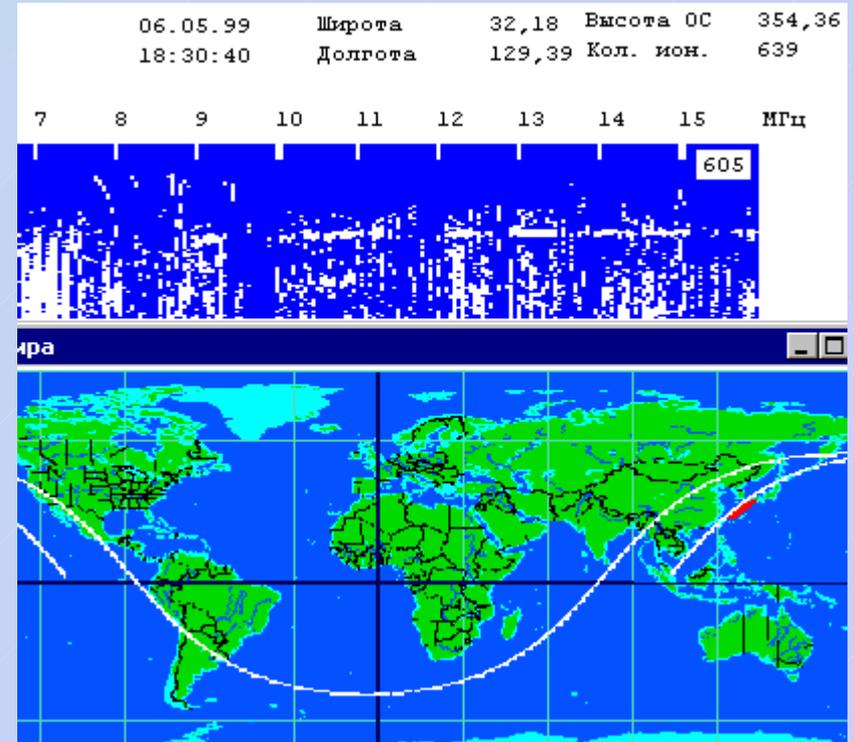
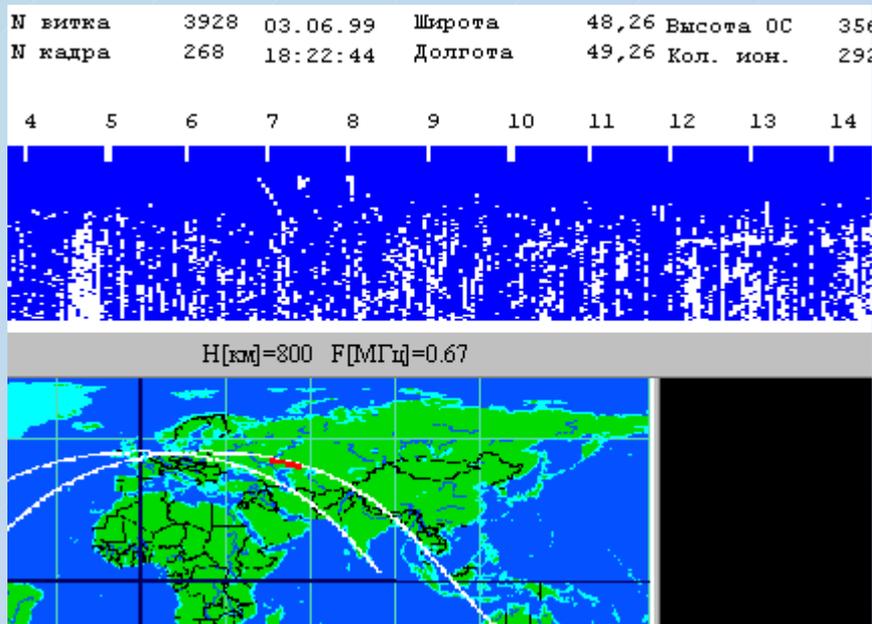


Карты критической частоты для серии 31 марта 1999 г.

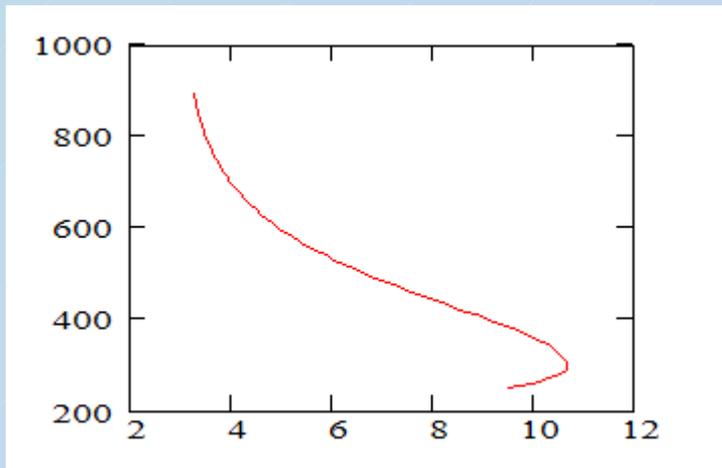
Ионограммы станции «Мир» со следами z-компоненты



Ионограммы станции «Мир» со следами z-компоненты



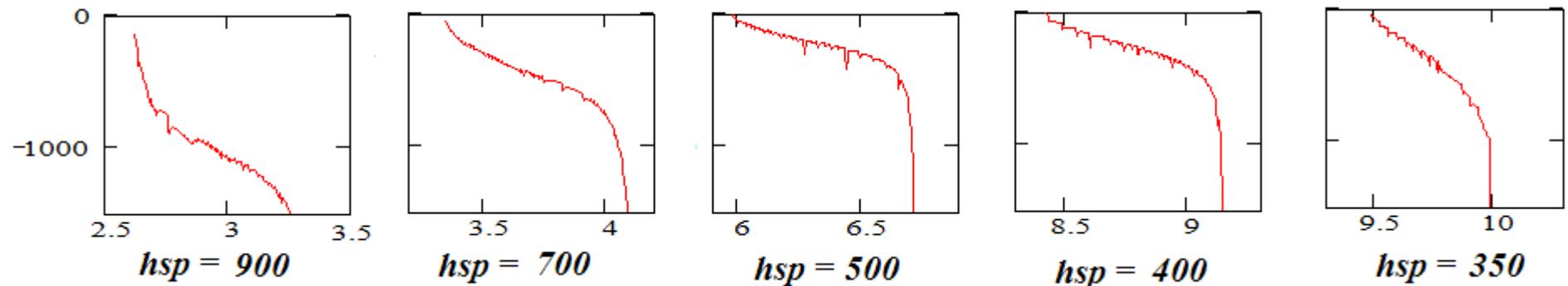
Пример моделирования следа отражения от ионосферы на ионограммах



$f_oF2 = 10.67$ МГц;

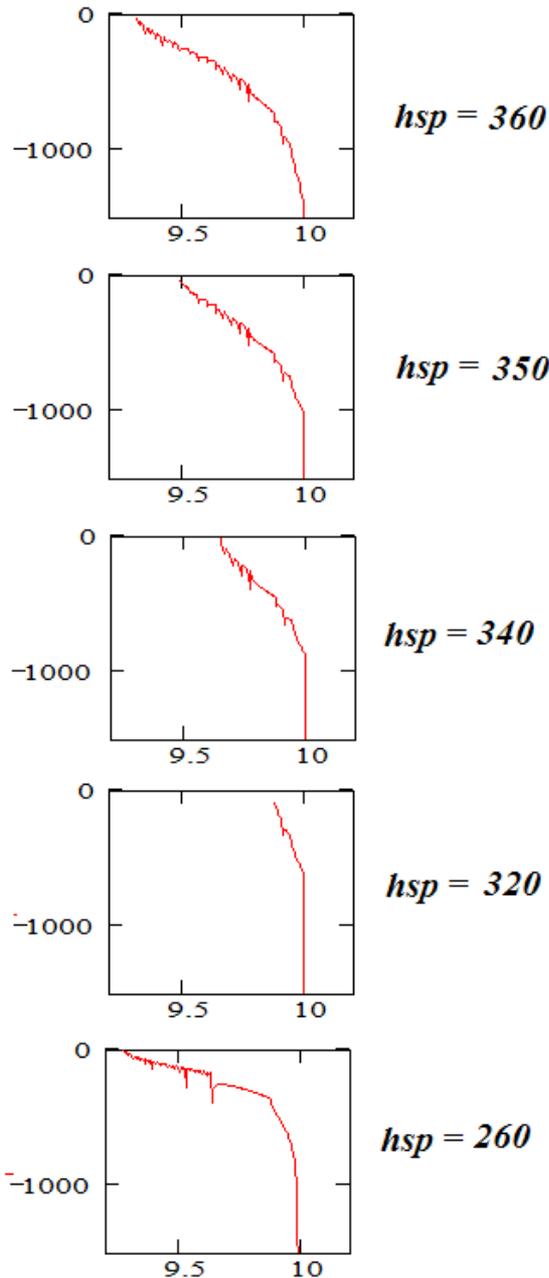
$H_{max} = 300$ км

Смоделированные ионограммы Z – компоненты



Смоделированные ионограммы Z – компоненты из окрестности максимума слоя F2

Отражение от высоты
максимума на частоте 9,99
МГц



В приведенном примере при нахождении
ионозонда в коридоре от 260 до 360 км
(высоте максимума слоя F2
 $H_{\text{max}} = 300\text{ км}$)

z- компонента магниторасщепленного
луча достигает своего критического
значения, то есть отражается от высоты
максимума.

Следовательно, след Z-компоненты
может быть использован для расчета Nh-
профиля, также как и след
необкновенной и обыкновенной
КОМПОНЕНТ

Выводы

- Проверена возможность применения низкоорбитальных спутников для решения задачи глобального и непрерывного мониторинга высотного распределения электронной концентрации ионосферы Земли методом вертикального радиозондирования.
- Показано, что радиозондирование с предельно низких высот позволяет определять основные параметры ионосферы, а также корректировать модель ионосферы при тех же точностях что и зондирование с Земли или со спутников на обычной высоте в 1000 км;
- Было найдено принципиально новое физическое явление, которое состоит в том, что радиозондирование с высот ниже максимума ионосферы в большинстве случаев приводит к образованию ранее неизвестного тракта наклонного распространения радиоволн в широком диапазоне частот с возвращением на ИСЗ; это явление находит свое отражение на спутниковых ионограммах в виде ранее неизвестного следа характерной формы, получившего название задержанный нижний след.
- Причиной появления ЗНС является наличие горизонтальных градиентов электронной плотности вблизи максимума ионосферы различного характера.