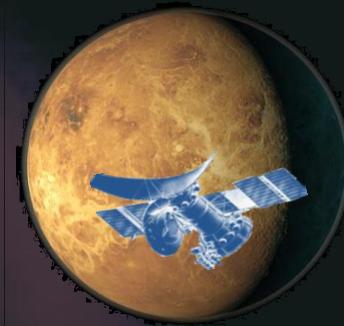
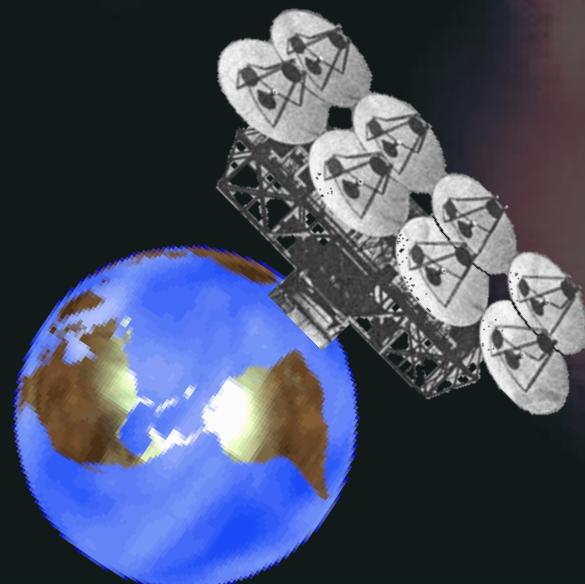


Влияние флуктуаций параметров радиоволны на результаты анализа данных радиопросвещивания ионосферы Венеры



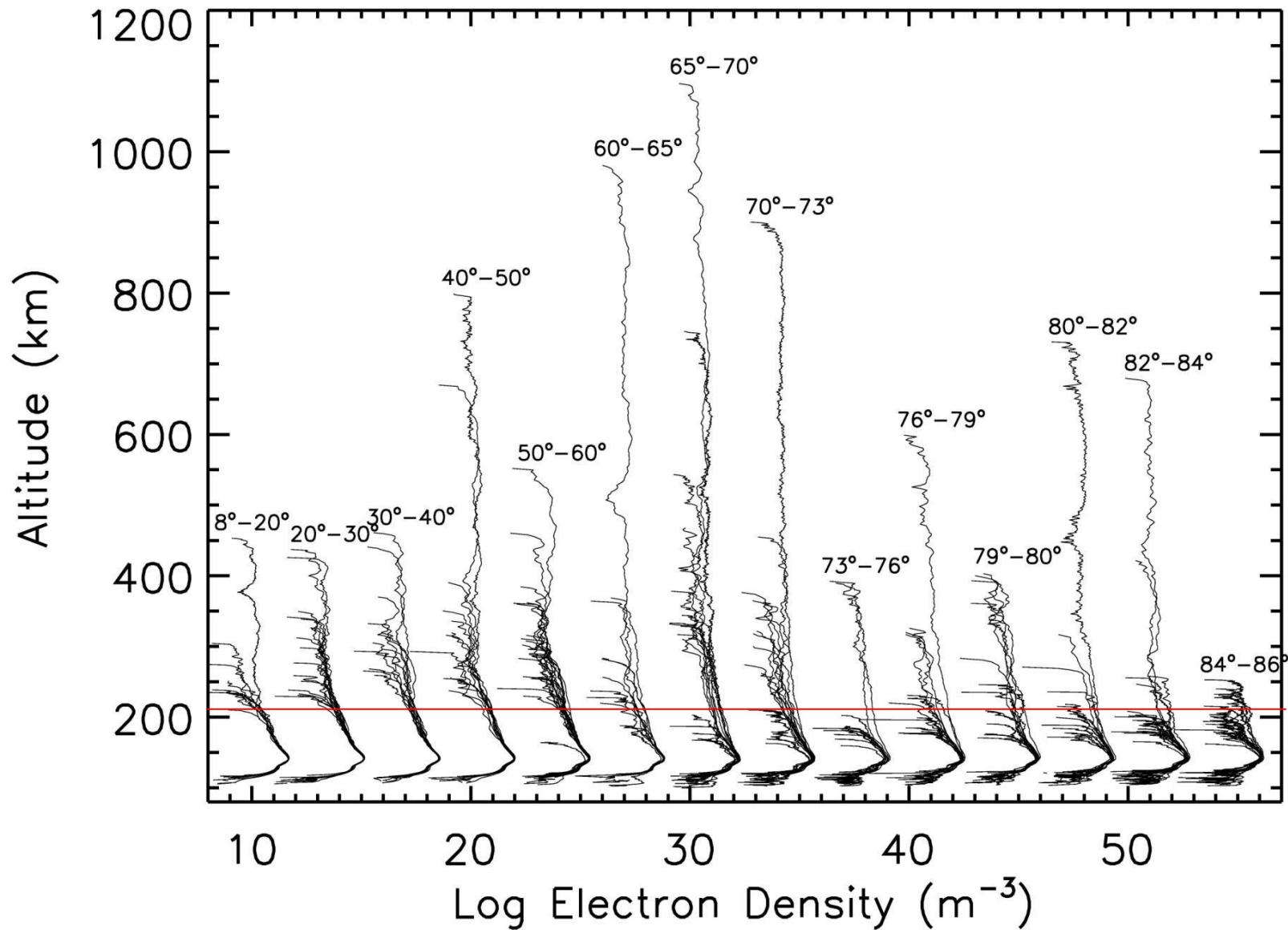
Гаврик А. Л. alg248@hotmail.com

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

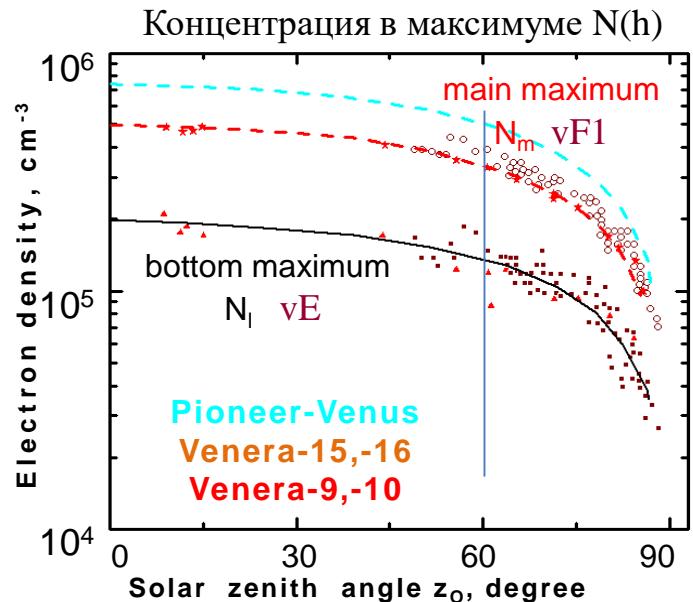


Двадцать третья международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"
ИКИ РАН Москва
11 ноября 2025 г.

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.

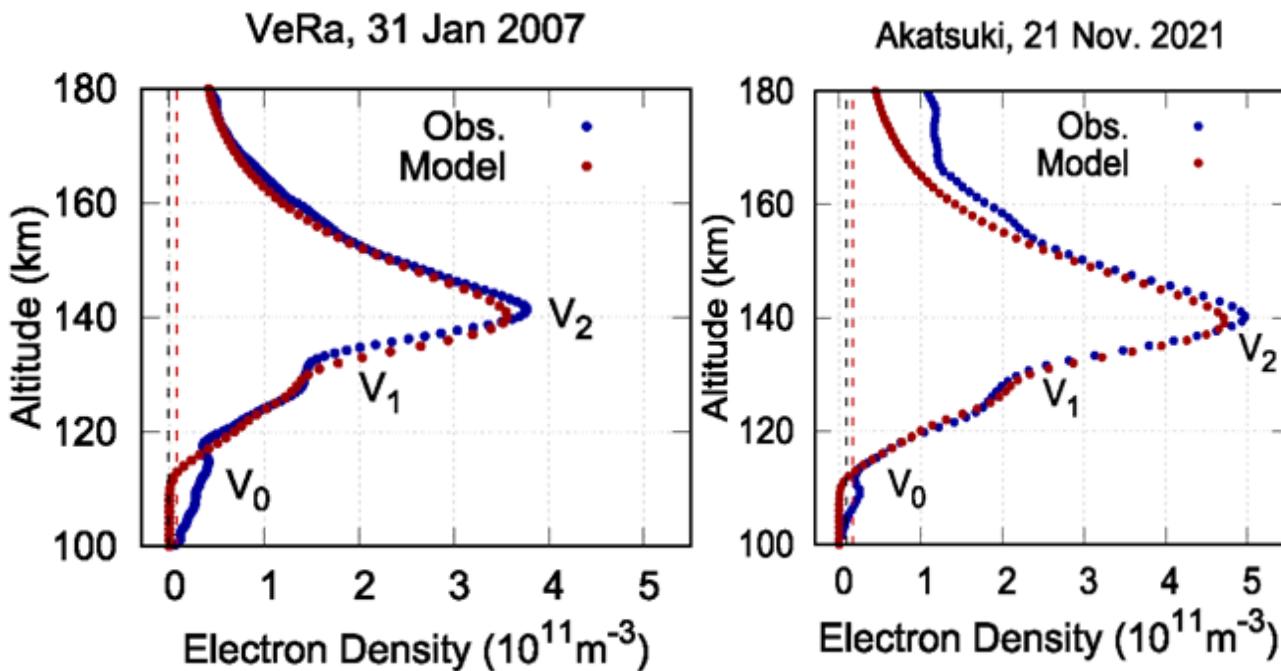
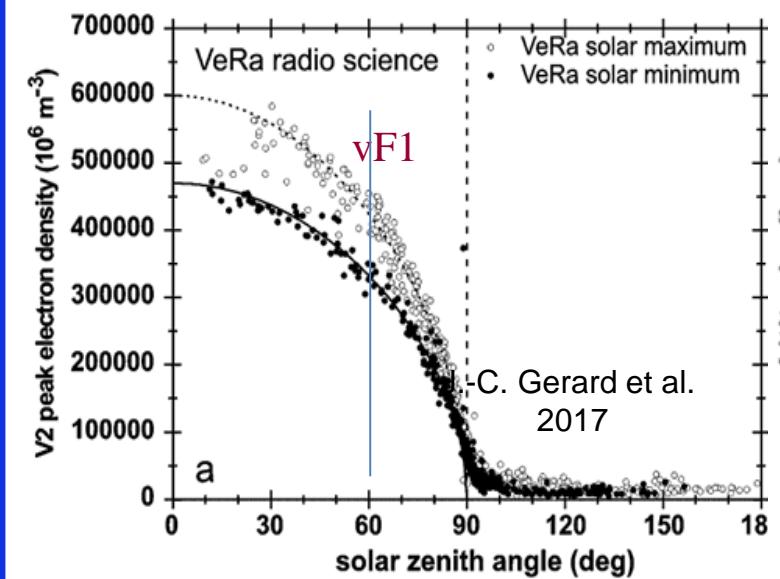
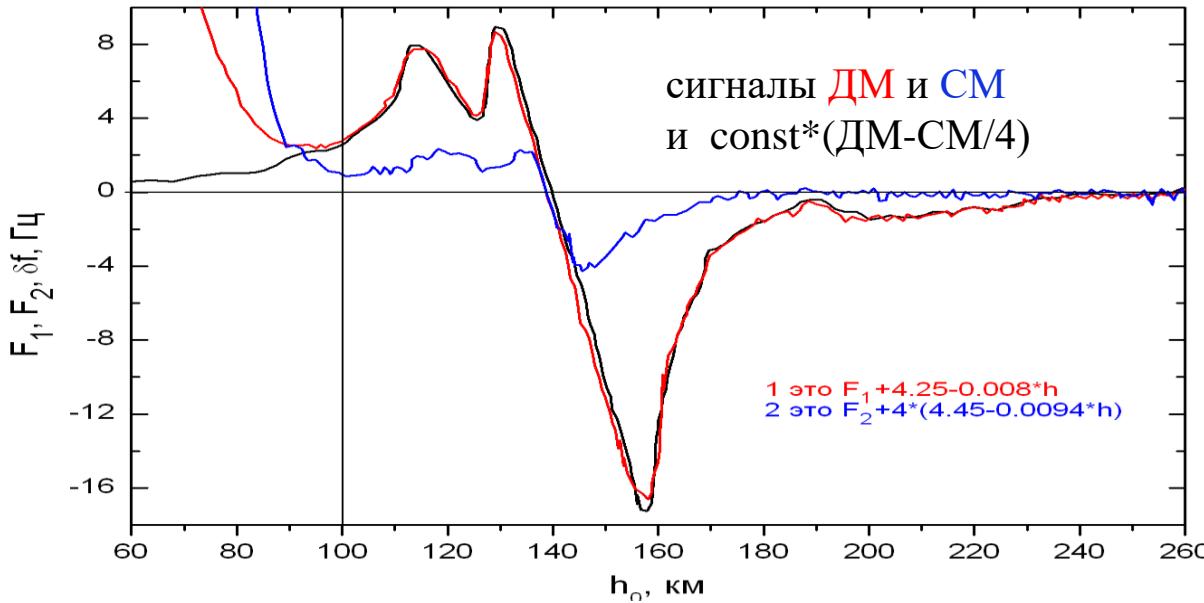


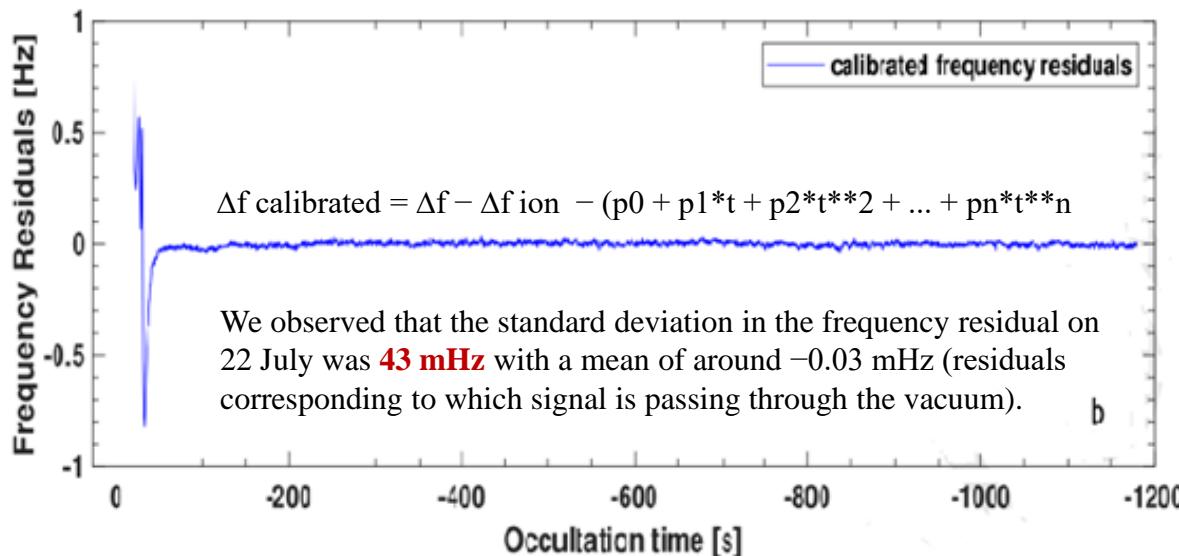
Схема радиопросвещивания ионосферы и атмосферы



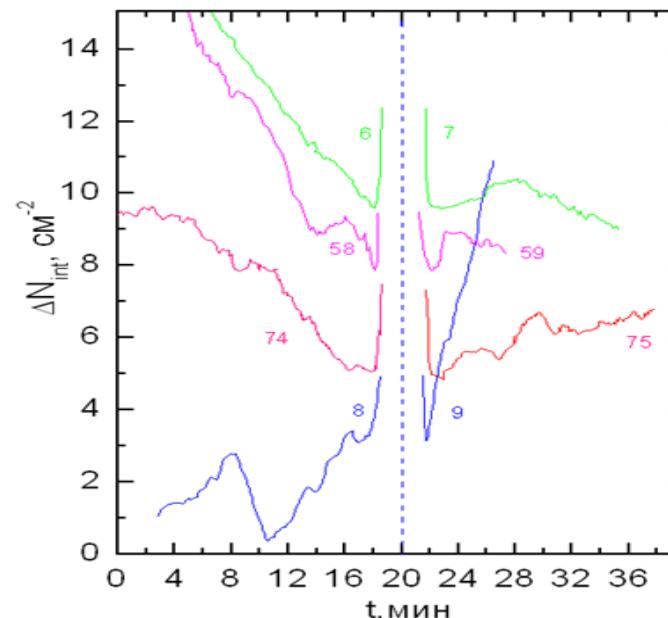
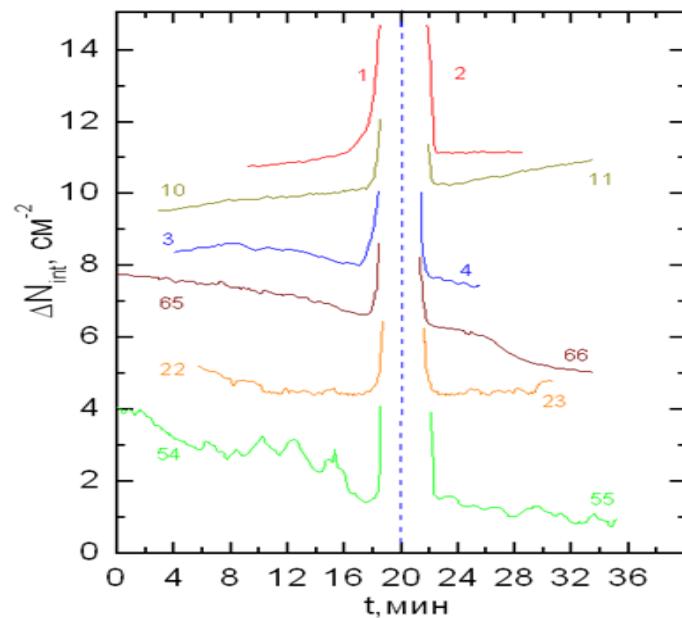
Вариации частот радиоволн 1 ГГц и 4 ГГц КА Венера-9 в дневной ионосфере Венеры



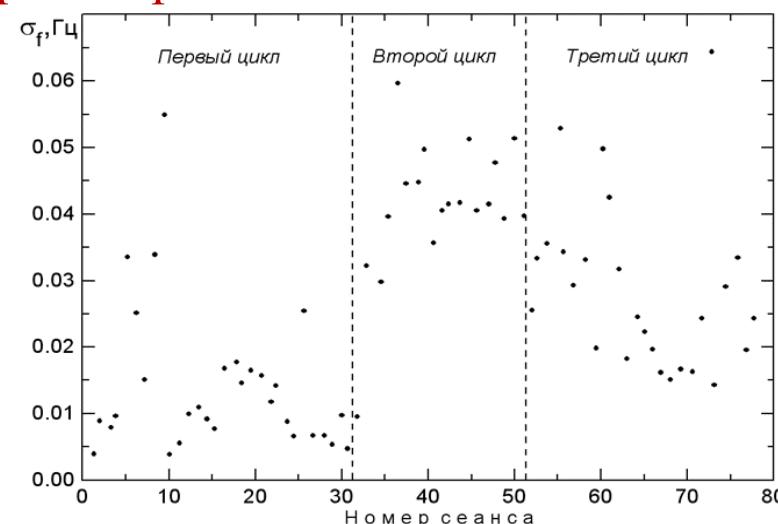
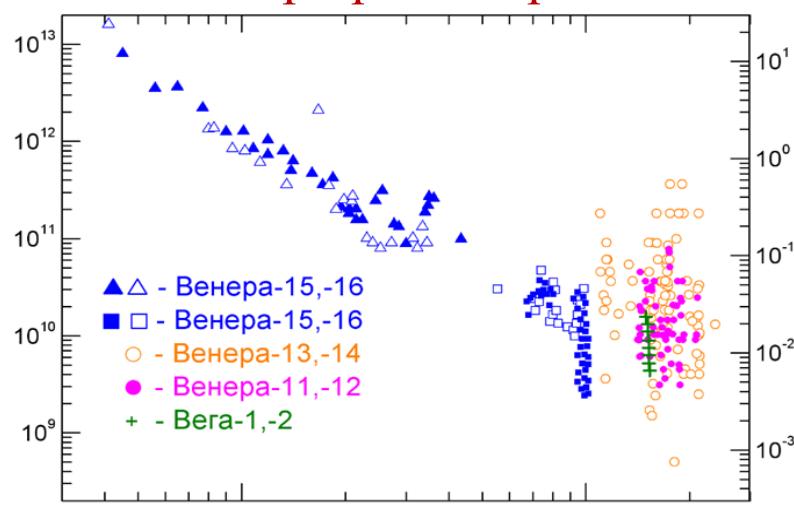
Вариации частоты радиоволны 8 ГГц КА Venus-Express



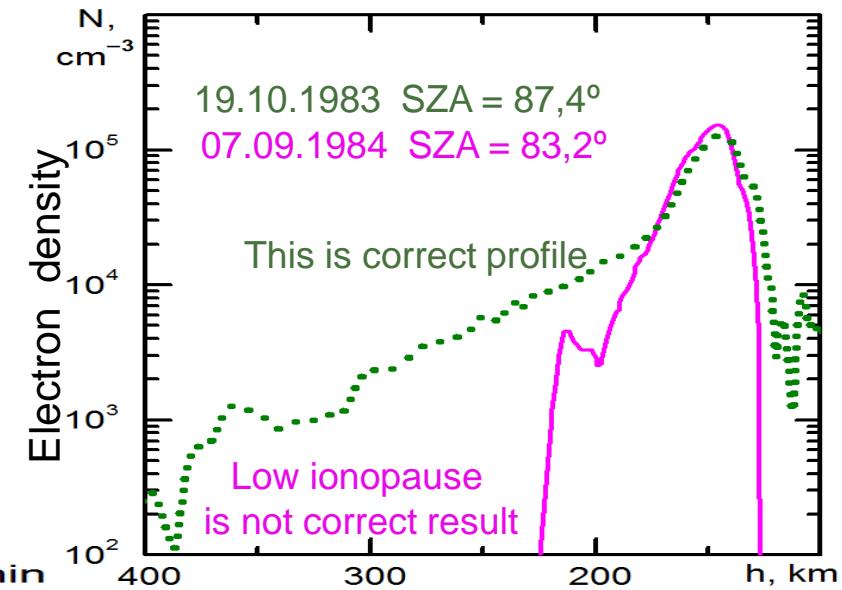
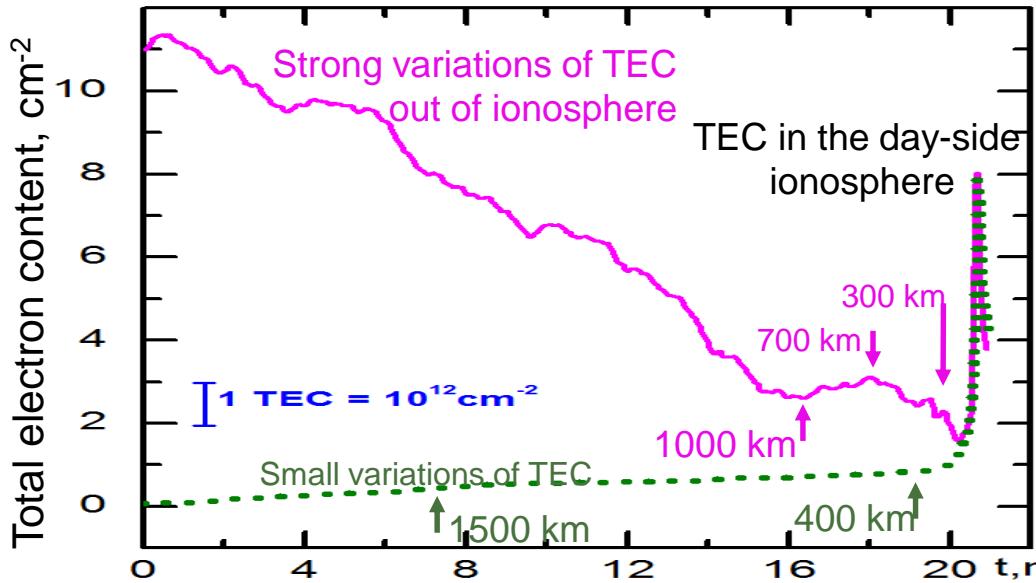
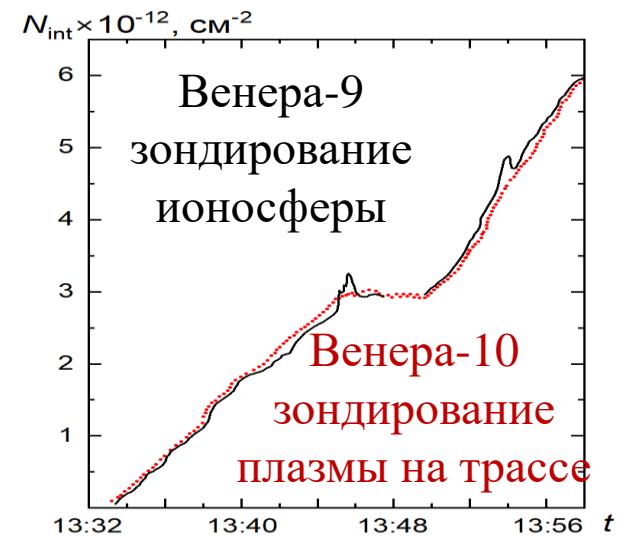
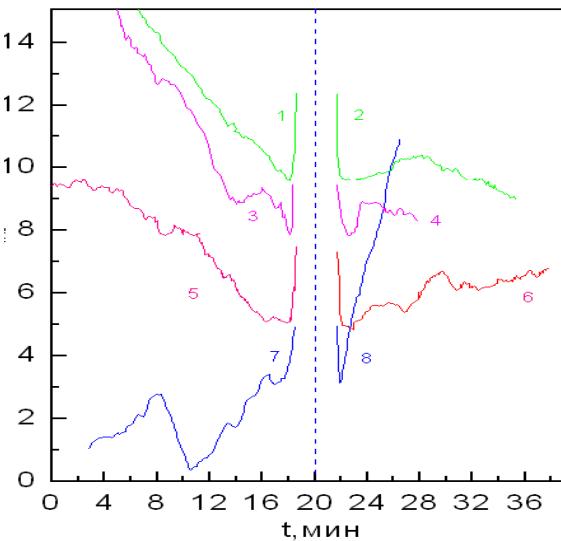
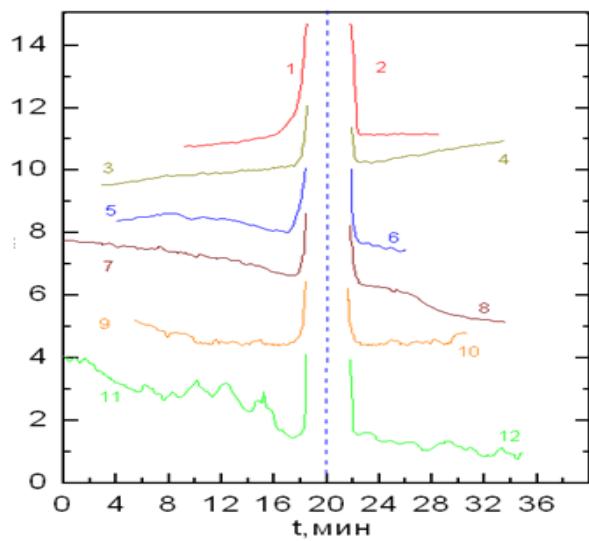
Вариации интегральной электронной концентрации на трассе радиосвязи



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



Влияние вариаций на результаты радиопросвечивания



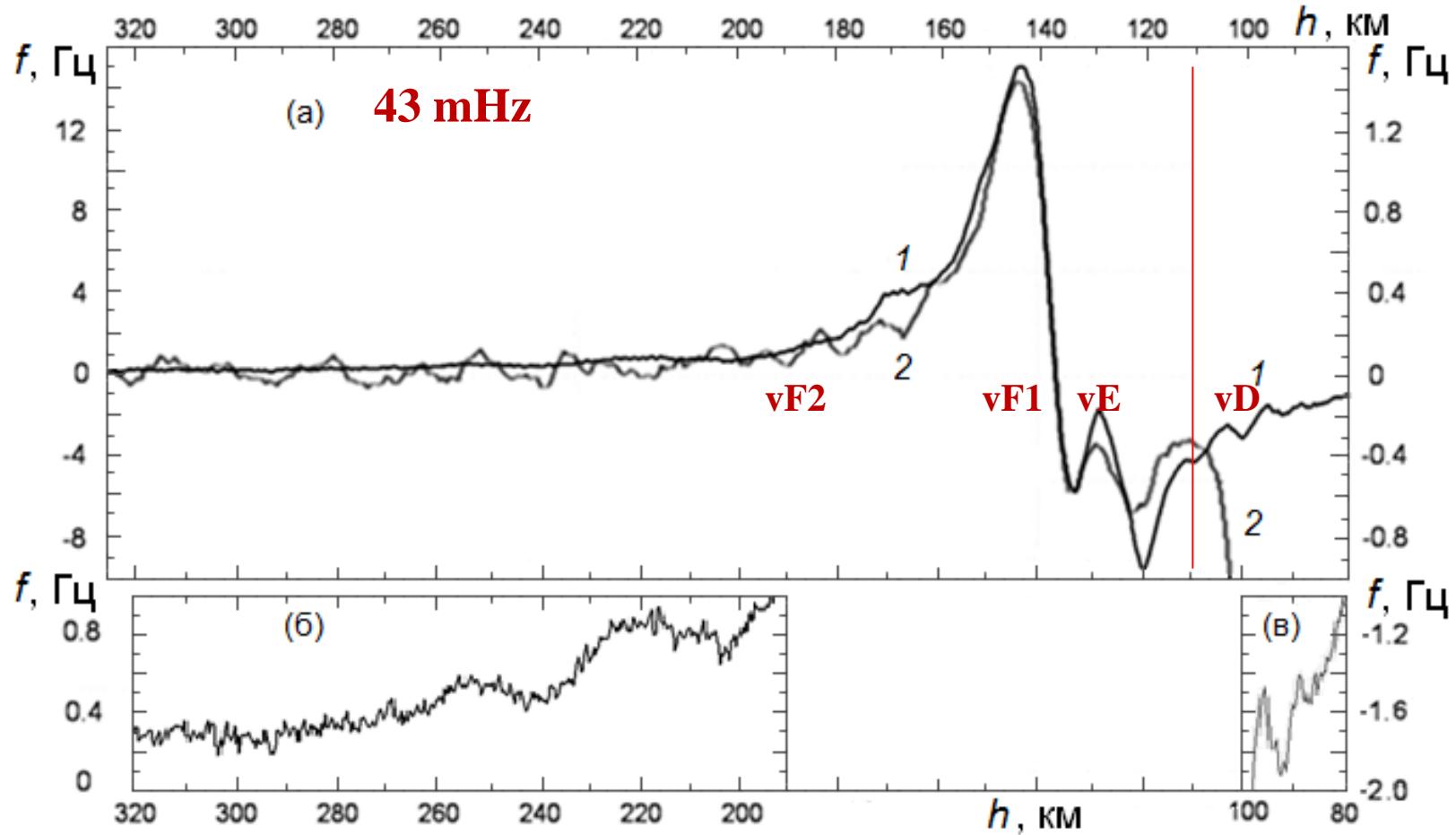
Изменения частот радиоволн КА Венера-15 и Akatsuki;

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.

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

Следовательно, при отсутствии мешающих факторов существует инвариант радиозатмения.

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

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

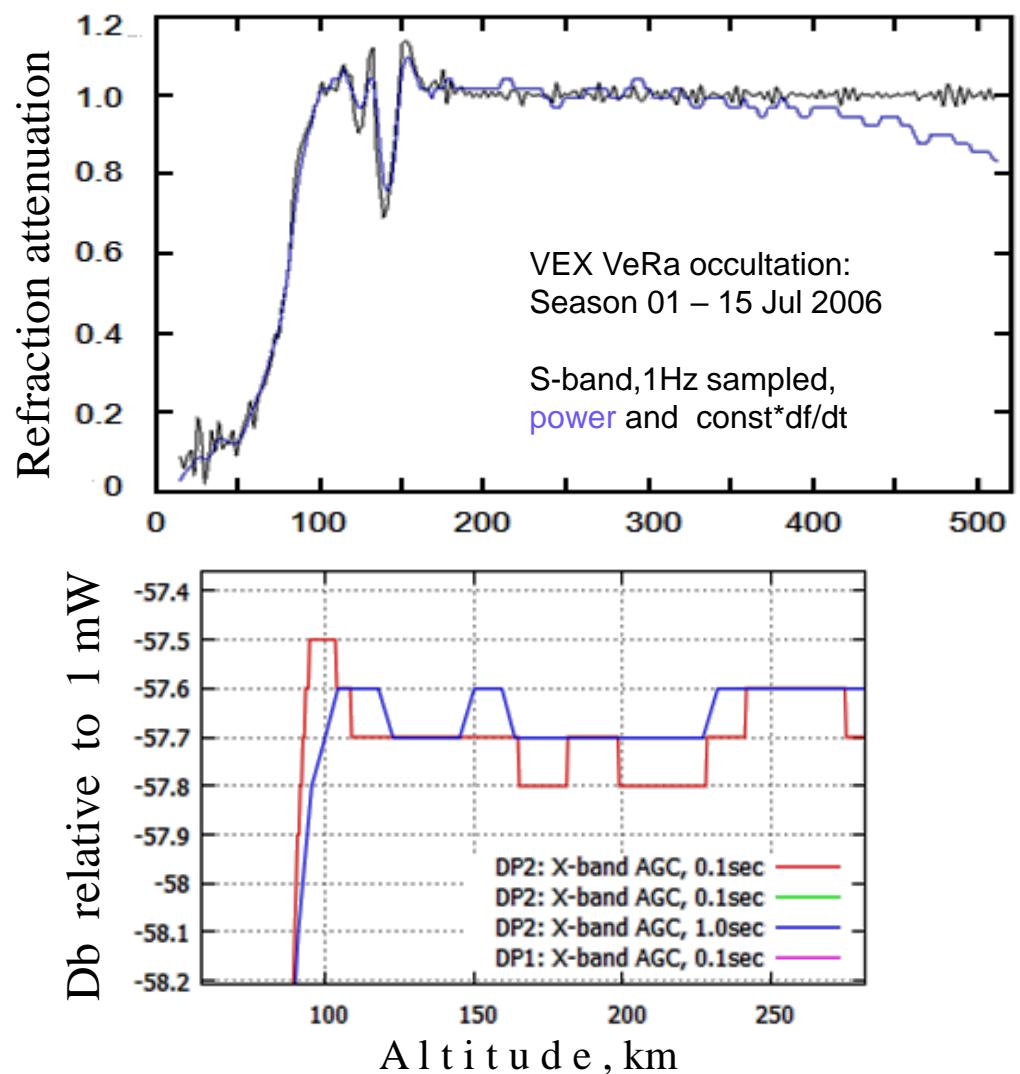
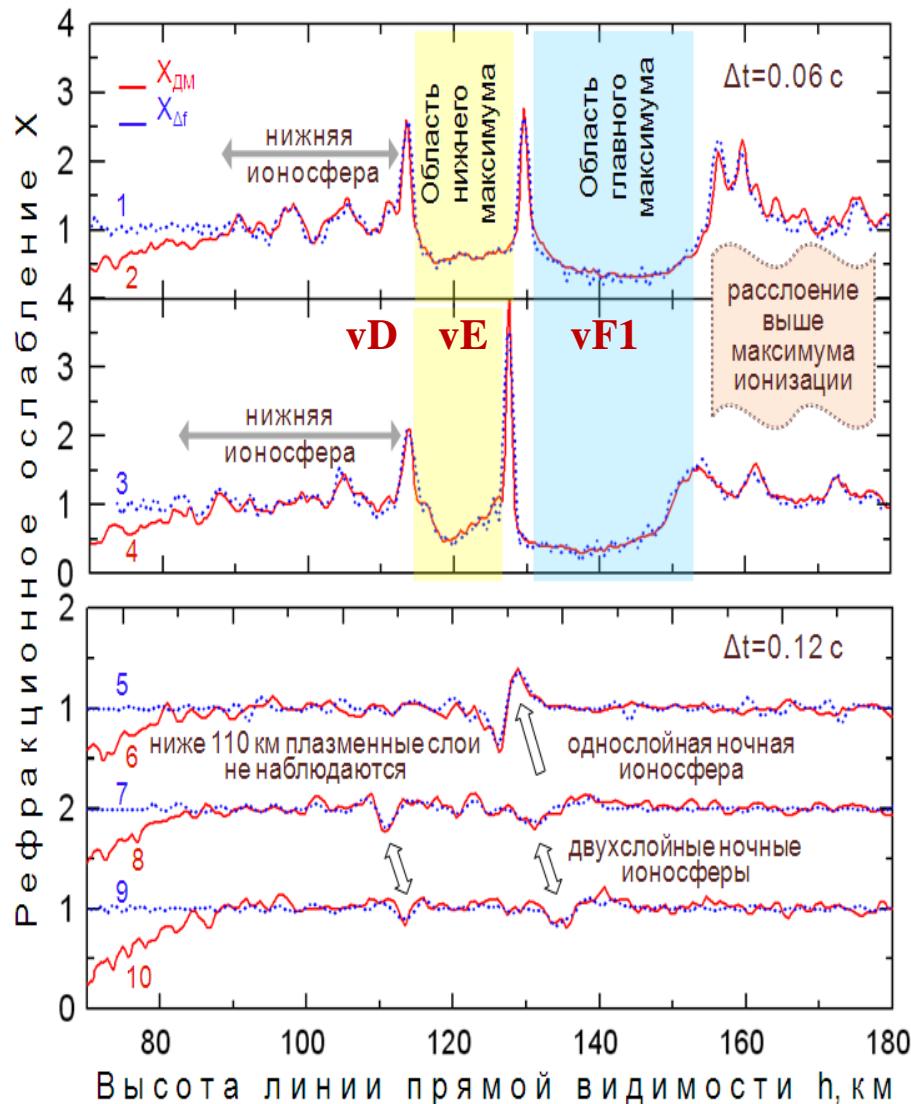
$$\Delta E / \Delta \omega = \text{const}$$

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: флюктуаций 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