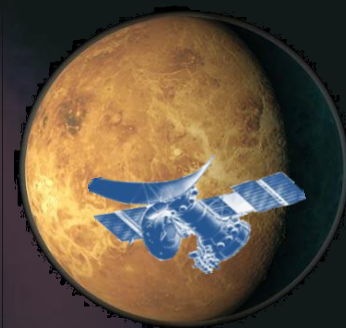
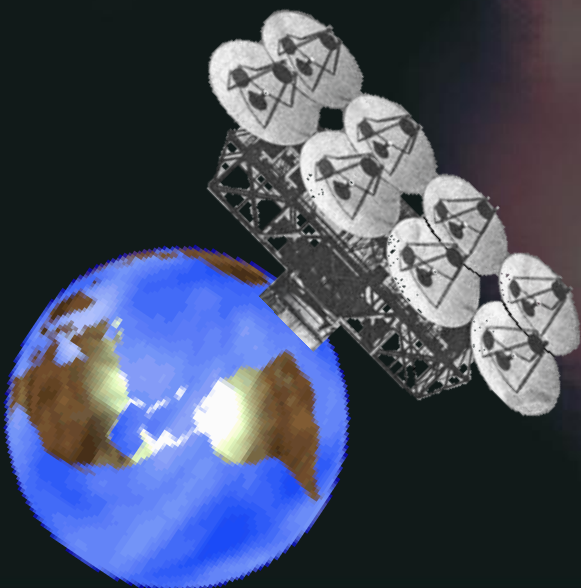


Влияние флуктуаций параметров радиоволны на результаты анализа данных радиопросвечивания ионосферы Венеры



Гаврик А. Л. alg248@hotmail.com

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

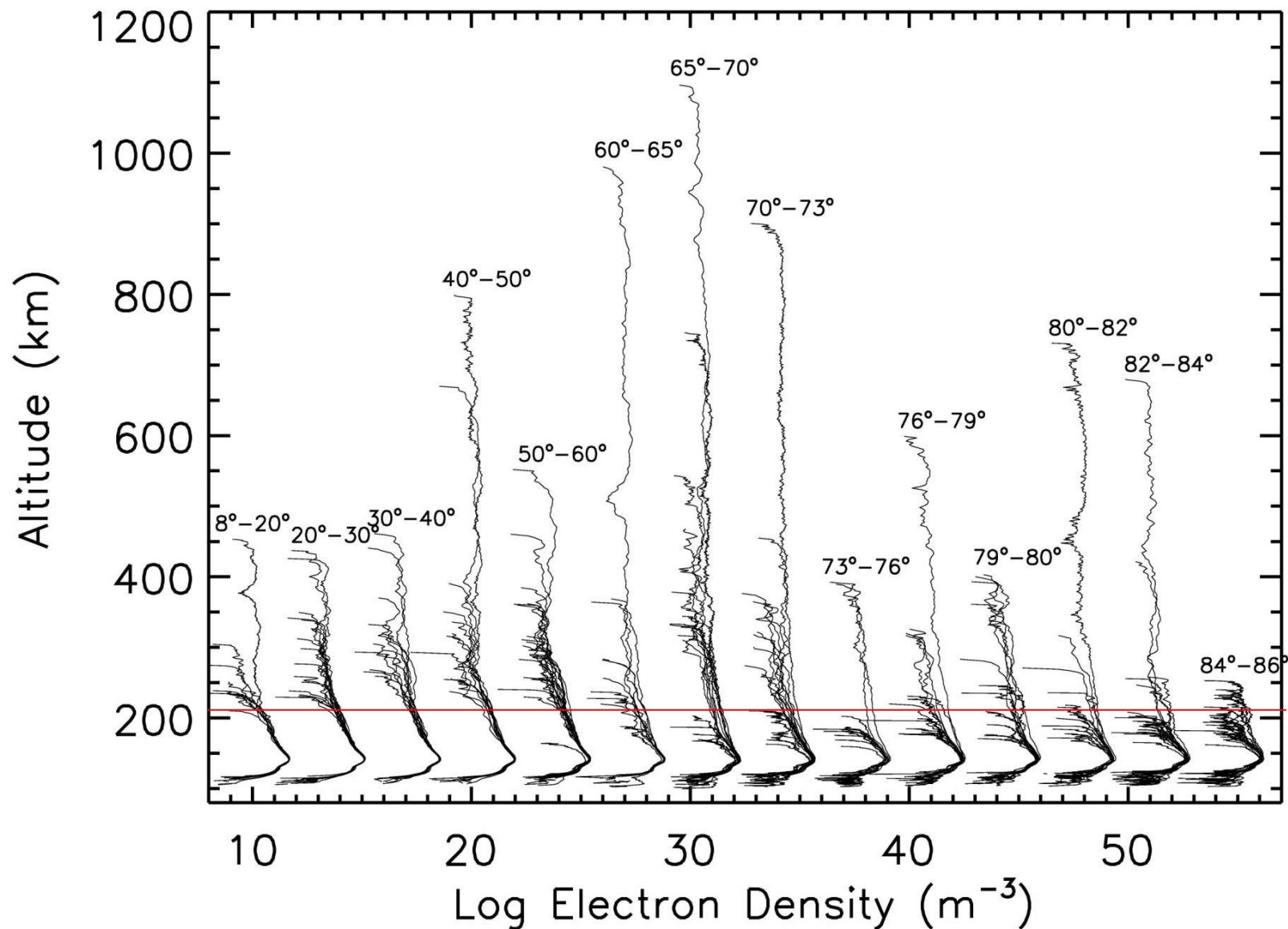


Двадцать третья международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

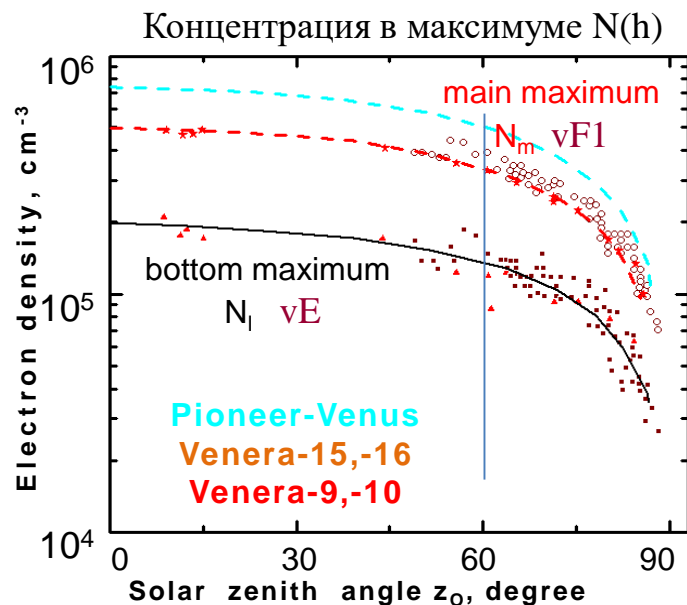
ИКИ РАН Москва

11 ноября 2025 г.

Профили электронной концентрации по данным Venus-Express



Сравнение результатов радиопросвечивания ионосферы Венеры



Анализ данных Akatsuki и VEX показал, что появление слоя V_0 в ионосфере Венеры носит спорадический характер.

Только **~30%** профилей VEX (34 из 110) и **26%** Akatsuki (13 из 50 профилей) имели признаки его присутствия.

Tripathi K. R. et al. (2023).

Geophysical Research Letters, 50, e2022GL101793.

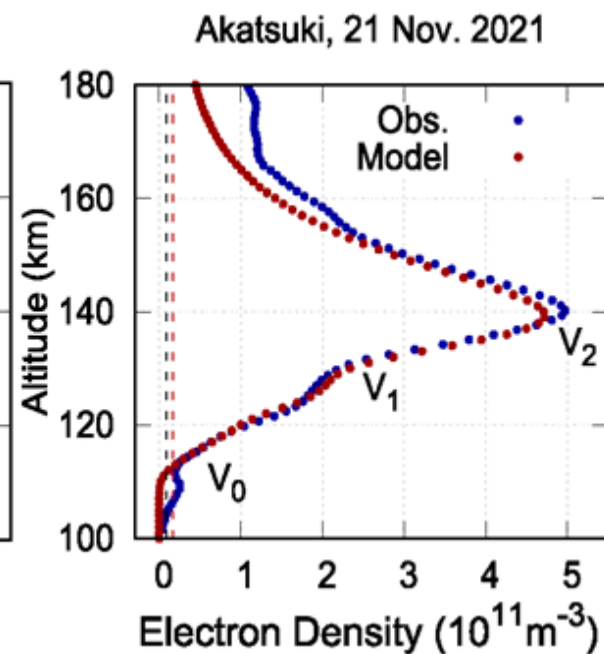
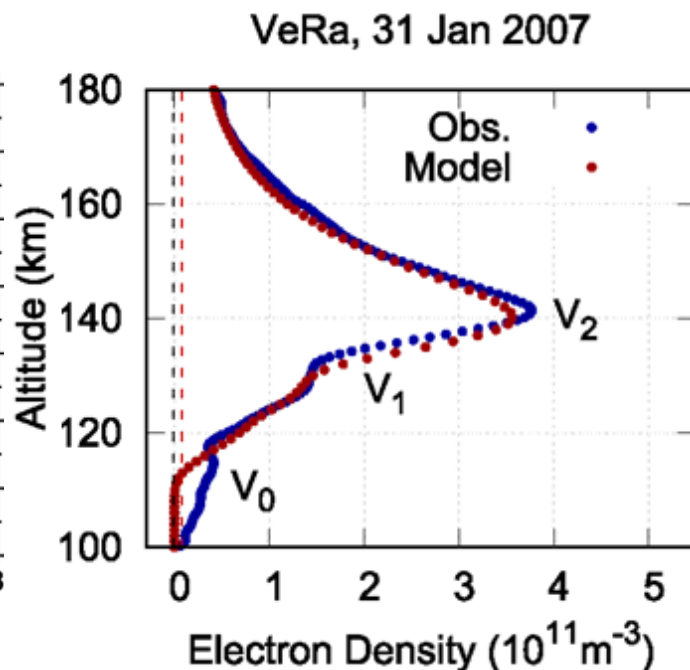
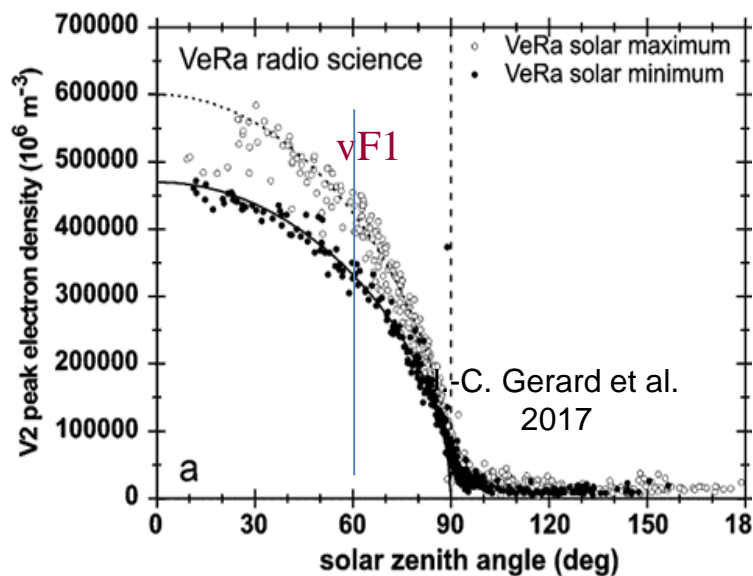
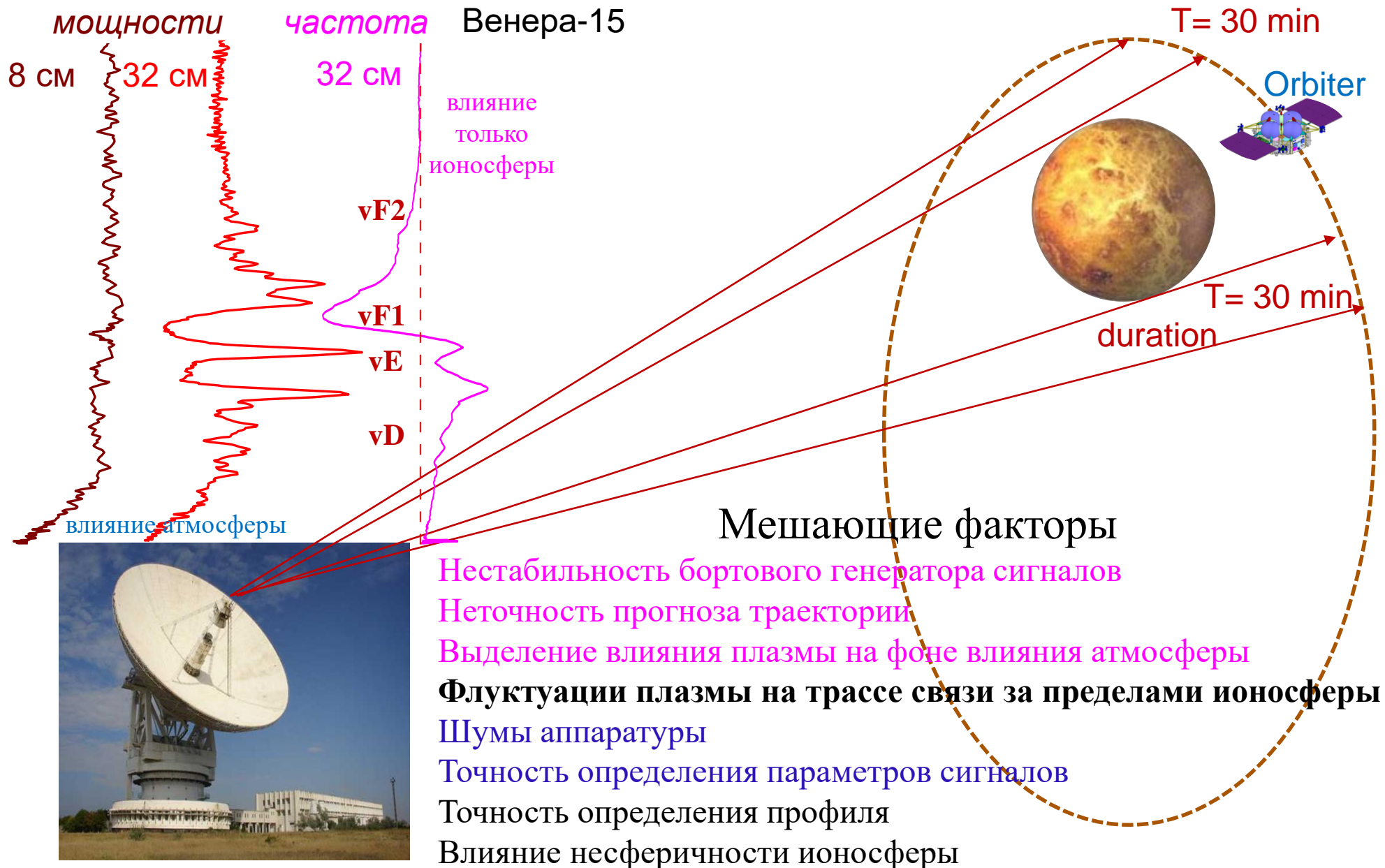
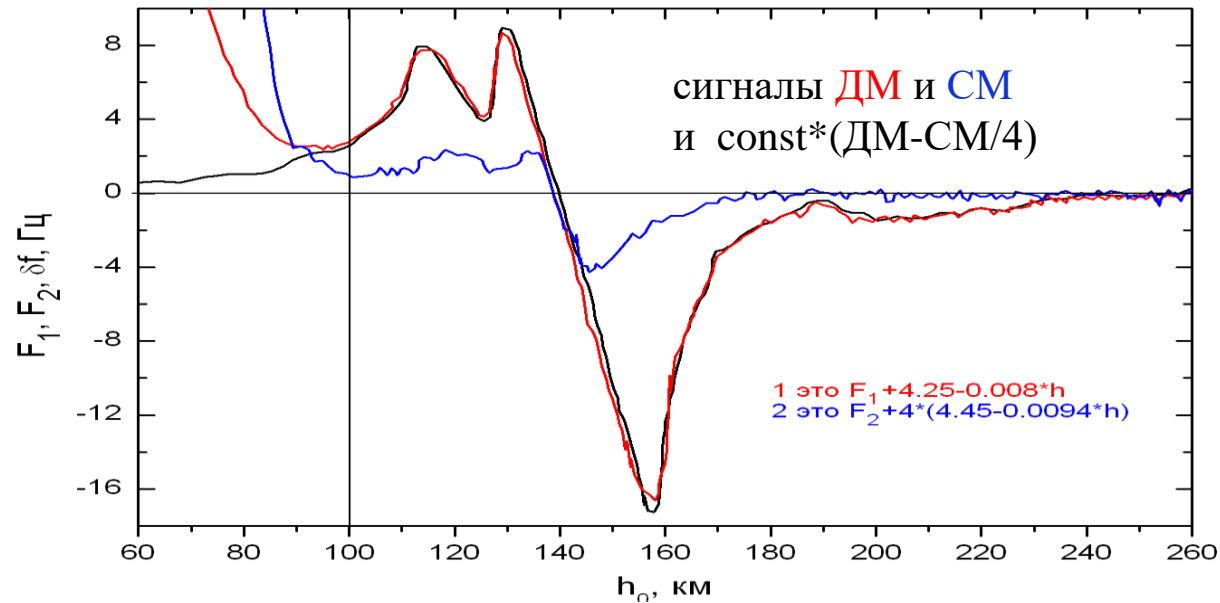


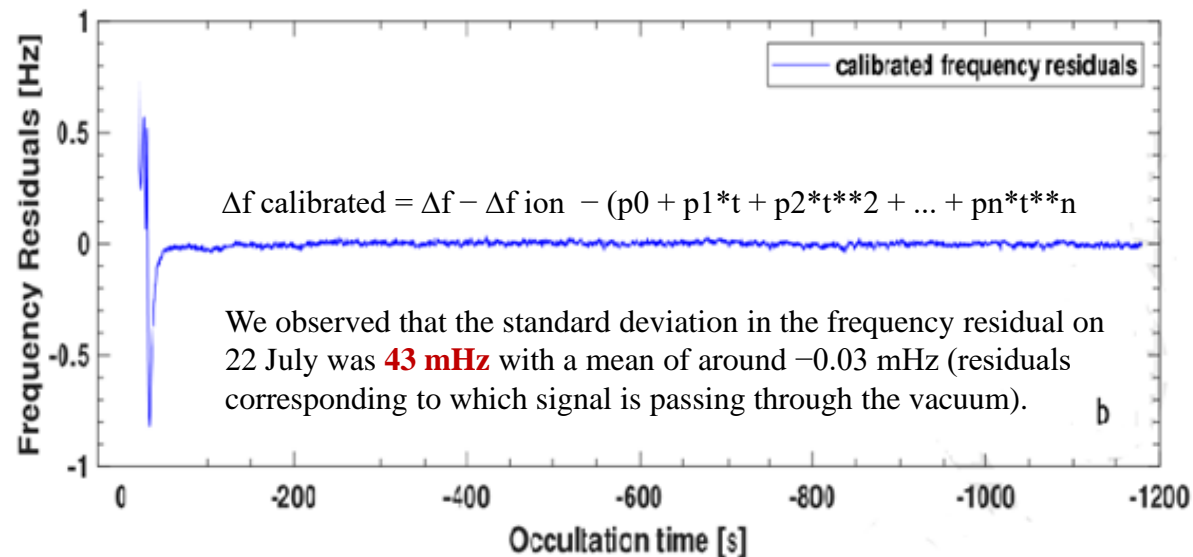
Схема радиопросвечивания ионосферы и атмосферы



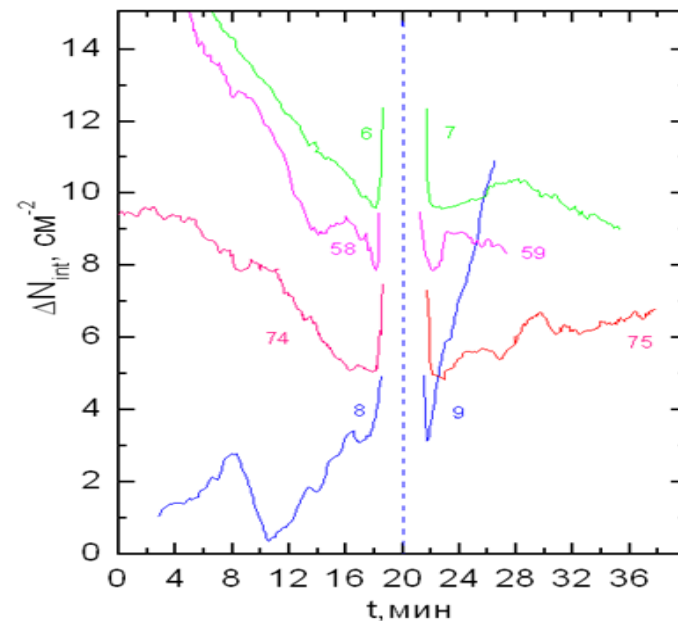
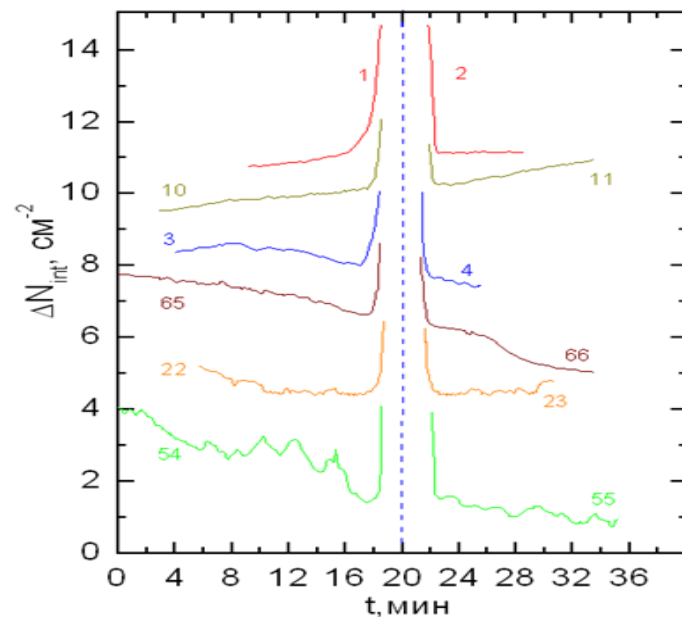
Вариации частот радиоволн 1 ГГц и 4 ГГц КА Венера-9 в дневной ионосфере Венеры



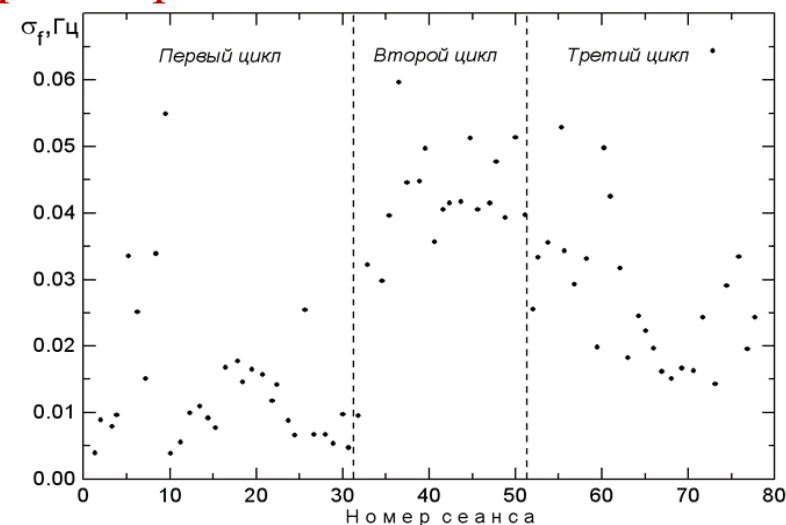
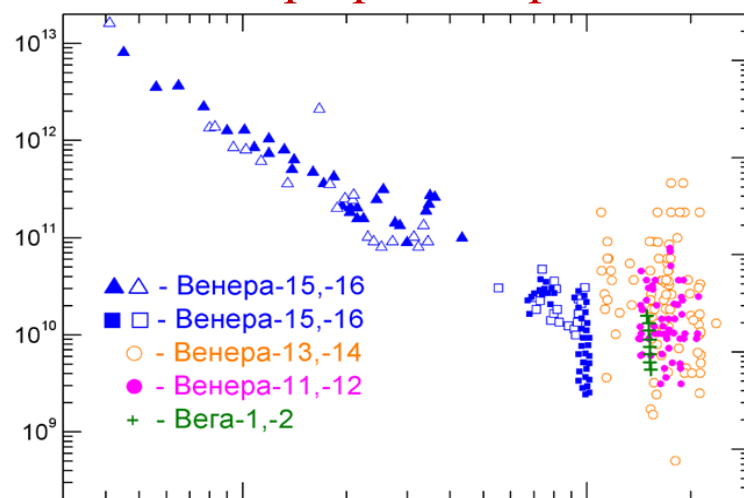
Вариации частоты радиоволны 8 ГГц КА Venus-Express



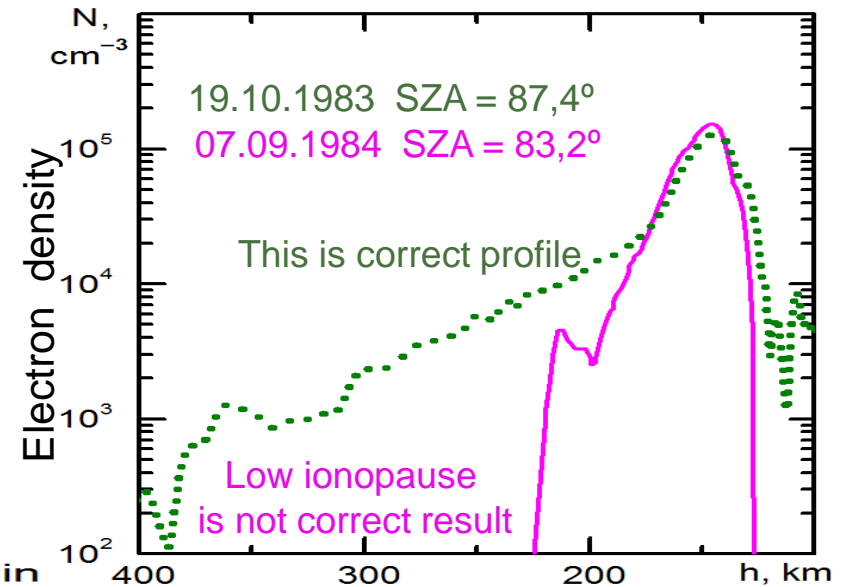
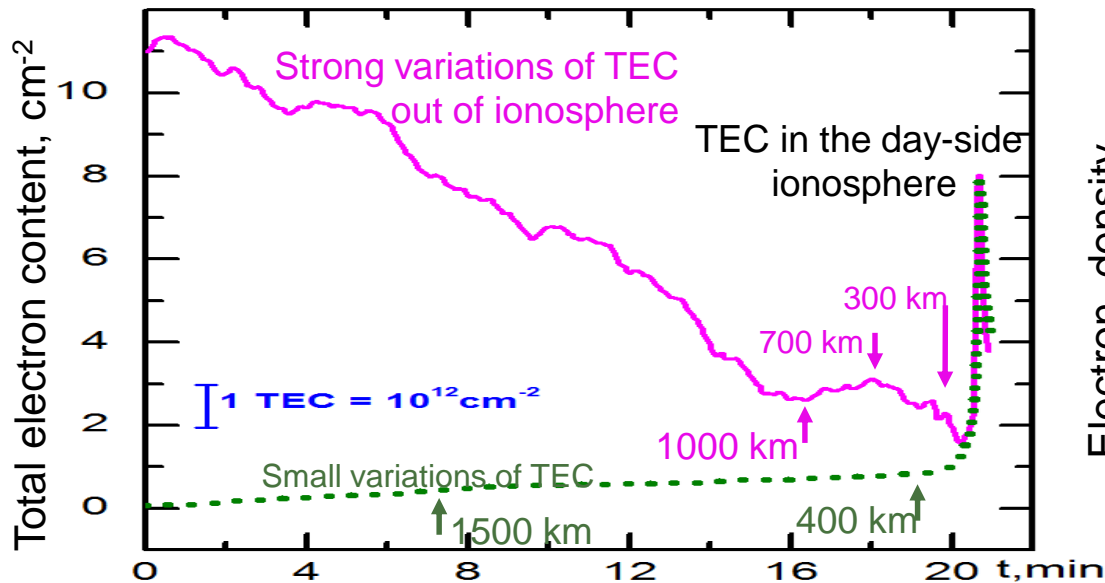
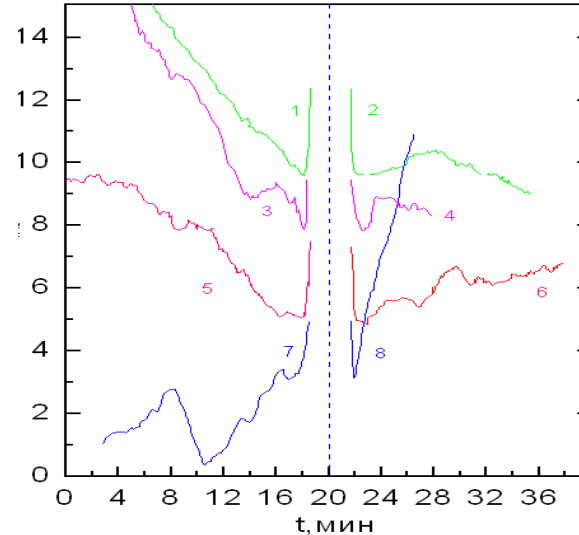
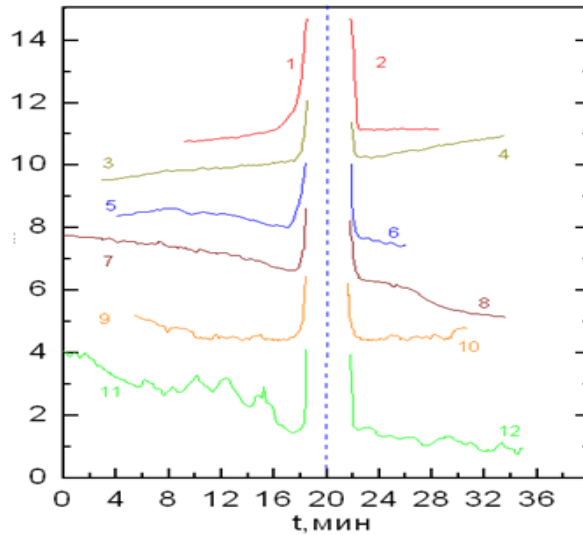
Вариации интегральной электронной концентрации на трассе радиосвязи



Среднеквадратичные флуктуации $f(t)$ частоты ДМ
при разных расстояниях радиотрассы от Солнца.



Влияние вариаций на результаты радиопросвечивания



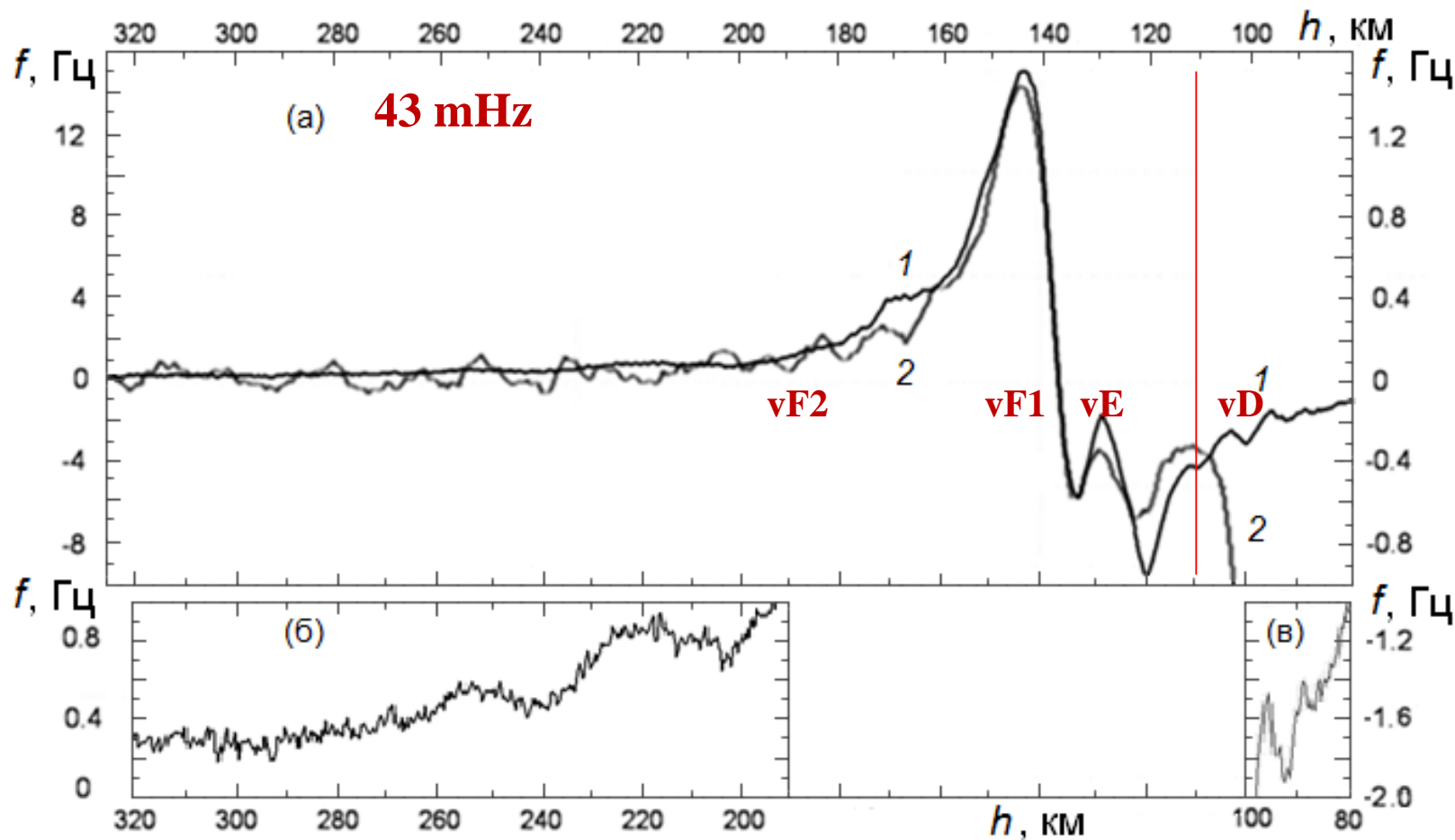
Изменения частот радиоволн КА Венера-15 и Akatsuki;

а – изменения частот при просвечивании ионосферы Венеры

кривая 1 (правая шкала) радиоволна 3.6 см Akatsuki

кривая 2 (левая шкала) радиоволна 32 см Венера-15

б – и **в** – участки $f(h)$ 32 см в масштабе волны 32 см.



Как и в наблюдениях MaRS, в профилях ионосферы, полученных только по данным X-диапазона, по-видимому, наблюдаются особенности, связанные с вибрацией КА; эти особенности отсутствуют в профилях, полученных по дифференциальным доплеровским данным. **В последних данных отсутствуют метеорные слои.**

Свойство сферической слоистой среды при зондировании

При радиопросвечивании прозрачной газовой оболочки планеты, стратифицированной полем тяжести, изменение плотности потока энергии прямо пропорционально градиенту угла отклонения волнового вектора ξ от первоначального направления, если применима геометрическая оптика.

$$\frac{P(t) - P_0}{P_0} = L \frac{d}{dt} \xi(t)$$

Поэтому зарегистрированные в эксперименте вариации мощности радиоволны $P(t)$ прямо пропорциональны скорости изменения ее частоты $f(t)$.

$$\frac{P(t) - P_0}{P_0} = \frac{\lambda \cdot L}{V_{\perp}^2} \cdot \frac{d}{dt} f(t)$$

Следовательно, при отсутствии мешающих факторов существует инвариант радиозатмения.

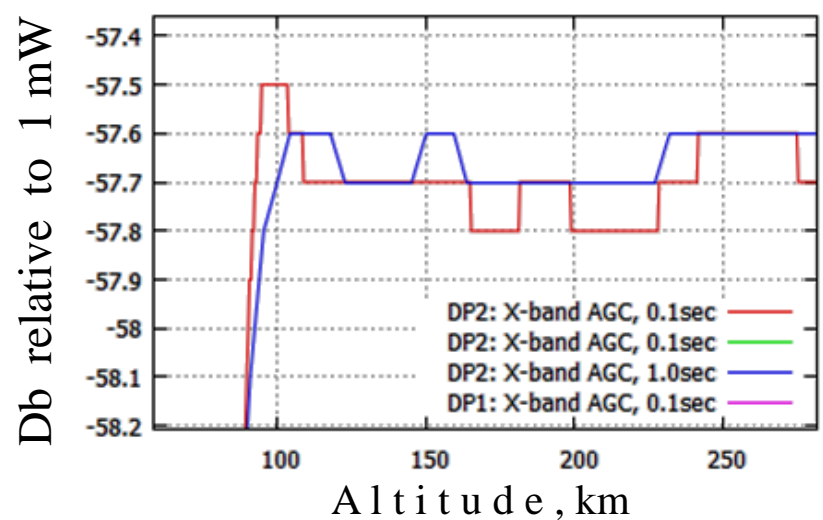
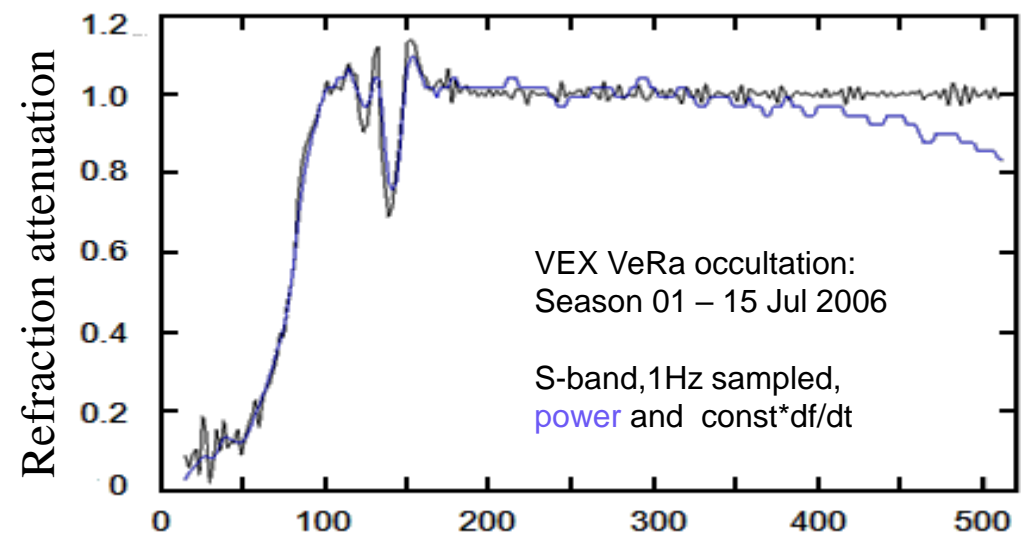
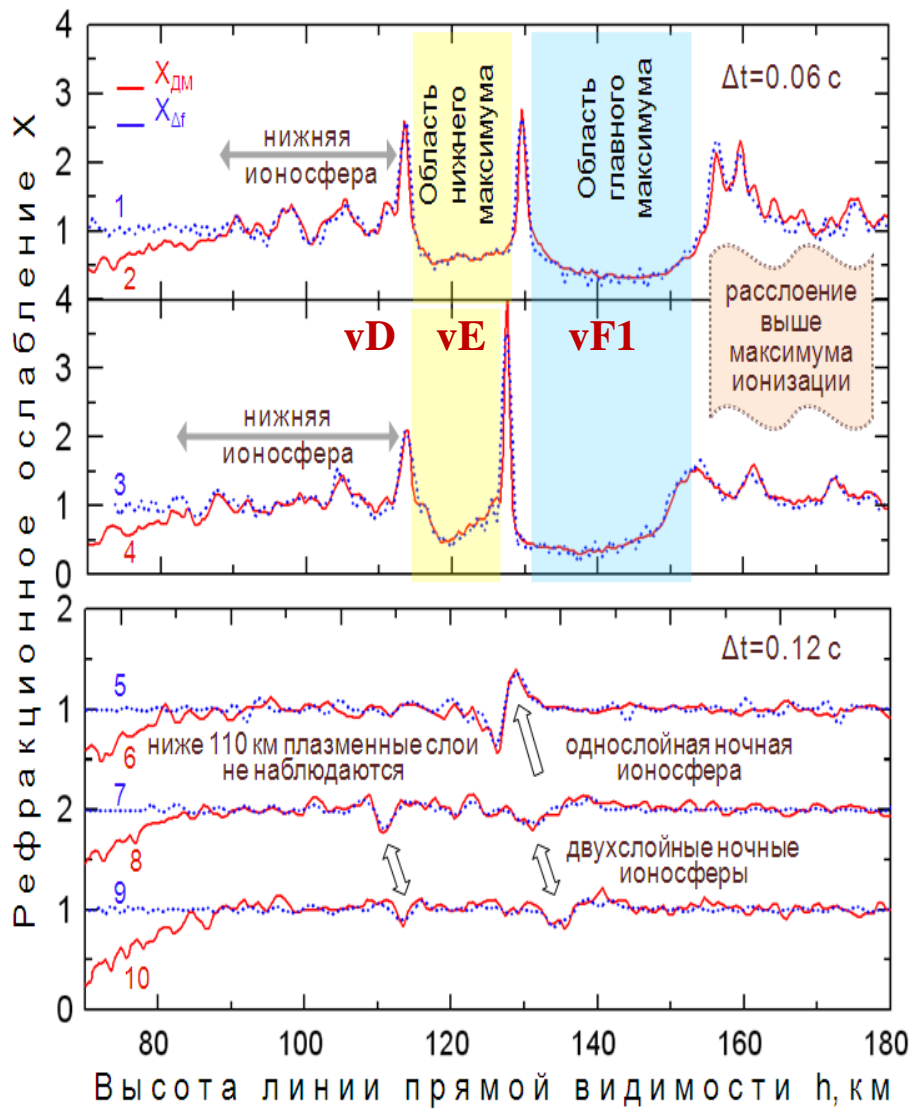
$$\Delta E / \Delta \omega = \text{const}$$

Обозначения:

ΔE – изменение энергии, $\Delta \omega$ – изменение частоты на произвольном, достаточно малом интервале времени τ в процессе радиопросвечивания ионосферы и атмосферы планеты.

$P(t)$ – мощность, $f(t)$ – частота радиоволны λ ,
 L – прицельный параметр луча, V – скорость захода спутника.

Экспериментальное доказательство адиабатической инвариантности



from ESA database:
<ftp://psa.esac.esa.int/pub/mirror/VENUS-EXPRESS/VRA/>

Выводы

Усовершенствование методов обработки радиозатменных данных повысило качество информации о структуре неоднородностей в ионосфере и открыло возможность получения достоверных сведений о колебаниях концентрации электронов в ионосфере. Для корректного применения методики детектирования плазменных слоев необходимы высокие точности измерений мощности, частоты и скорости изменения частоты радиоволн, а также малое влияние мешающих факторов: флуктуаций генератора радиоволн, шумов радиоаппаратуры, вариаций параметров среды на трассе распространения радиоволн за пределами ионосферы. В экспериментах с КА Венера-15,-16 точность определения характеристик радиоволн ДМ и СМ диапазонов была обеспечена высоким потенциалом радиолинии (диаметр антенны КА 260 см, мощность ДМ передатчика 100 Вт) и разработанной методикой определения вариаций мощности, фаз и частот ДМ и СМ сигналов.

На основе анализа результатов радиопросвечивания КА Венера-9,-10-15,-16, Venus-Express и Akatsuki выявлены существенные различия полученных сведений о распределении электронной концентрации в дневной ионосфере Венеры. Показано, что использование радиоволны 3.6 см при радиопросвечивании нижних слоев ионосферы не позволило достоверно определить их структуру.

Работа выполнена в рамках государственного задания

Спасибо за внимание