

# Крупномасштабные возмущения в нижней ионосфере Венеры



Гаврик А. Л., [alg248@hotmail.com](mailto:alg248@hotmail.com)  
ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Восемнадцатая всероссийская открытая конференция  
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"  
ИКИ РАН. Москва. 16...20 ноября 2020 г.

При исследованиях ионосферы планеты методом радиопросвечивания анализируют возмущения когерентных радиосигналов, распространяющихся между орбитальным КА и Землей. Радиопросвечивание осуществляют в тех случаях, когда излучающий радиоволны КА заходит за диск планеты или выходит из-за него, а наземный комплекс ведёт регистрацию измененных газовой оболочкой планеты сигналов. Теоретической основой метода радиопросвечивания является связь обусловленных средой изменений частоты и мощности радиоволн с углом рефракции, который, в свою очередь, связан с высотным профилем показателя преломления среды на пути распространения радиоволн. Схема радиопросвечивания представлена на следующем слайде.

# Схема эксперимента двухчастотного радиопросвечивания на трассе "спутник Венеры → наземная антенна"

Высотный профиль  
электронной концентрации  
в ионосфере Венеры

Изменение мощности  
радиосигналов  
в ионосфере и атмосфере

Изменение  
частоты  
сигнала  
в ионосфере

Длительность сеанса  
радиопросвечивания

1 ... 20 минут

$N(h), \text{см}^{-3}$

$X_{\text{CM}}$

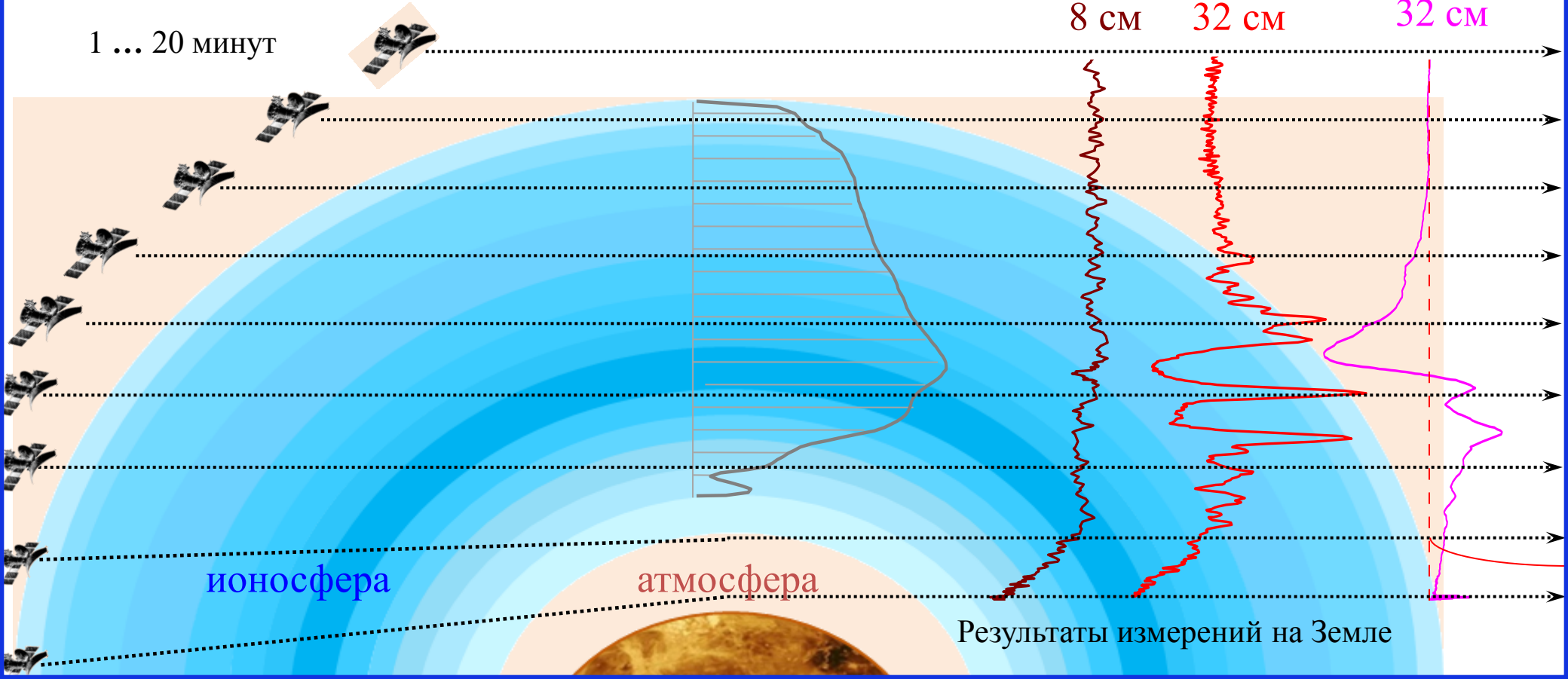
8 см

$X_{\text{DM}}$

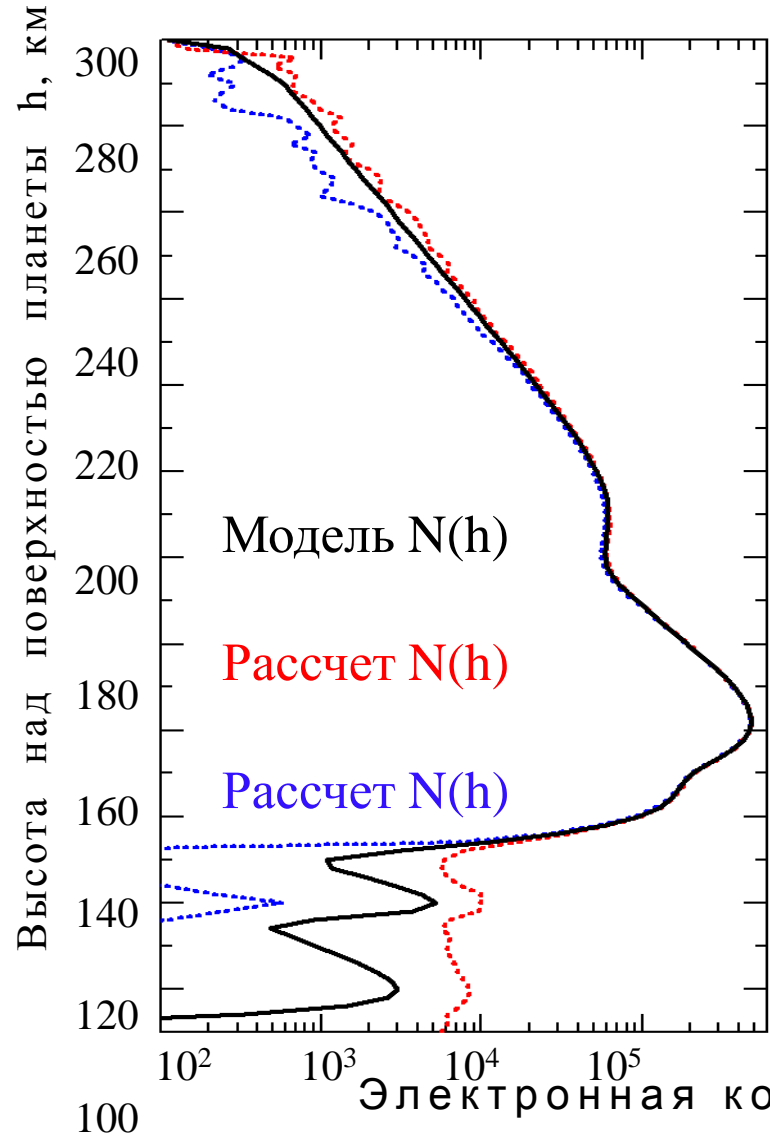
32 см

$f_{\text{DM}}$

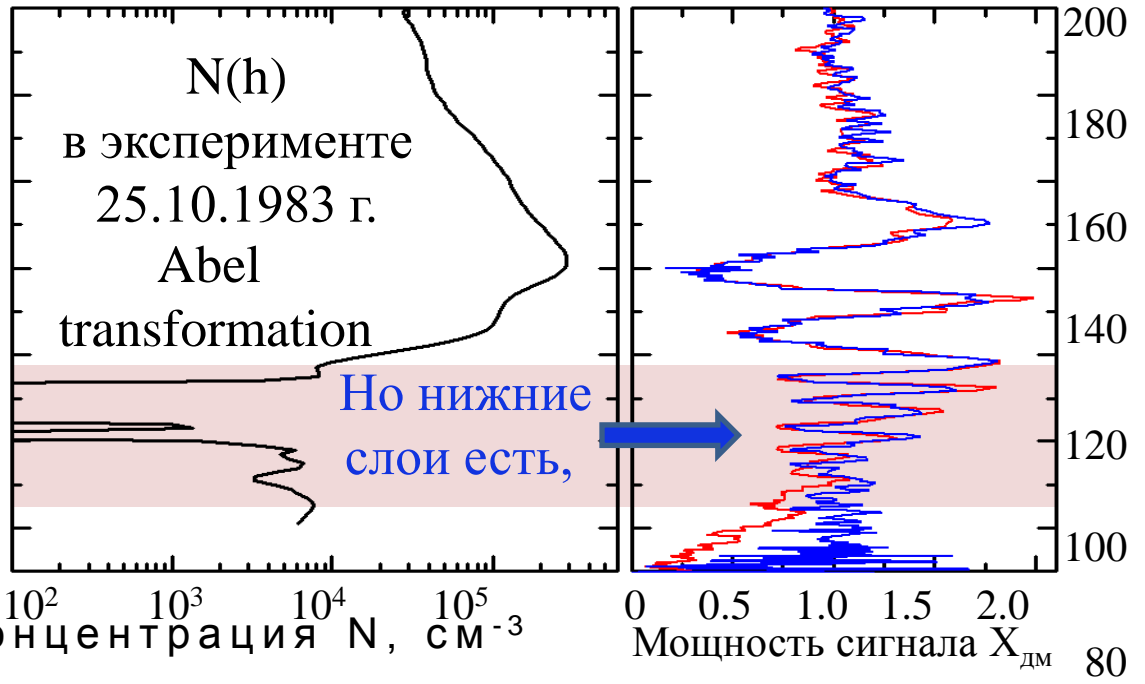
32 см



Из результатов моделирования метода радиопросвечивания следует, что ниже 120 км погрешность определения  $N(h)$  резко растет и приводит к неправильному определению  $N(h)$  в нижней ионосфере. Поэтому ниже 120 км электронная концентрация может не исчезать вплоть до поверхности планеты, либо становиться отрицательной.



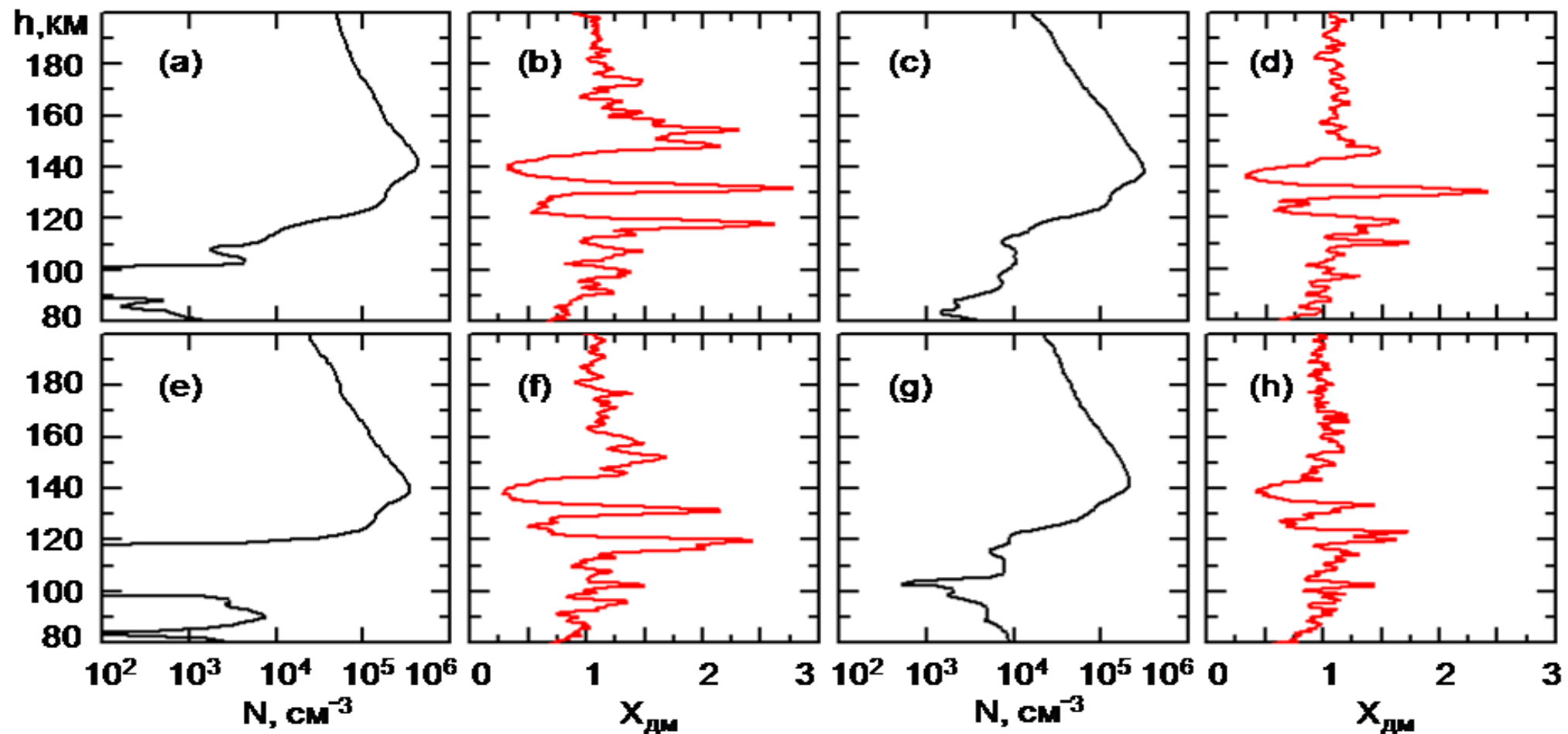
Разработана методика выделения влияния плазменных неоднородностей на фоне влияния разных мешающих факторов и шума. Она базируется на выявленной теоретической связи вариаций независимых параметров зондирующих радиосигналов (мощности и градиента частоты).



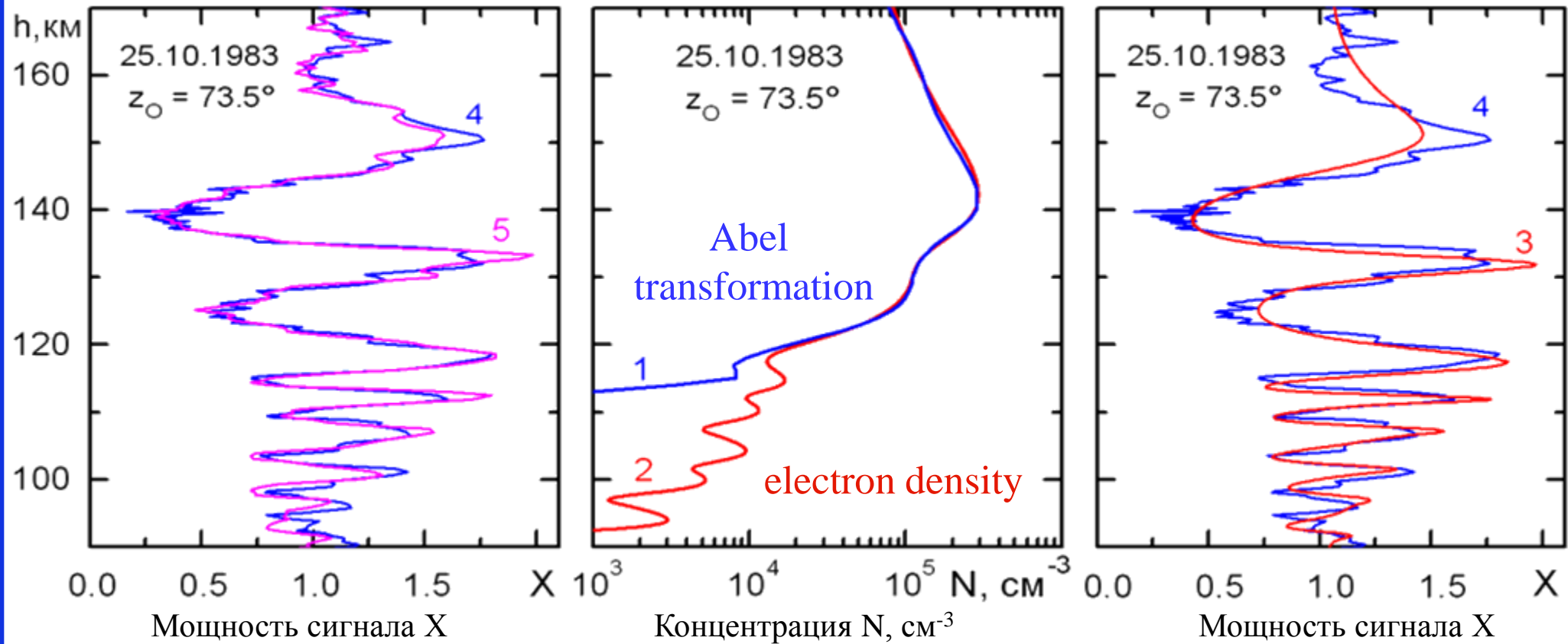
Но нижние слои есть,

# Возмущения электронной концентрации в дневной ионосфере Венеры

Из-за погрешностей решения обратной задачи радиопросвечивания концентрация на профиле  $N(h)$  становится отрицательной ниже 120 км или не исчезает ниже 80 км. Но новая методика позволяет выявлять плазменные возмущения по вариациям мощности.



# Определение электронной концентрации в нижней ионосфере Венеры

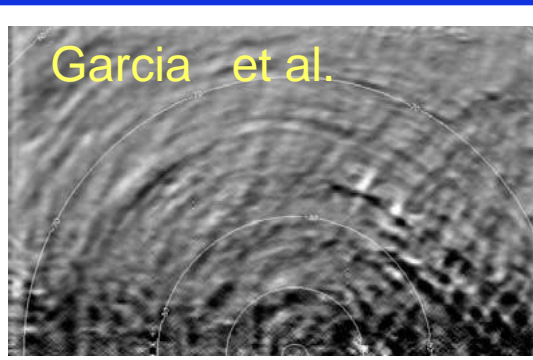
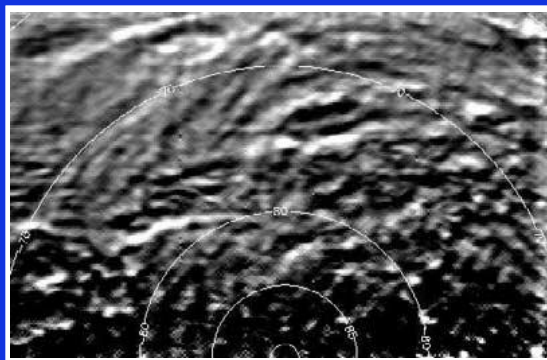


- Кривая 1 – профиль  $N(h)$  по экспериментальным данным  $f(t)$  (преобразование Абеля).  
Кривая 2 – профиль  $N^*(h)$  соответствует экспериментальным данным  $X(h)$  (кривая 3).  
Кривая 3 – расчет  $X(h)$  в лучевом приближении для профиля  $N^*(h)$  (кривая 2).  
Кривая 4 - экспериментальная функция  $X_f(h)$ , вычисленная из частоты сигнала.  
Кривая 5 - экспериментальная функция  $X(h)$  рефракционного изменения мощности.

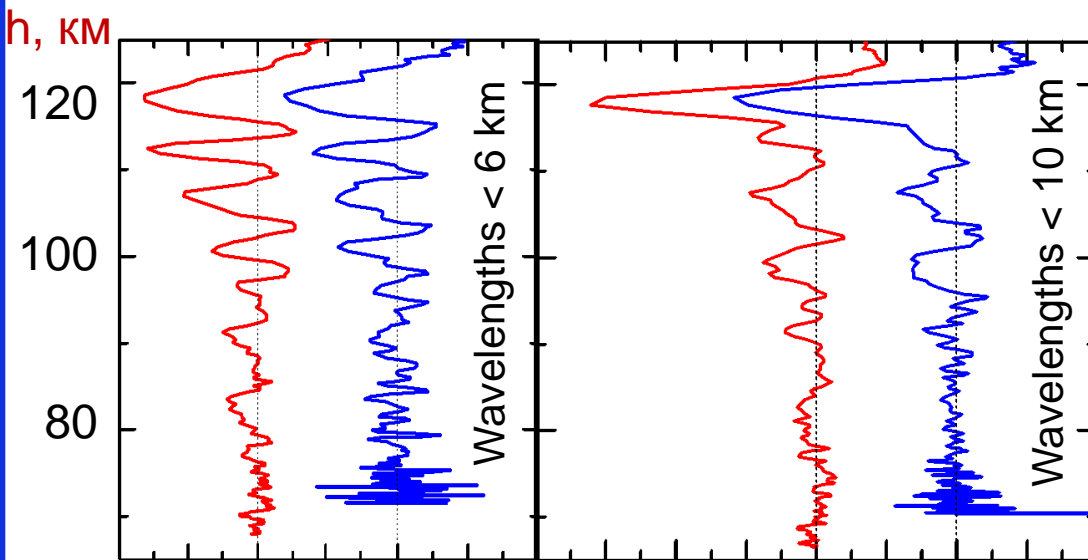
# Результаты радиопросвечивания ионосферы Венеры

На высотах от 85 до 120 км четко обнаруживаются нижние слои ионосферной плазмы, которые ранее не наблюдались ни в одной миссии и физические механизмы их формирования неизвестны. Совпадения вариаций  $X0(t)$  и  $X1(t)$  обусловлены влиянием именно ионосферной плазмы, они не зависят от влияния атмосферы, а также от влияния шума и флуктуаций концентрации межпланетной плазмы. Флуктуации шума  $X0(t)$  и  $X1(t)$  не коррелированы, т.к. погрешности измерений частоты и мощности имеют разные источники.

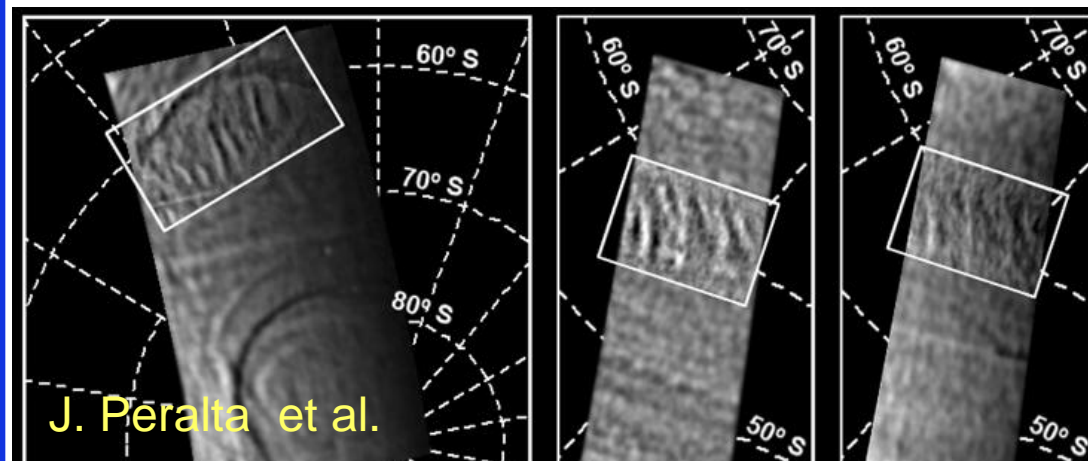
В нижней дневной ионосфере Венеры присутствуют периодические возмущения  $N(h)$ , уровень которых превышает случайные вариации, обусловленные шумом. Колебания  $N(h)$  с характерным масштабом 5-10 км по вертикали наблюдали в интервале высот от 85 до 130 км на освещенной стороне Венеры, что позволило доказать существование области  $\nu D$  (по-видимому аналог области D земной ионосферы). При малых мешающих факторах нижняя область ионосферы наблюдалась в 19 сеансах для зенитных углов Солнца от 56 до 87 град. В 7 сеансах из 9 для зенитных углов Солнца от 87 до 92 град нижняя ионосфера проявлялась, но эффект был сравним с шумами. Аналогичные структуры в ночной ионосфере в 25 сеансах для зенитных углов Солнца от 92 до 160 град отсутствовали. Именно по этой причине обнаруженная нижняя часть дневной ионосферы Венеры может быть аналогом области D земной ионосферы, а колебания электронной концентрации могут быть следствием распространения АГВ.



These emissions with a wavelength of 4.3 mm originate from the **110–140 km** altitude range and are sensitive to density perturbations. They show wave-like perturbations with horizontal wavelengths in the 90–400 km range.



Колебания плотности среды с вертикальным масштабом 6-10 км. по данным радиопросвечивания дневной ионосферы Венеры. О возможном распространении АГВ свидетельствуют представленные пространственные колебания, зарегистрированные в миссии VENUS-EXPRESS.



Mesoscale gravity waves in the upper and lower clouds of Venus from VEX-VIRTIS images.

## Заключение

Усовершенствованная модель обработки данных, применимая к результатам высокопотенциальных измерений, будучи заложена в основу нового радиозатменного эксперимента, позволит получить дополнительные надежные сведения о нижней части дневной ионосферы, о ночной ионосфере и о распространении возмущений из атмосферы в ионосферу Венеры. Представленный анализ данных радиозатмений в миссии Венера-15,-16 свидетельствует, что ионизованные крупномасштабные возмущения постоянно существуют не только в нижней ионосфере Земли (в области D), но и в дневной ионосфере Венеры. Более глубокое исследование природы таких возмущений будет возможно в миссии ВЕНЕРА-Д. Предлагаемый подход позволит нам изучить тонкую структуру взаимодействия атмосферы и ионосферы с использованием вариаций мощности и частоты двух когерентных сигналов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания и частично поддержана Программой Президиума РАН.*