



# ЭМПИРИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАННЫМ МЕЗОМАСШТАБНОЙ СЕТИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Хуторов В.Е., Хуторова О.Г.

# Задачи работы

- Показать возможность оценки временных и пространственных масштабов волновых процессов в тропосфере, их фазовые скорости  $g_j$  данным сети приемников ГНСС в Республике Татарстан.
- Получить эмпирические распределения пространственных параметров когерентных в пространстве возмущений на сети ГНСС станций РТ.

# Зондирование тропосферы радиосигналами ГНСС

Дистанционное зондирование атмосферы в дециметровом диапазоне основано на связи индекса рефракции  $N$  и коэффициента преломления  $n$  радиоволн с атмосферными параметрами

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = 77.6 \frac{p}{T} + 3.73 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2}$$

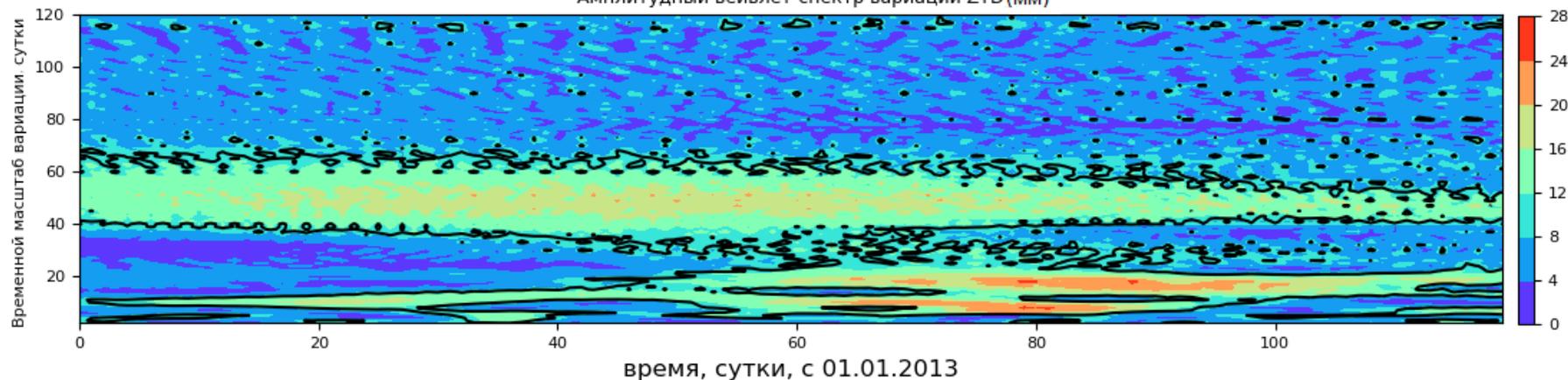
где первое слагаемое определяется влиянием неполярных газов, а второе – водяным паром,  $p$  и  $T$  – давление и температура воздуха в миллибарах и градусах Кельвина соответственно,  $e$  – парциальное давление паров воды (мбар).

Динамические процессы в реальной атмосфере формируют неоднородную изменчивую структуру коэффициента преломления. Параметром, характеризующим такое воздействие в тропосфере, может являться вертикальная (зенитная) тропосферная задержка, которая определена через интеграл от индекса рефракции

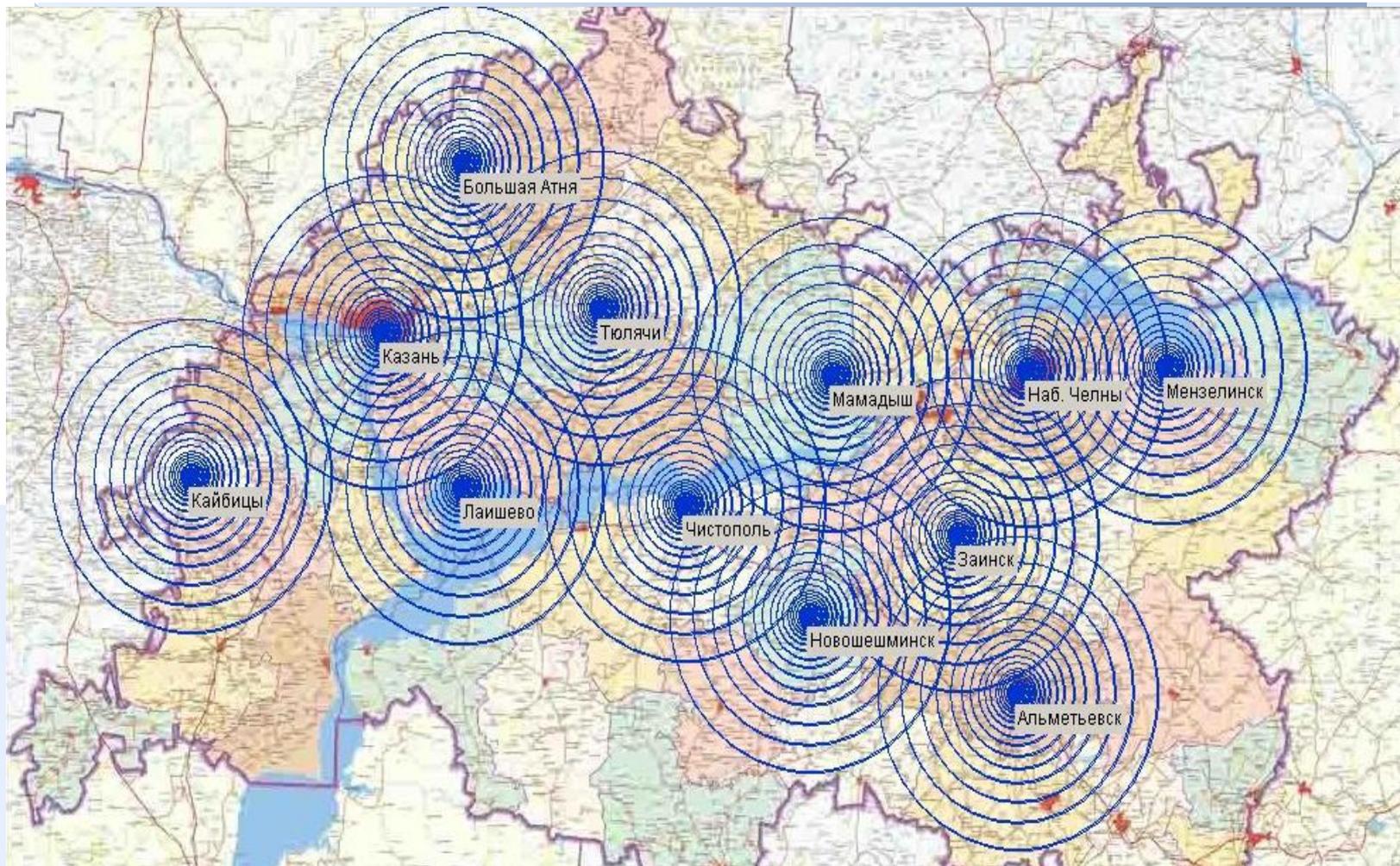
$$ZTD = \int_{\text{приемник}}^{\text{спутник}} N(h) \cdot 10^{-6} \cdot dh$$

$N$  – индекс рефракции,  $h$  – высота

# ***Ряд зенитной тропосферной задержки станции г. Казань и его амплитудный вейвлет-спектр в пространстве время-масштаб гармоники***



# Взаимное расположение городов с измерительными станциями



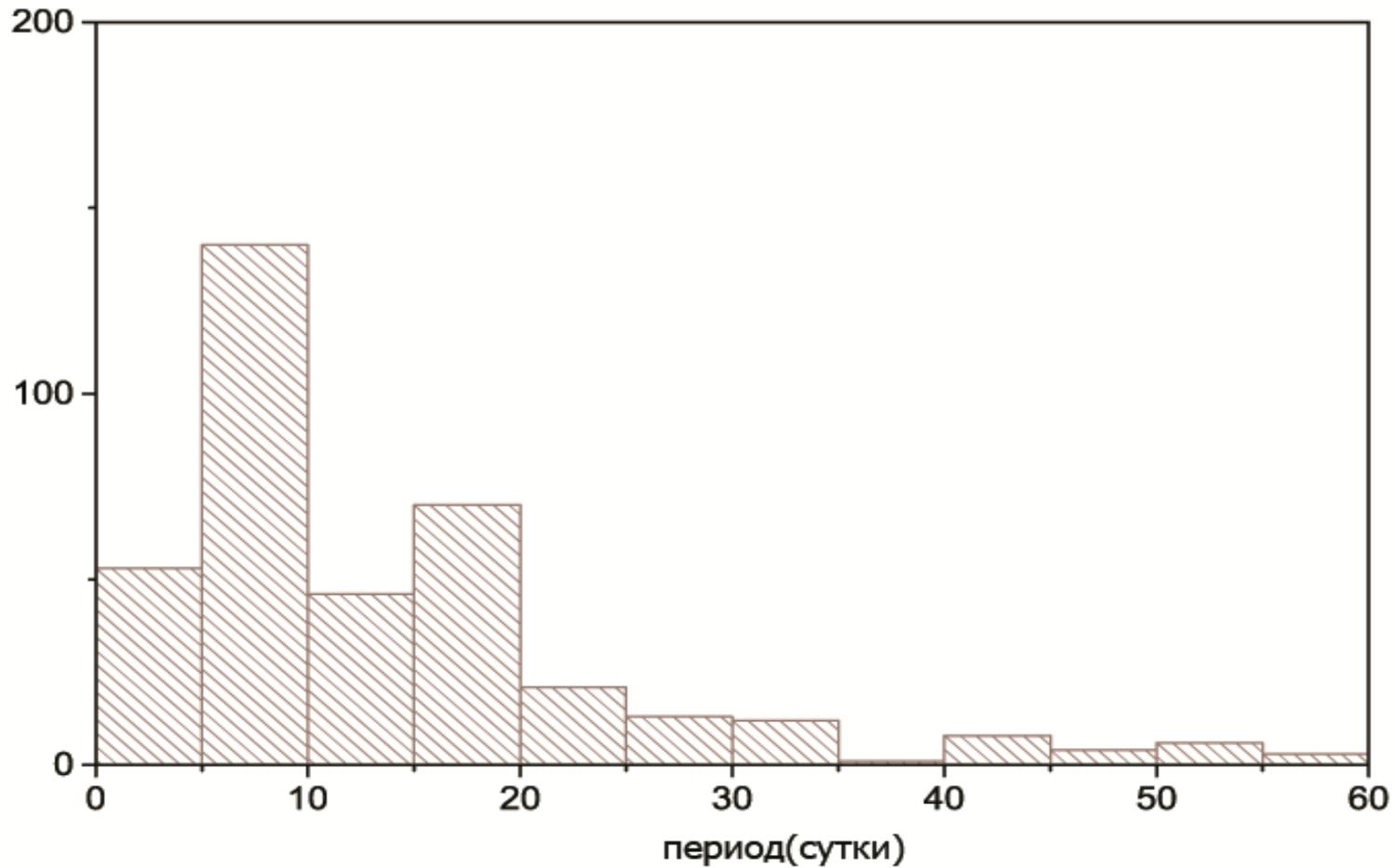
# Оценка пространственных параметров волновых процессов

- Одновременные фазовые спектры, полученные в пространственно-разнесенных пунктах, позволяют оценить волновые числа квазипериодических процессов, определяющих пространственно-временные вариации ZTD с помощью решения уравнения линейной регрессии:

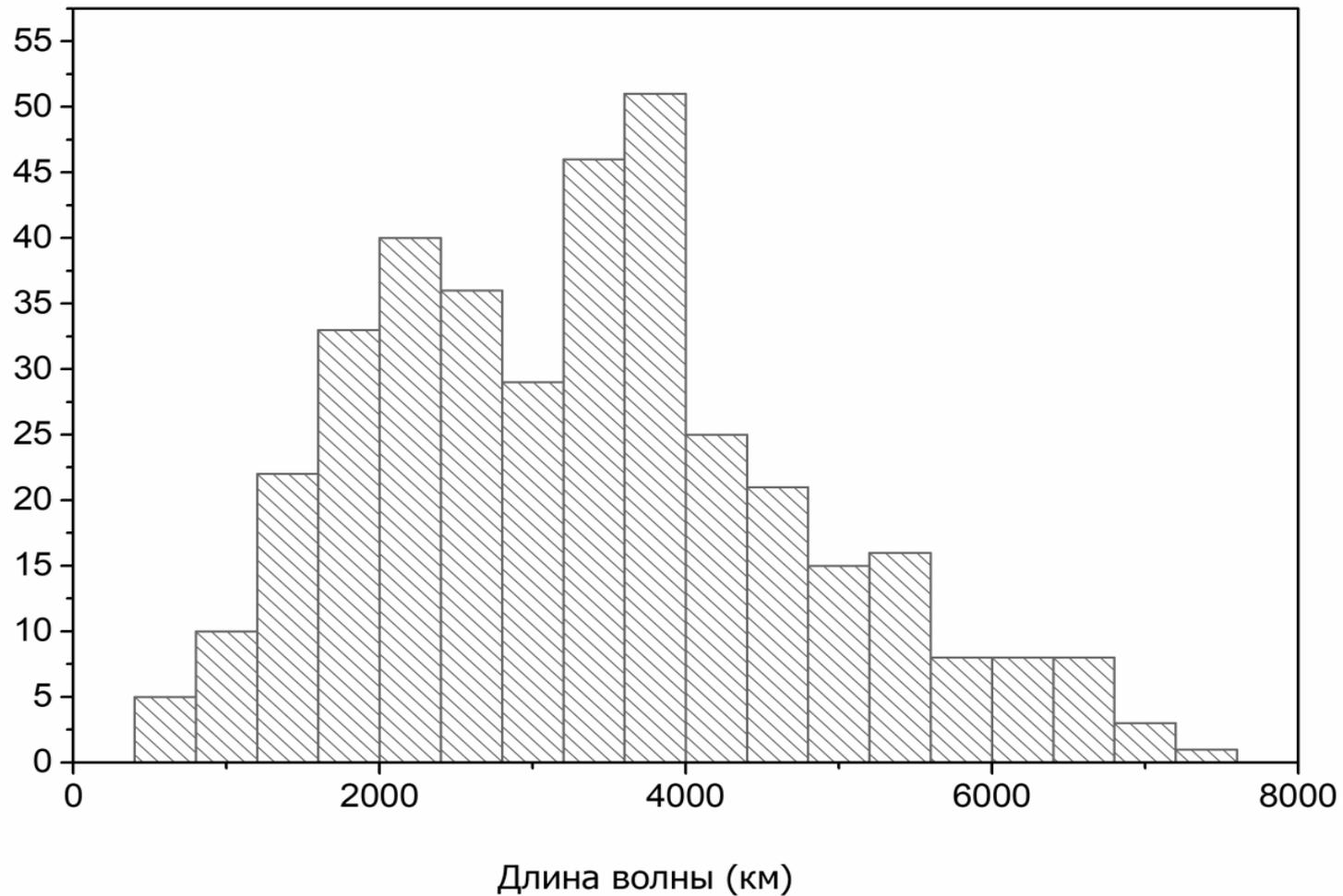
$$\phi = k_x x + k_y y + \phi_0$$

где  $\phi$  - фазовый вейвлет-спектр данной вариации,  $k_x$ ,  $k_y$  – волновые числа в зональном и меридиональном направлении,  $x$  – долгота,  $y$  – широта. Полученные волновые числа позволяют оценить фазовые скорости перемещения волновых возмущений  $C$ , их пространственные размеры

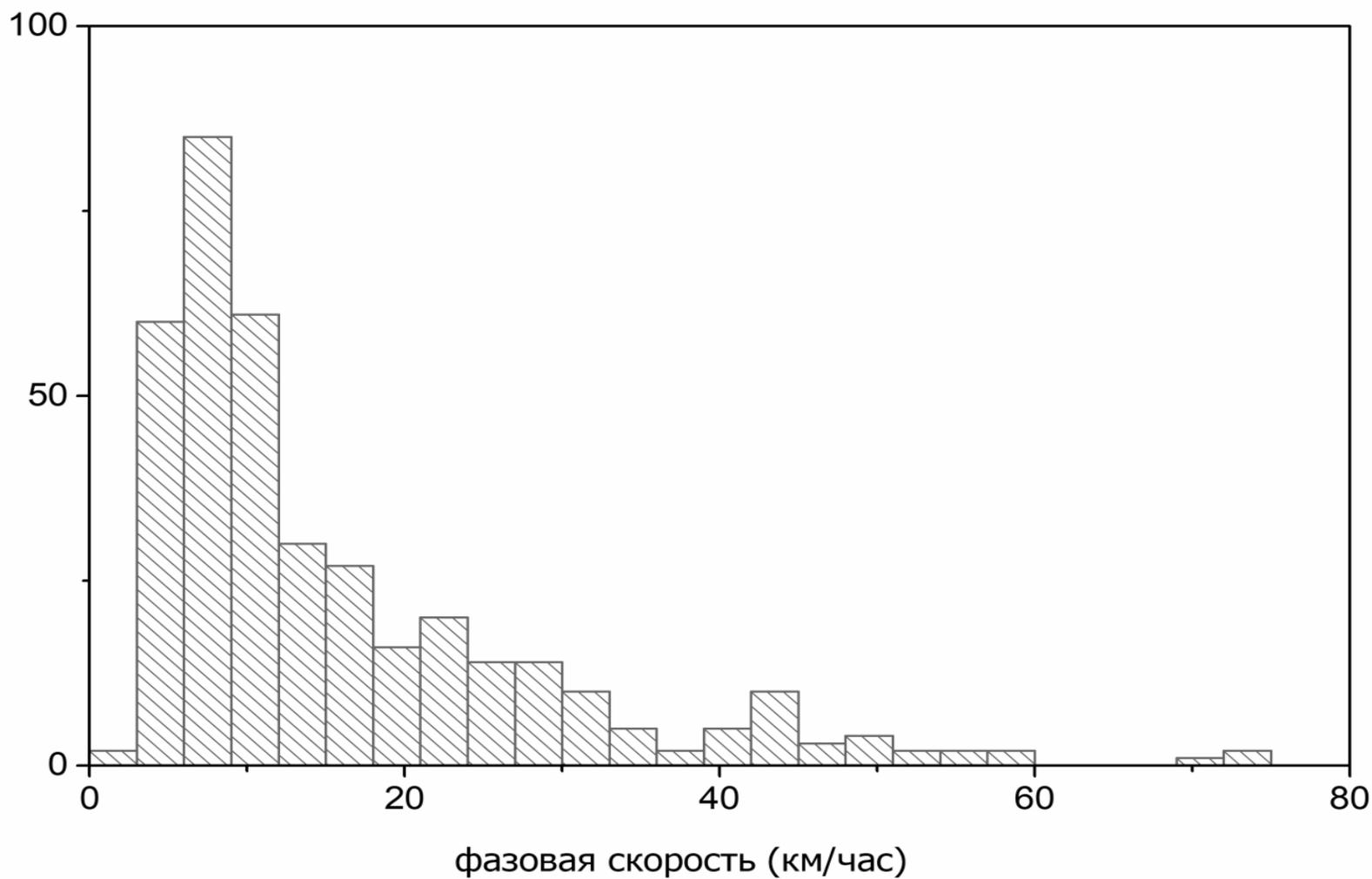
# ***Гистограмма периодов волновых процессов***



# ***Гистограммы горизонтальных пространственных масштабов волновых процессов***



## ***Гистограммы горизонтальных фазовых скоростей волновых процессов***



# Заключение

- В работе показано, что на сети ГНСС станций с помощью анализа фазового вейвлет-спектра возможно выделять квазипериодические синоптические вариации зенитной тропосферной задержки радиоволн, исследовать их временные и горизонтальные масштабы, фазовые скорости..
- По данным зондирования атмосферы за 2013 г. получены эмпирические распределения пространственных параметров когерентных в пространстве возмущений с горизонтальными масштабами до 8000 км при пространственном размере сети 260 на 150 км в зональном и меридиональном направлении соответственно. Наиболее вероятные фазовые скорости этих волн находятся в диапазоне от 3 до 12 км/час. Наиболее вероятные значения длин волн 1600-4400 км.
- В дальнейшем планируется развитие методики, сравнение с другими независимыми экспериментальными данными о волнах синоптического и субсиноптического масштаба в тропосфере, выявление закономерностей их изменчивости.

Работы выполнены за счёт субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.)

**Спасибо за внимание!**