

**Зоны влияния ПИВ различных  
масштабов на ионограммы  
наклонного зондирования ионосферы**

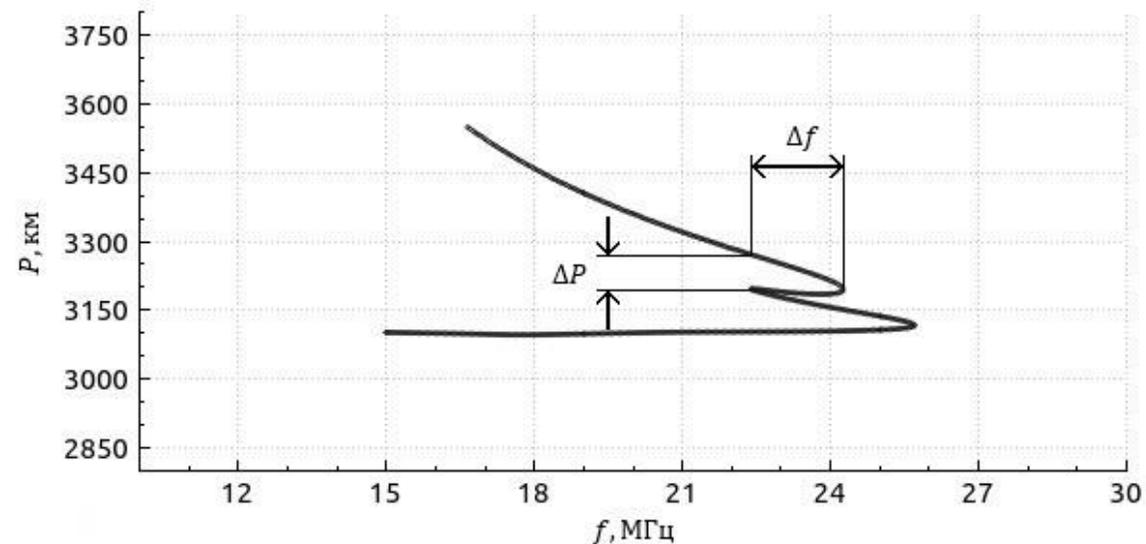
**Докладчик: аспирант ИСЗФ СО РАН Софьин Алексей  
Вячеславович**

# ВВЕДЕНИЕ

Искажения ионограмм наклонного зондирования (НЗ) ионосферы в виде характерных образований Z-типа, вызванные влиянием перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) на траекторные характеристики коротковолнового радиосигнала, известны давно. С использованием различных аналитических моделей пространственной структуры ионосферных неоднородностей объяснены качественные особенности формы образований Z-типа на ионограммах в зависимости от параметров ПИВ.

Целью данной работы является определение предельных пространственных масштабов ПИВ, амплитуд возмущения и пространственных областей, в которых ПИВ оказывает заметное воздействие на ионограммы односкачковых трасс.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИВ РАЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ НА ИОНОГРАММЫ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НЕПРЕРЫВНЫМИ ЛЧМ СИГНАЛАМИ



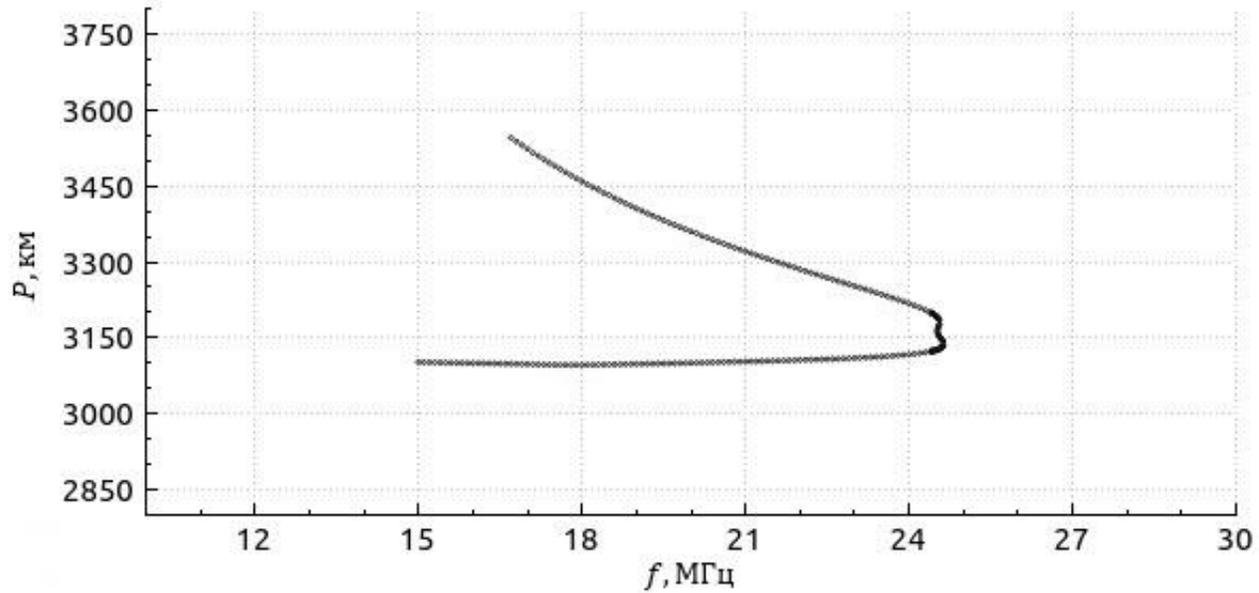
Смоделированное ДЧХ радиотрассы Магадан – п.Торы

Профиль электронной концентрации рассчитывался по модели IRI-2012. Ионосферные возмущения при моделировании задавались зависимостью от пространственных координат в виде закона Гаусса:

$$N_e(\theta, r) = N_0(r - R) \left( 1 + \delta \cdot \exp \left[ - \left\{ \frac{R \cdot \theta - x_c}{a_x} \right\}^2 - \left\{ \frac{r - R - z_c}{a_z} \right\}^2 \right] \right),$$

где  $N_e(\theta, r)$  – электронная концентрация в точке с полярными координатами  $(\theta, r)$ ;  $N_0(r - R)$  – электронная концентрация в невозмущённой ионосфере, заданная согласно модели IRI-2012,  $R$  – радиус Земли,  $\delta$  – относительная амплитуда ПИВ,  $x_c = R \cdot \theta_c$  и  $z_c = r_c - R$  – координаты центра неоднородности,  $a_x$  и  $a_z$  – пространственные масштабы возмущения в двух взаимно ортогональных направлениях.

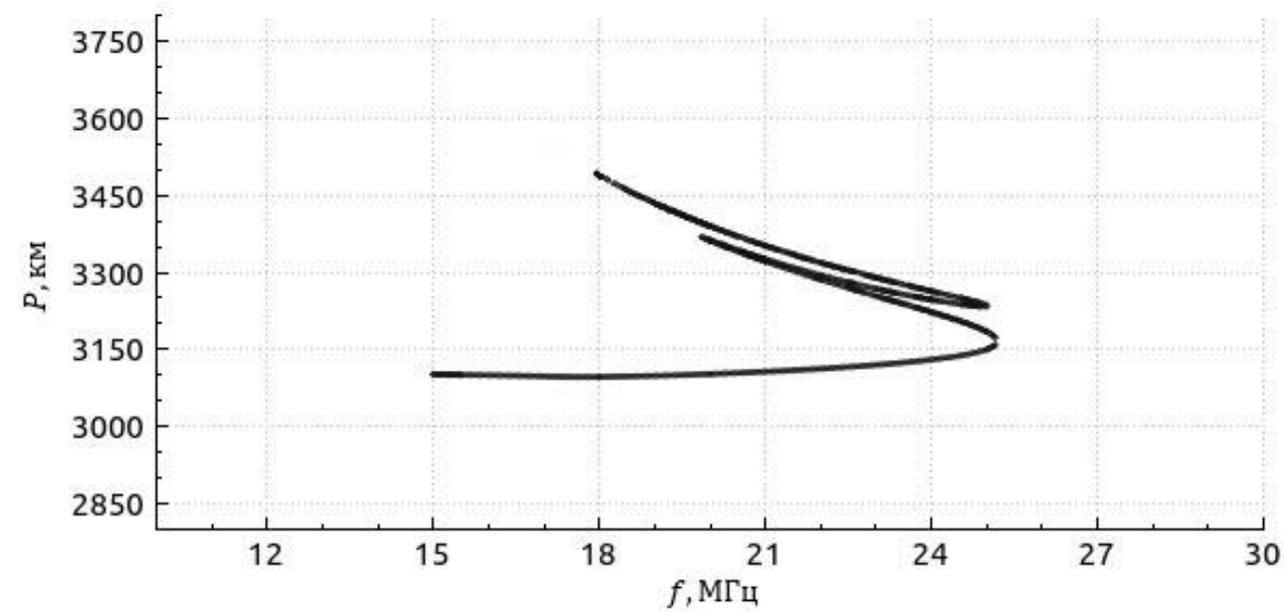
# ВАРИАЦИИ ПРОДОЛЬНОГО МАСШТАБА ПИВ ( $a_x$ )



Переход образования Z-типа в «ступеньку»

Норильск – п. Торы:  $60 \text{ км} \leq a_x \leq 400 \text{ км}$   
Магадан – п. Торы:  $120 \text{ км} \leq a_x \leq 400 \text{ км}$

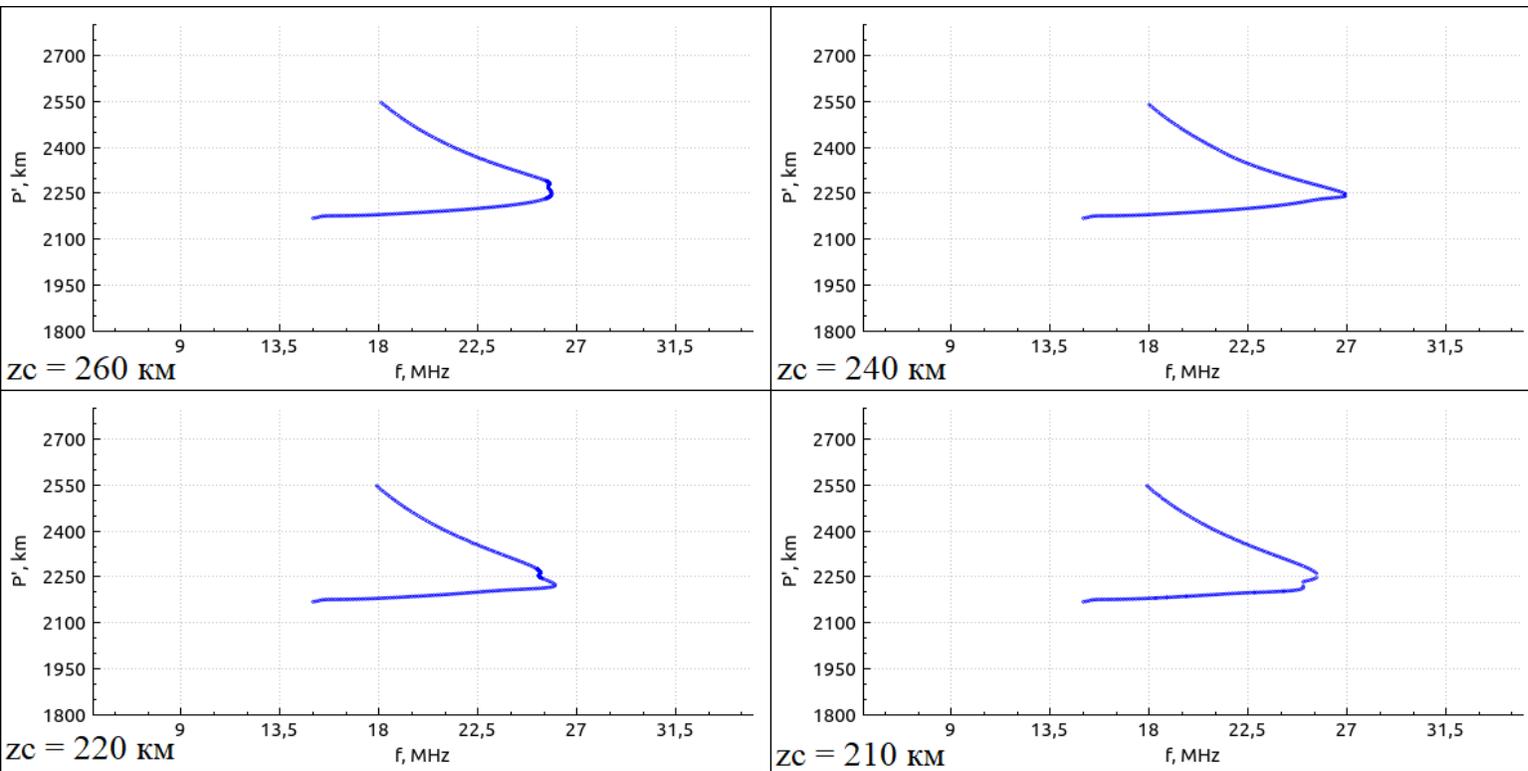
# ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО МАСШТАБА ПИВ ( $a_z$ )



Норильск – п. Торы:  $20 \text{ км} \leq a_x \leq 30 \text{ км}$   
Магадан – п. Торы:  $20 \text{ км} \leq a_x \leq 30 \text{ км}$

Пример перехода возмущения на ДЧХ в  
расщепление для наклонного зондирования

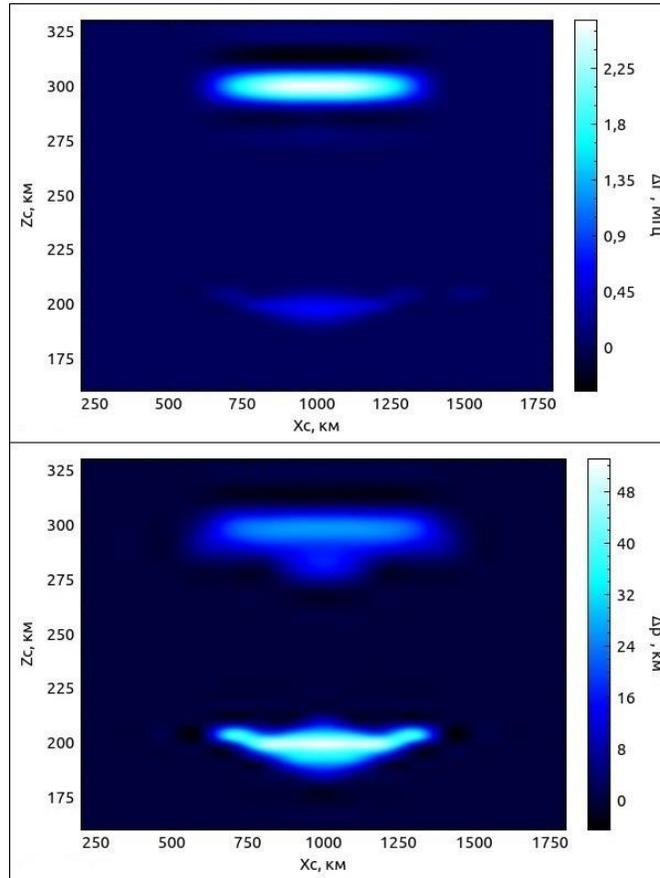
# ВАРИАЦИИ ОНТНОСИТЕЛЬНОЙ АМПЛИТУДЫ ПИВ ( $\delta$ )



Норильск – п. Торы:  $0.05 \leq \delta$   
Магадан – п. Торы:  $0.05 \leq \delta$

Вид ДЧХ при минимальных значениях параметра  $\delta$   
для наклонного зондирования

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПИВ НА ИОНОГРАММЫ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ



Зависимость  $\Delta f$  (а) и  $\Delta P$  (б) от пространственных координат центра неоднородности

На рисунке изображены результаты расчетов областей, в которых ПИВ вызывает искажения на ДЧХ в виде образований Z-типа, а также цветом указаны значения параметров  $\Delta f$  и  $\Delta P$ , соответственно. Для  $\Delta f$  высоты наибольшего воздействия неоднородности располагаются в районе от 290 км до 310 км ( $\Delta f$  меняется от 2 МГц до 2.7 МГц что составляет от 7.75% до 10.27% от  $f_{МПЧ}$ ), а для  $\Delta P$  в пределах 190 км – 210 км ( $\Delta P$  меняется от 40 км до 53 км что составляет от 1.57% до 2.04% от  $P_{max}$ ). Также на данных графиках видна область высот ( $z_c = 220 \div 280$  км), где вне зависимости от значения параметра  $x_c$  на ДЧХ отсутствует возмущение Z-типа, а лишь увеличивается значение МПЧ до 10% от невозмущенного значения для данной трассы.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассмотрении трасс Норильск–Торы и Магадан–Торы выяснилось, что в рамках использованного приближения изменение амплитуды ПИВ оказывает влияние при значениях амплитуды  $\delta$  от 0.05 и выше. Пространственные масштабы возмущений, оказывающих существенное влияние на ионограммы, принимают значения  $a_x$  от 60 до 400 км,  $a_z$  до 30 км для трассы Норильск–Торы и  $a_x$  от 125 км до 400 км,  $a_z$  до 30 км для трассы Магадан–Торы. Произведена также количественная оценка пространственных областей, в которых ПИВ оказывает заметное воздействие на ионограммы односкачковых трасс. Так, для трассы Норильск–Торы высоты наибольшего воздействия неоднородности для  $\Delta f$  располагаются от 295 км до 305 км, а для  $\Delta P$  — в пределах 195–205 км. Ширина зоны  $\Delta x$ , где сохраняется присутствие Z-петли, составляет около 600 км. Выявлена мертвая зона на высотах  $z_c = 220$ – $280$  км, где отсутствует образование Z-типа на ДЧХ, а лишь увеличивается значение МПЧ до 10 %. Полученные результаты позволяют оценивать диагностические возможности ионозондов для коротких и длинных односкачковых радиотрасс.

Спасибо за внимание!

