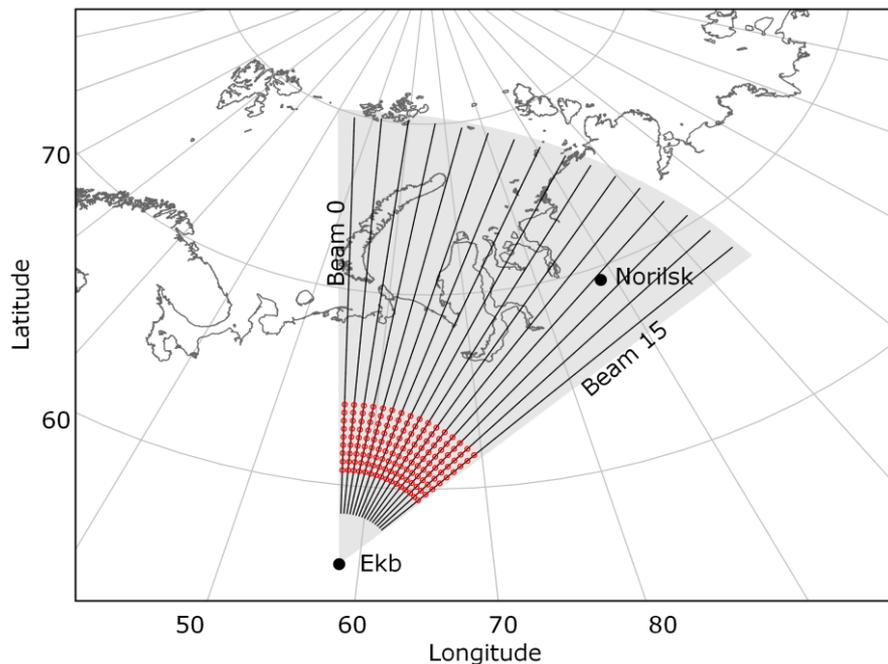


Статистические характеристики среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений по данным многолетних наблюдений на КВ радаре ЕКВ



А.В. Ойнац, М.В. Толстикова
Институт солнечно-земной физики СО РАН
E-mail: oinats@iszf.irk.ru

ВВЕДЕНИЕ



КВ радар Екатеринбург

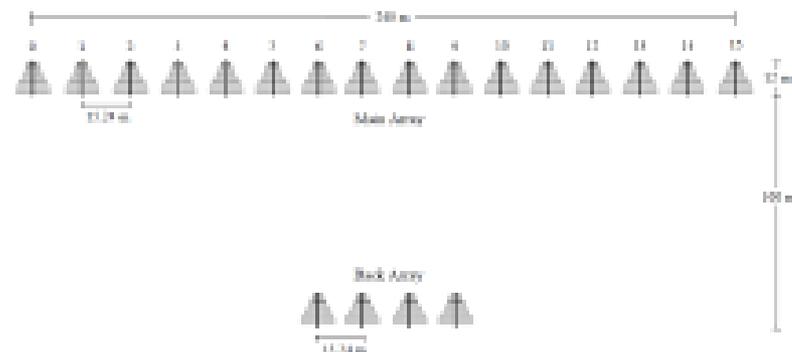
Расположение: 56.42N, 58.53E

Частоты: 8-20 МГц

Основной азимут: 20°

Дальность до ~3500 км

Количество лучей: 16



Ширина луча (гор.): ~3.5°

Угол между лучами: 3.24°

Сектор обзора: ~50°

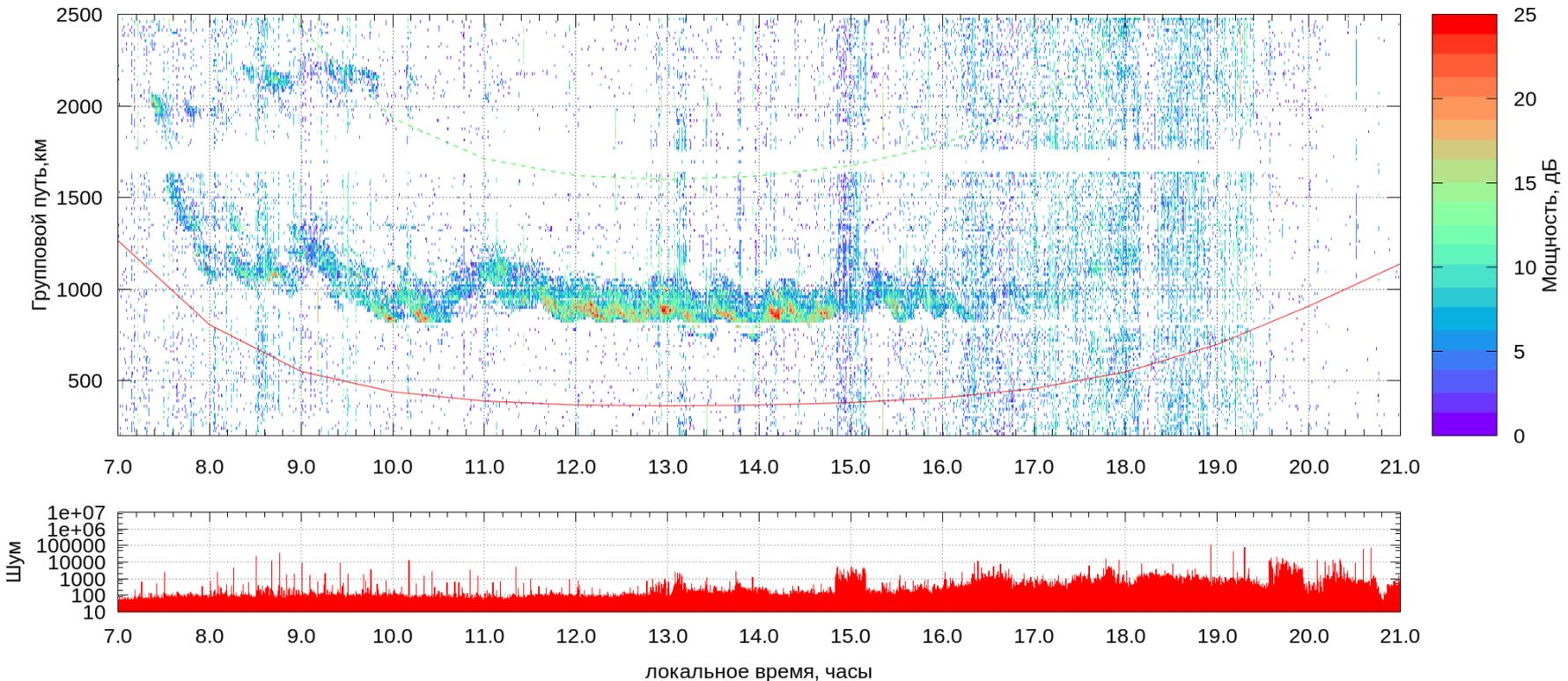
Запущен в конце 2012

Сtereo режим – 2 канала



ВВЕДЕНИЕ

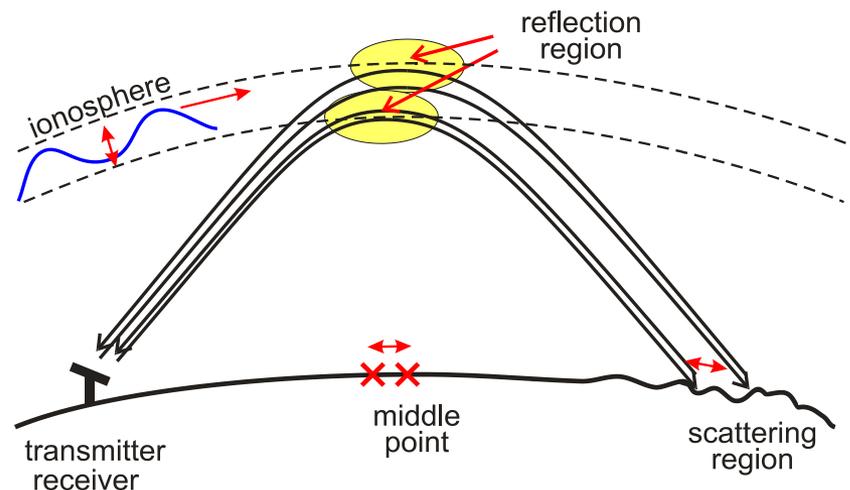
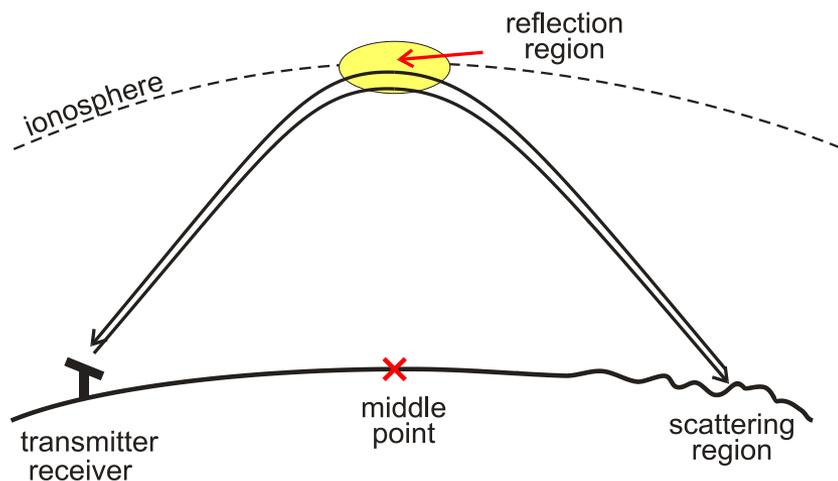
Мощность принимаемого сигнала ЕКВ 24.02.2016 [частота 10.3 МГц; размер гейта 15 км; канал 2; луч 0]



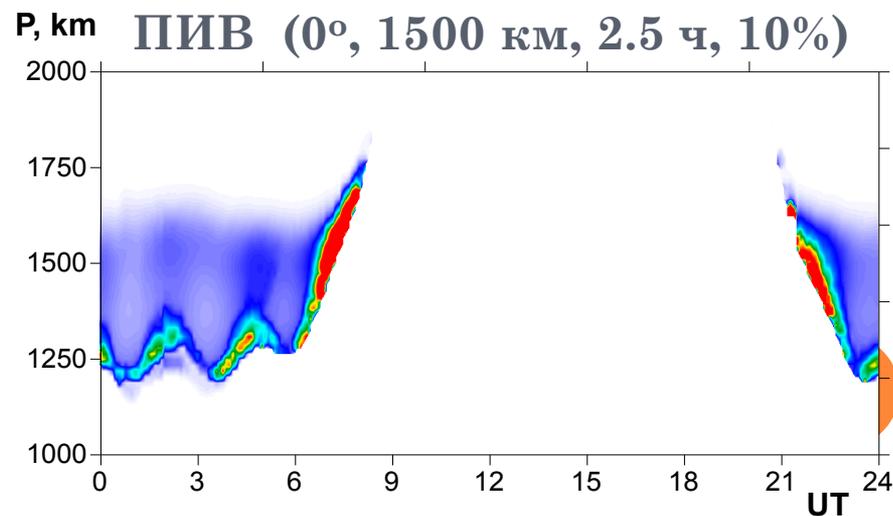
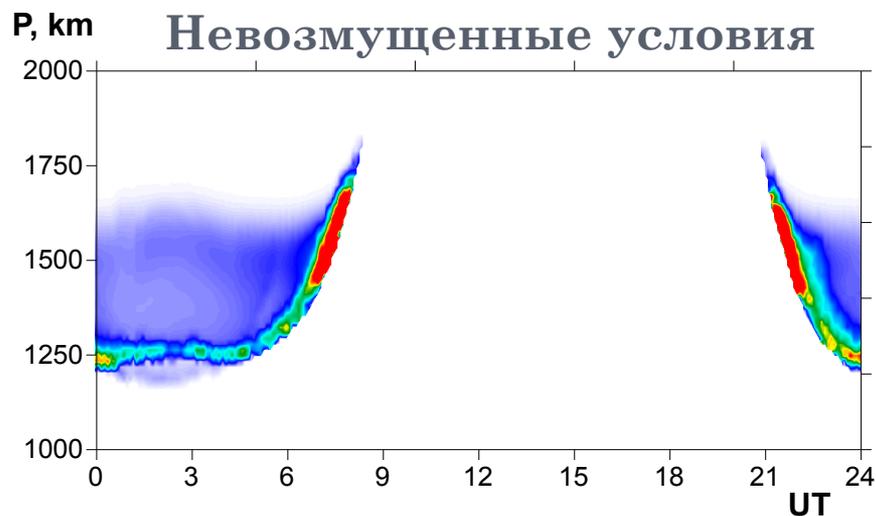
Пример данных радара, где отчетливо проявляются эффекты СМПИВ. Показана мощность принимаемого сигнала в зависимости от группового пути и времени суток, измеренная 24 февраля 2016 г. в канале 2 на луче №0



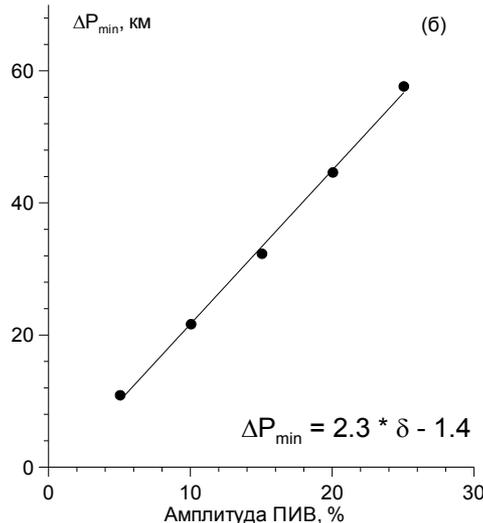
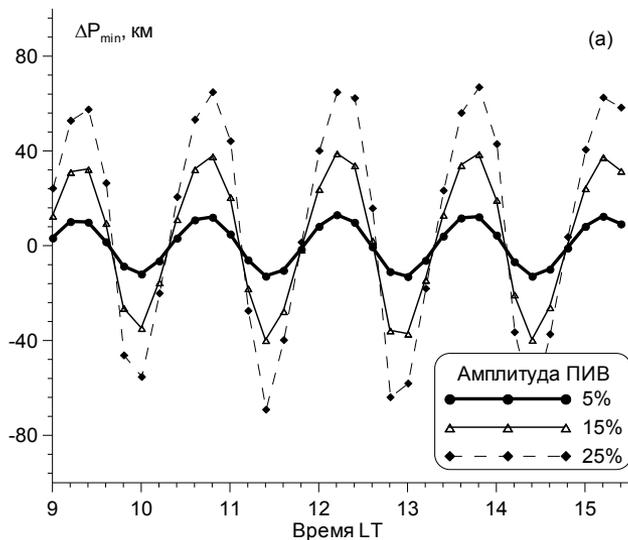
ВВЕДЕНИЕ



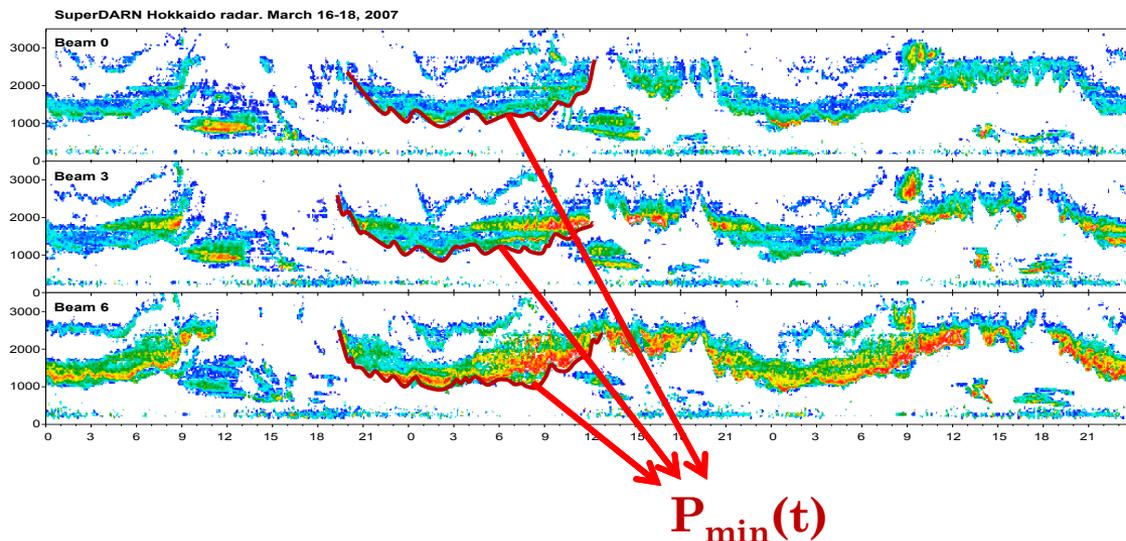
Результат моделирования сигнала ВНЗ для КВ радара – луч #0



Моделирование характеристик сигнала ВНЗ



Зависимость амплитуды вариаций минимального группового пути сигнала ВНЗ от амплитуды ПИВ



Вариации минимального группового пути



Методика определения параметров ПИВ

Модель ПИВ

$$N(\varphi, \theta, r, t) = N_0(\varphi, \theta, r, t) \left(1 + \delta \cos(k_r \Delta r + k_\theta r_0 \Delta \theta + k_\varphi r_0 \sin \theta \Delta \varphi - \frac{2\pi}{T} t + \Phi_0) \right)$$

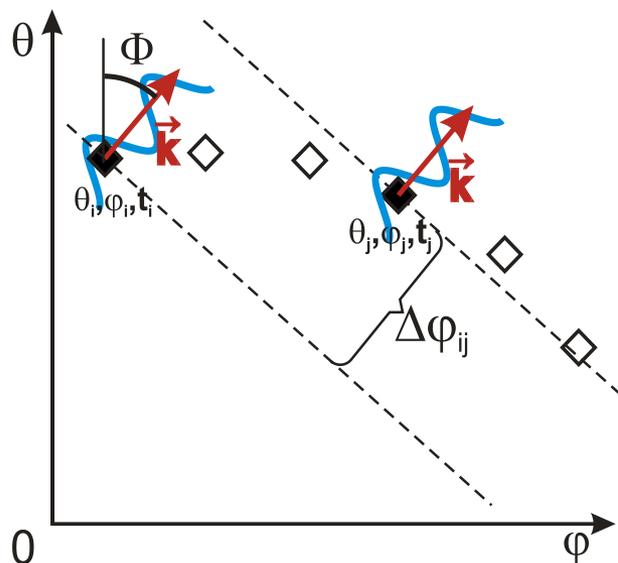
При $\Psi = 0$, т.е. $\vec{k} = \{k_r, k_\theta, k_\varphi\} = \{0, k \cos \Phi, k \sin \Phi\}$

$$k = |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\nu}{\lambda}$$

Фаза $\phi(\theta, \varphi, t) = kr_0 [\Delta \varphi \cos \theta \sin \Phi + \Delta \theta \cos \Phi] - k\nu t + \phi_0$

Разность фаз между i-м и j-м лучом

$$\Delta \phi_{ji} = kr_0 [(\Delta \varphi_j \cos \theta_j - \Delta \varphi_i \cos \theta_i) \sin \Phi + (\theta_j - \theta_i) \cos \Phi] - k\nu \Delta t_{ji}$$



Задержка регистрации между j-м и i-м лучами

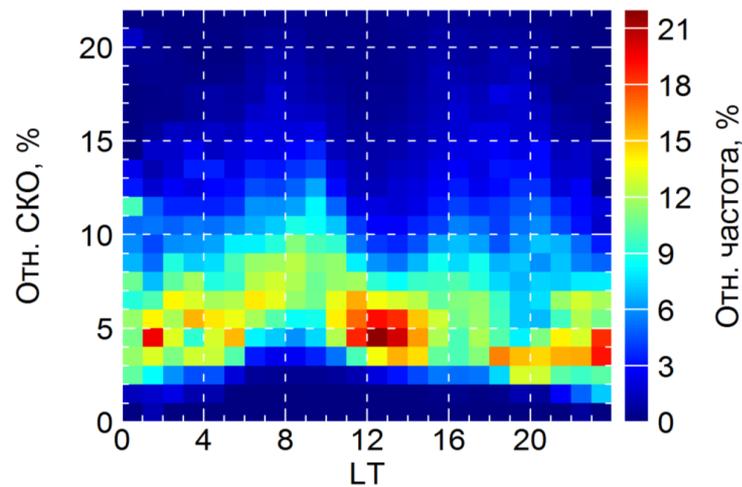
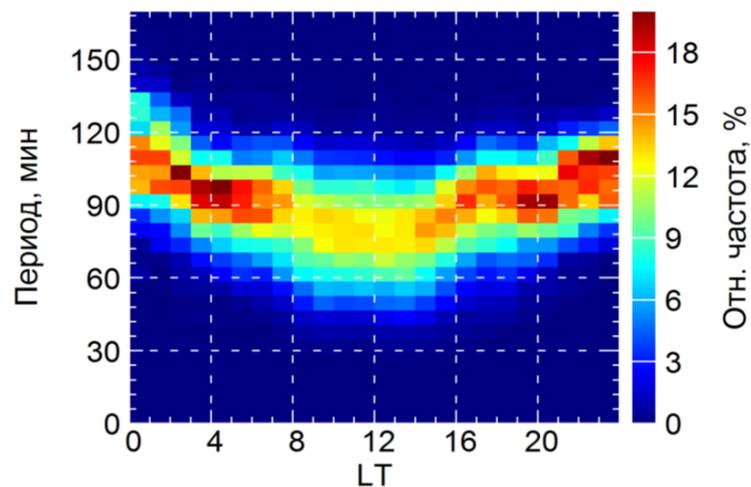
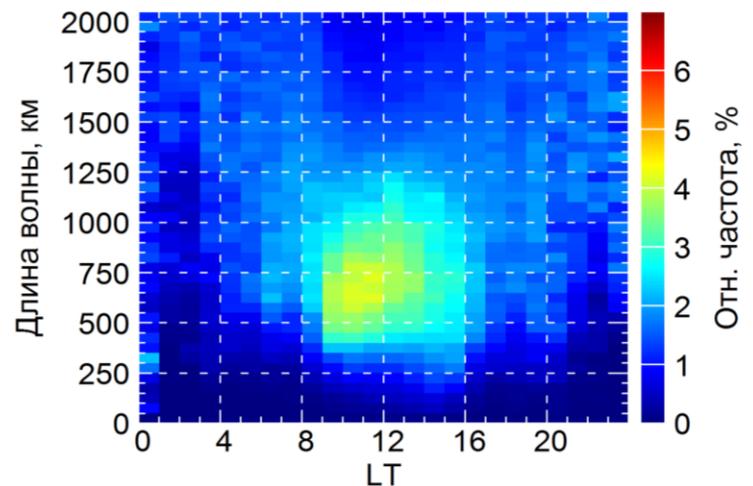
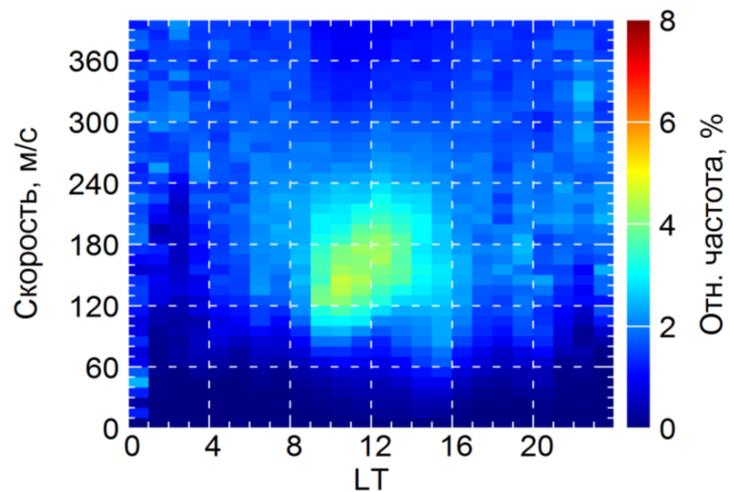
$$\Delta t_{ji}(\Phi, \nu) = \frac{r_0}{\nu} [(\Delta \varphi_j \cos \theta_j - \Delta \varphi_i \cos \theta_i) \sin \Phi + (\theta_j - \theta_i) \cos \Phi]$$

Невязка между измеренными и рассчитанными задержками

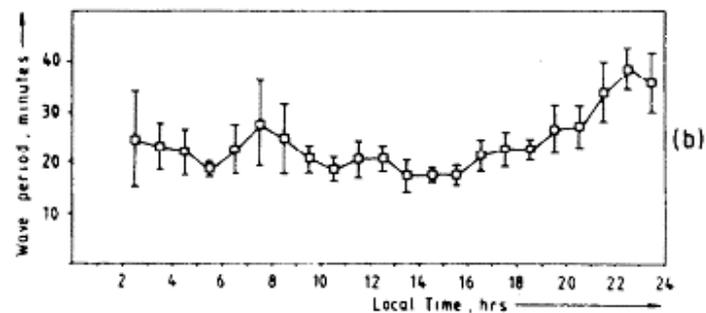
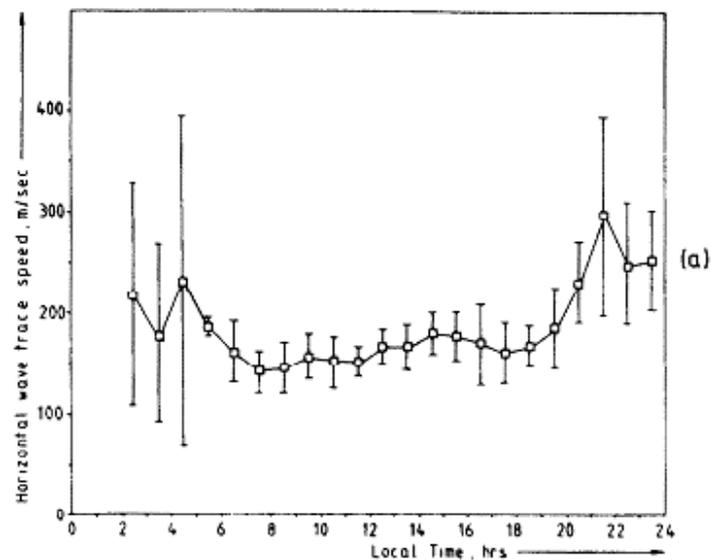
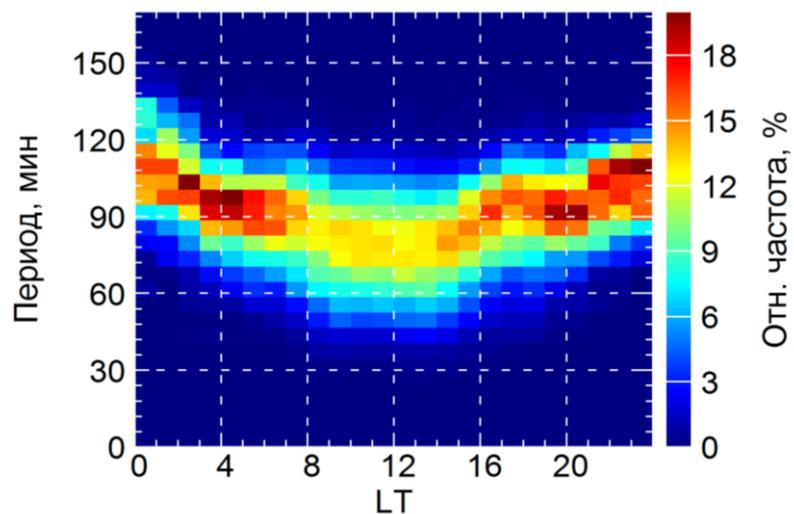
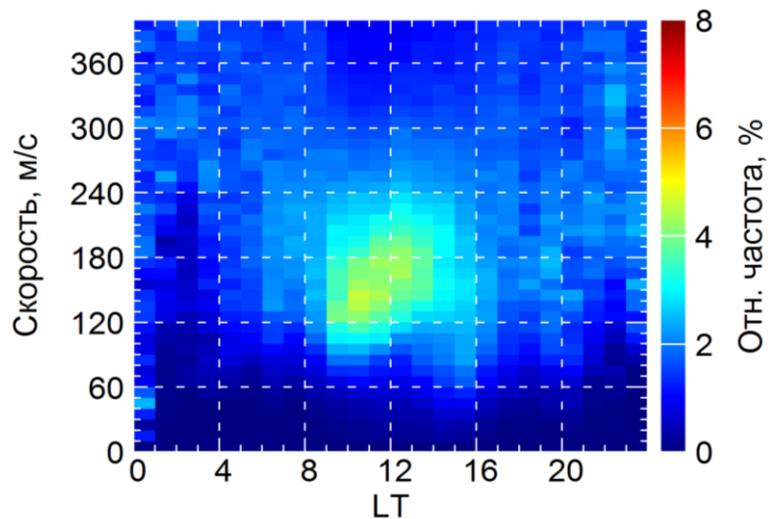
$$\delta(\Phi, \nu) = \sum_{j,i=0, j \neq i}^{n_{beams}} (\Delta t'_j - \Delta t_{ji}(\Phi, \nu))^2$$



Распределение параметров СМПИВ



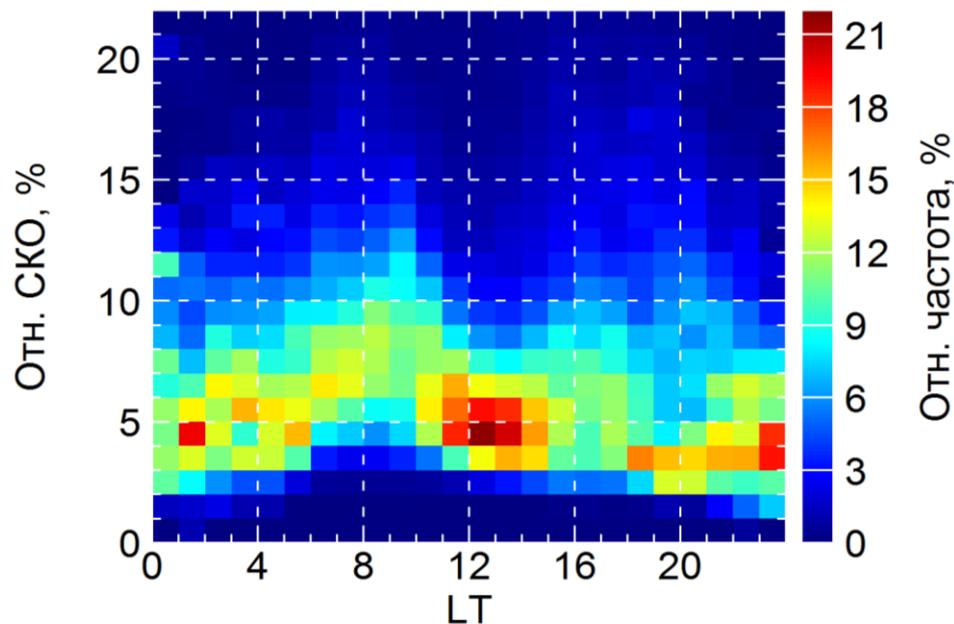
Кажущаяся горизонтальная скорость и период СМПИВ



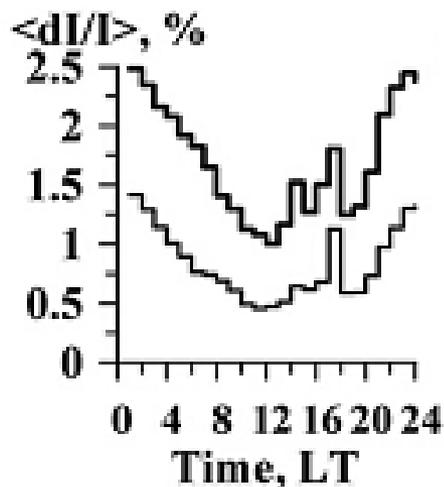
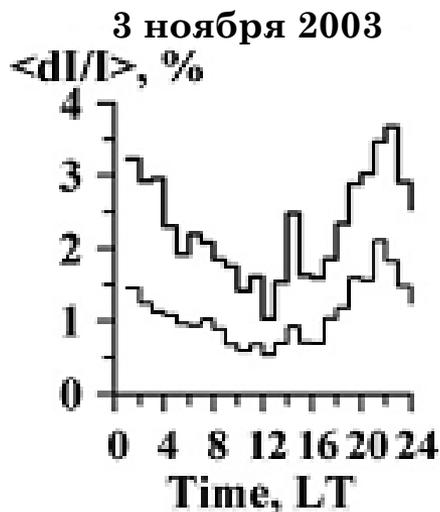
Waldock and Jones (1986) HF
Doppler observations of
medium-scale travelling
ionospheric disturbances at
mid-latitudes



Относительная амплитуда СМПИВ



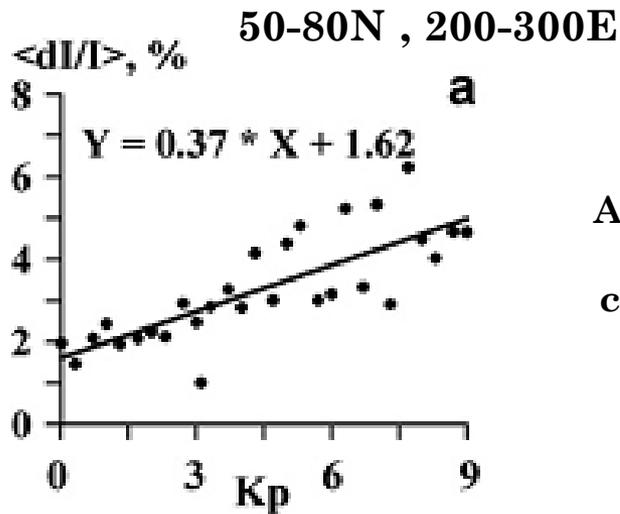
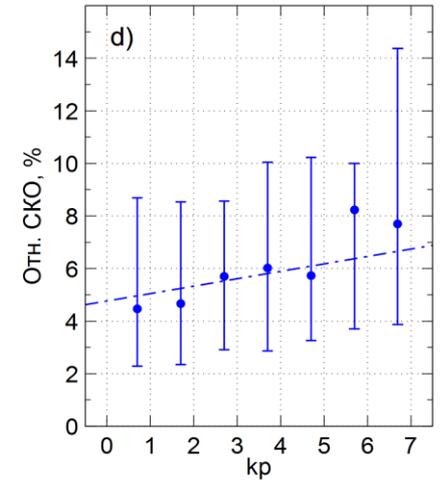
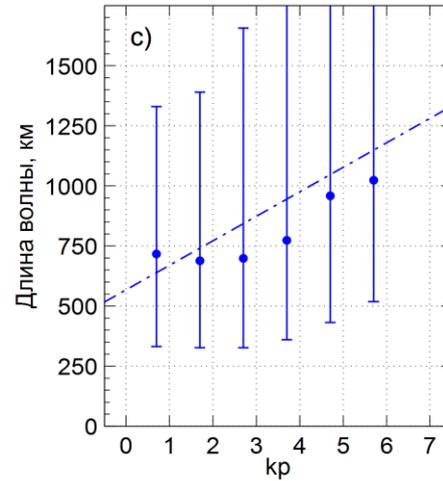
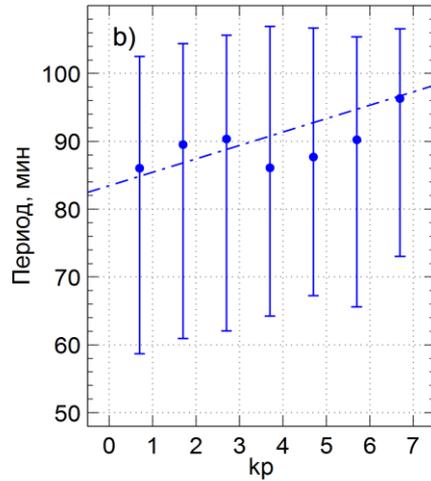
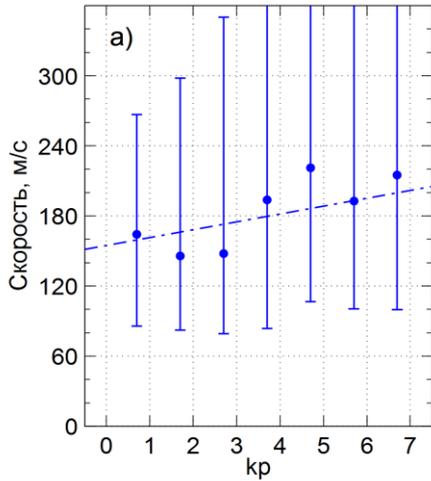
50-80N , 200-300E



Afraimovich et al. (2008)
Relative amplitude of
the total electron
content variations
depending on
geomagnetic activity



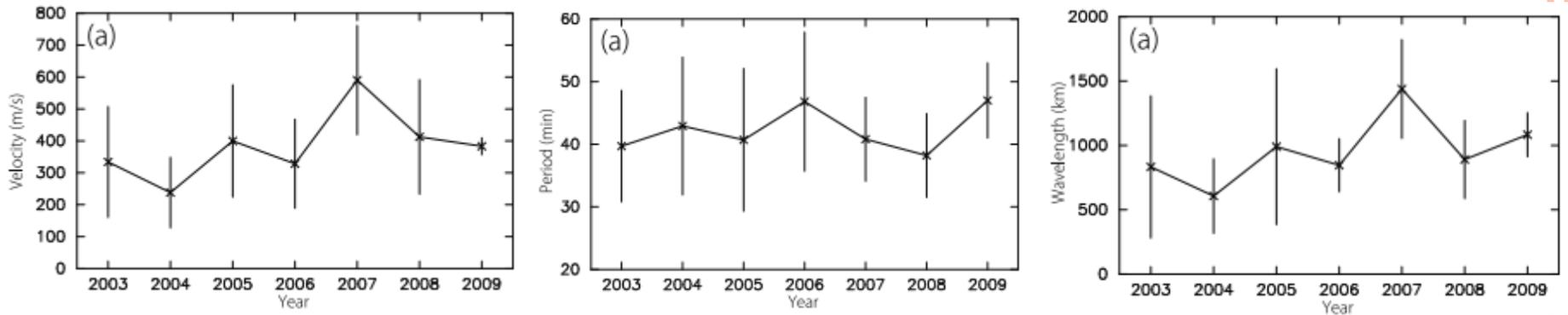
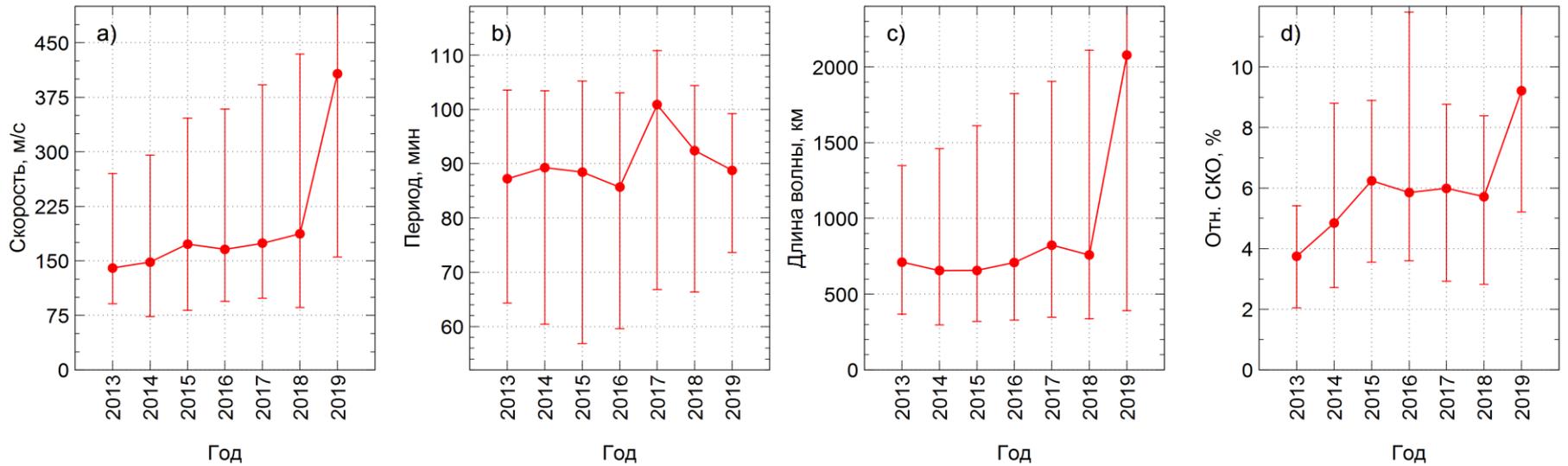
Зависимость параметров от геомагнитной активности



Afraimovich et al. (2008) Relative amplitude of the total electron content variations depending on geomagnetic activity



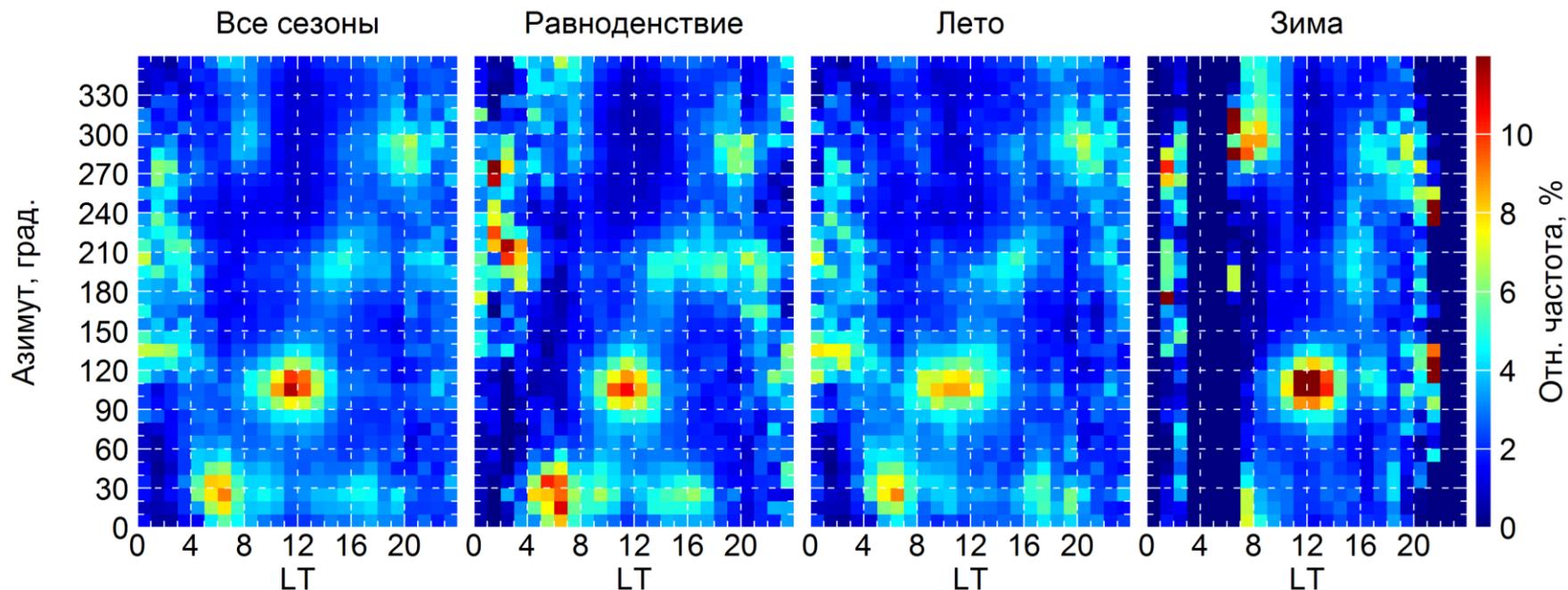
Зависимость параметров от солнечной активности



Fukushima et al. (2012) Observation of equatorial nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances in 630-nm airglow images over 7 years. J Geophys Res 117:A10324



Распределение параметров СМПИВ

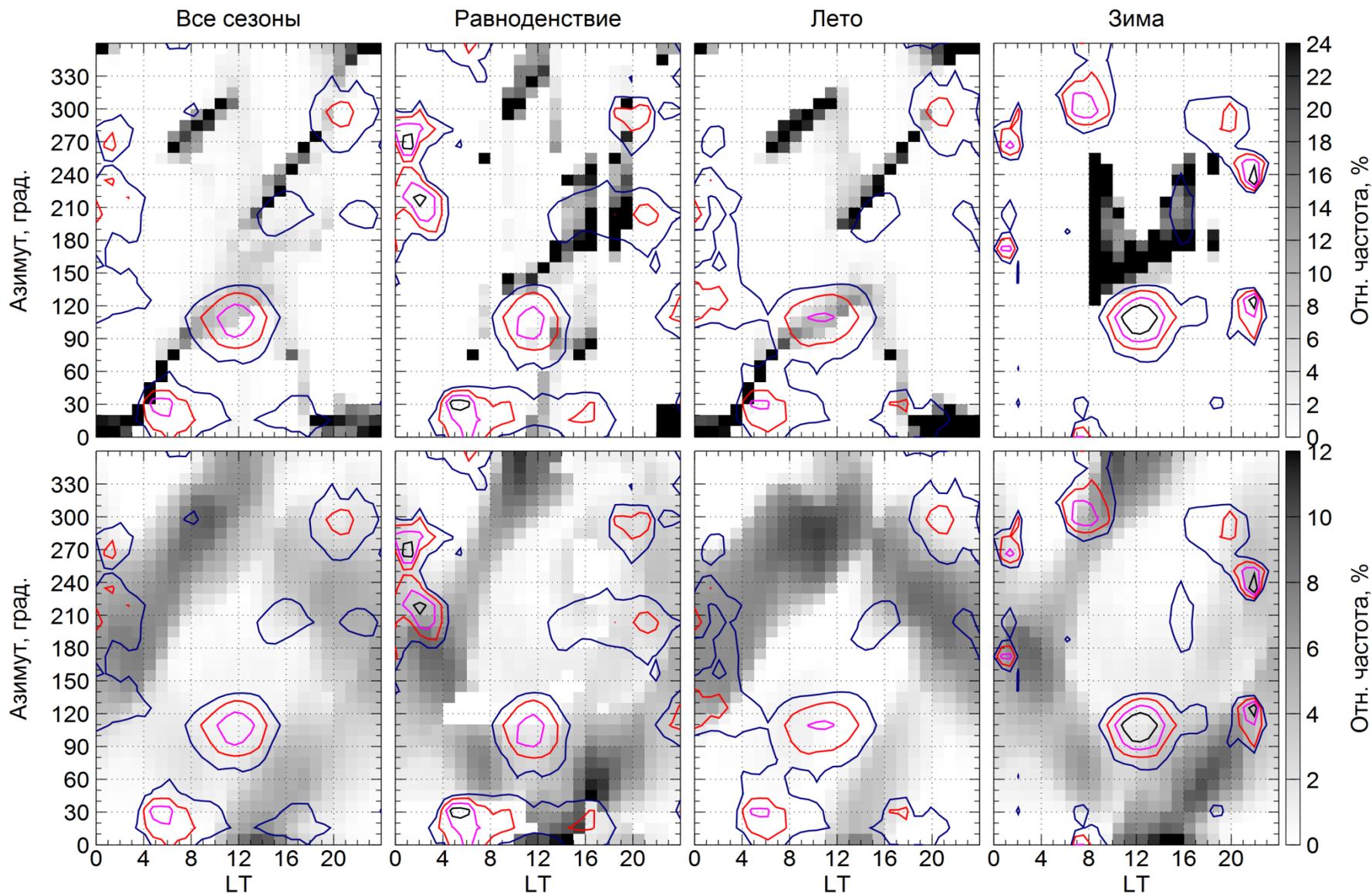


Связь между внутренней частотой волны Ω и измеряемой наземными инструментами ω (Cowling et al. 1987)

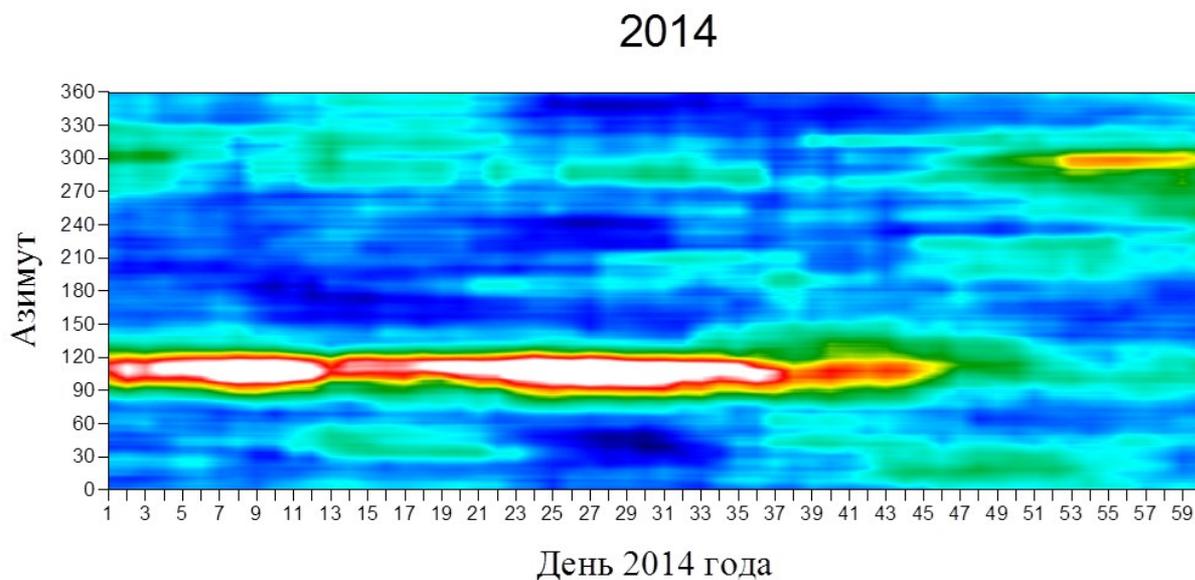
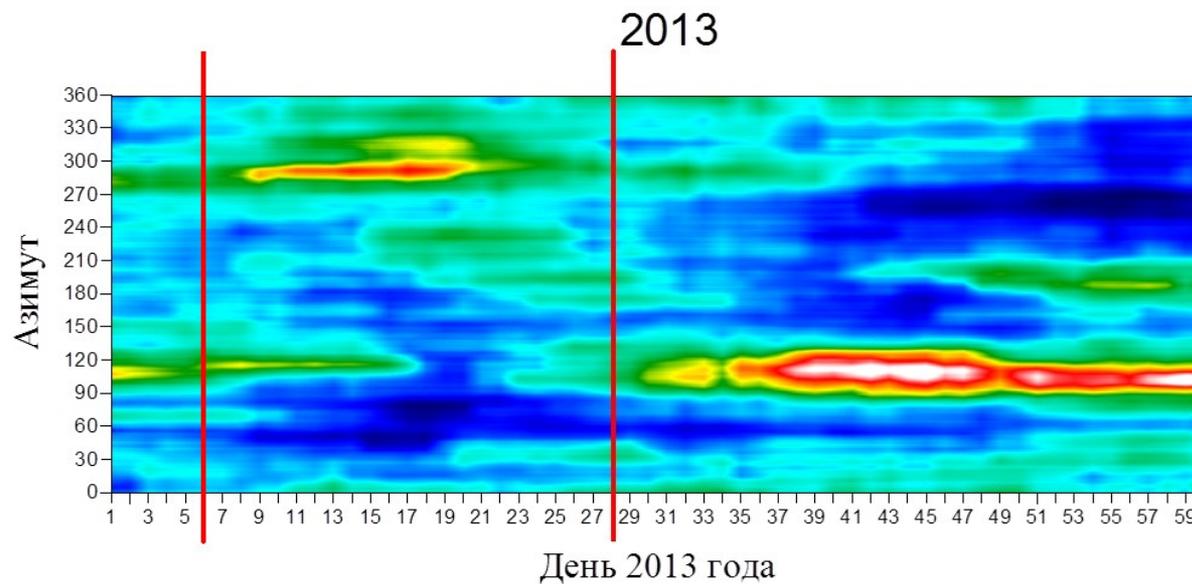
$$\Omega = \omega - \vec{k} \cdot \vec{v}$$



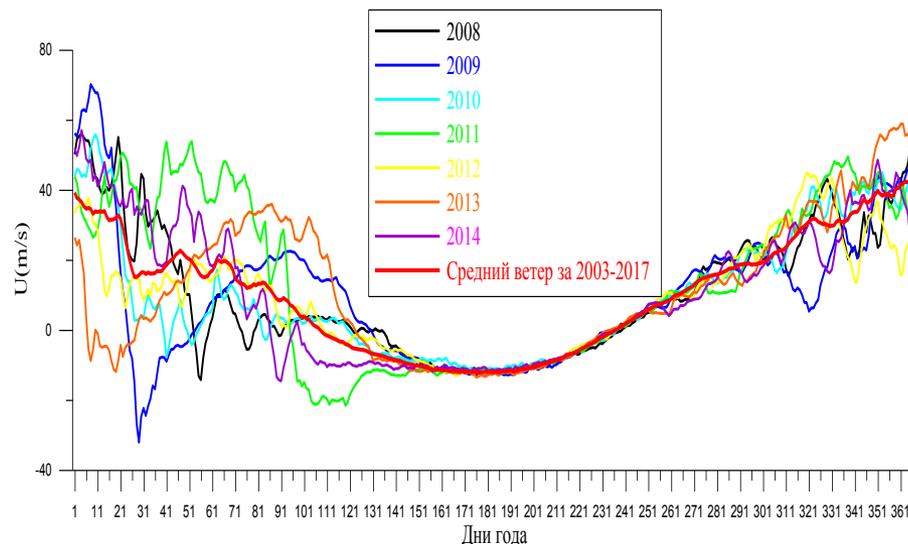
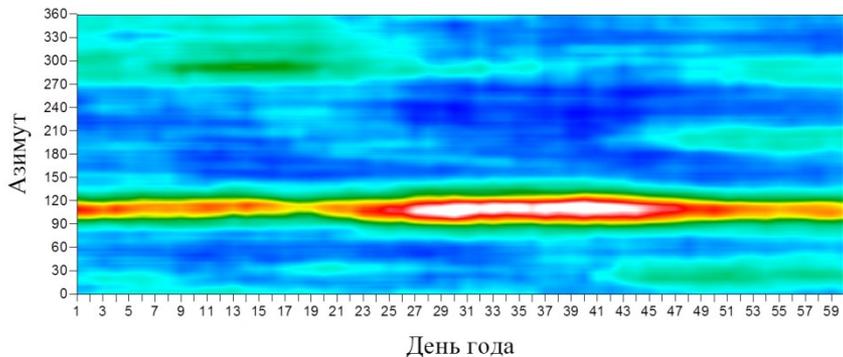
Сравнение с моделью нейтрального ветра НWM07



Статистика азимутов СМПИВ в периоды ВСП

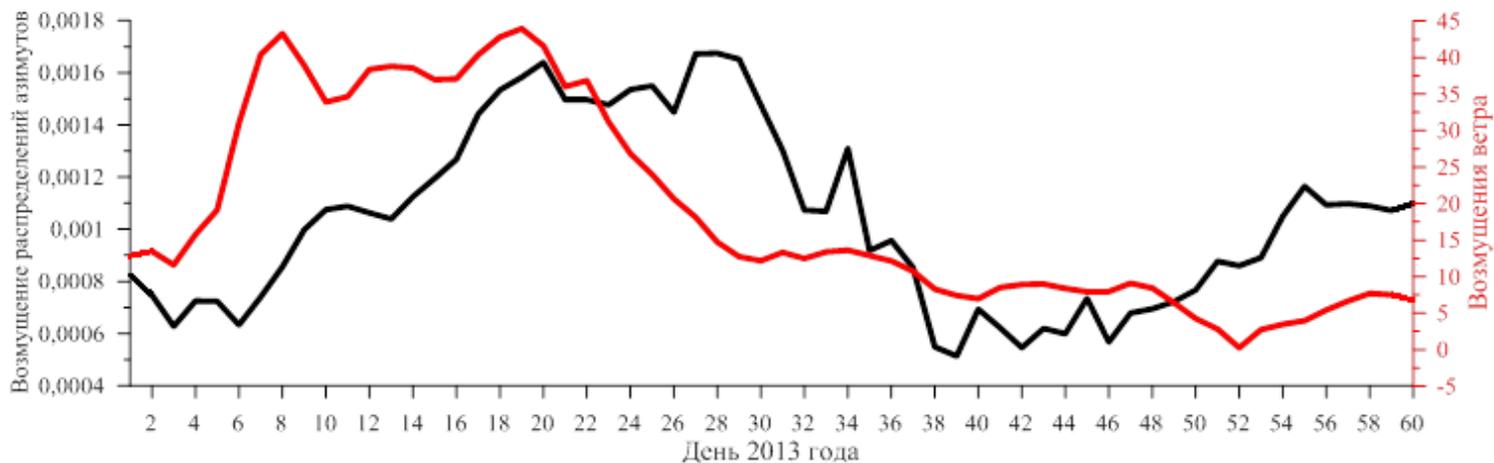


Статистика азимутов СМПИВ в периоды ВСП



$$\sqrt{\frac{\sum_{\varphi=0}^{359} (Dst(i, j, \varphi) - AvDst(i, \varphi))^2}{360}}$$

2013



Основные выводы

Проведена обработка и анализ данных КВ радара Екатеринбург (2013-2019). Исследованы суточная, сезонная, от уровня геомагнитной и солнечной активности зависимости основных параметров СМПИВ. Полученные результаты согласуются с теоретическими и экспериментальными результатами других авторов.

Исследована связь между распределением азимутов СМПИВ и ветровой картиной на высотах ионосферы по данным модели горизонтального нейтрального ветра NWM07. Обнаружено, что наибольшее влияние на суточное распределение азимутов СМПИВ оказывает ослабляющий попутный ветер.

Другим важным результатом является обнаруженная связь между анизотропией направлений распространения СМПИВ во время ВСП с вариациями среднезонального ветра по данным реанализа.

Полученные статистические закономерности параметров СМПИВ и их связь с параметрами солнечной и геомагнитной активностей, а также ветровой variability на высотах стратосферы и ионосферы позволяют в перспективе создать региональные (глобальные) модели прогноза СМПИВ.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.12 и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-05-00889-а и № 19-02-00513-а. В работе использованы экспериментальные данные ЦКП «Ангара» (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>).