



**Об определении энергетических характеристик атмосферной
турбулентности на разных высотах по данным реанализа**

А.Ю. Шиховцев, П.Г. Ковадло

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Томск 2018

Цель:

Исследование спектральных особенностей перемешивания турбулентных течений в широком диапазоне масштабов и возможностей их использования в оценках мелкомасштабных характеристик по низкочастотным колебаниям.

Задачи:

1. Рассмотреть особенности деформаций энергетического спектра турбулентных течений в широком диапазоне масштабов при различном уровне энергии воздушного потока.
2. Привести оценки средних структурных характеристик по амплитудам низкочастотных колебаний.

• Устойчивость формы энергетических спектров атмосферных турбулентных течений в широком диапазоне пространственных и временных масштабов.

- Энергетические спектры турбулентных течений в широком диапазоне пространственных и временных масштабов **в свободной атмосфере, наличие двух крупномасштабных диапазонов.**

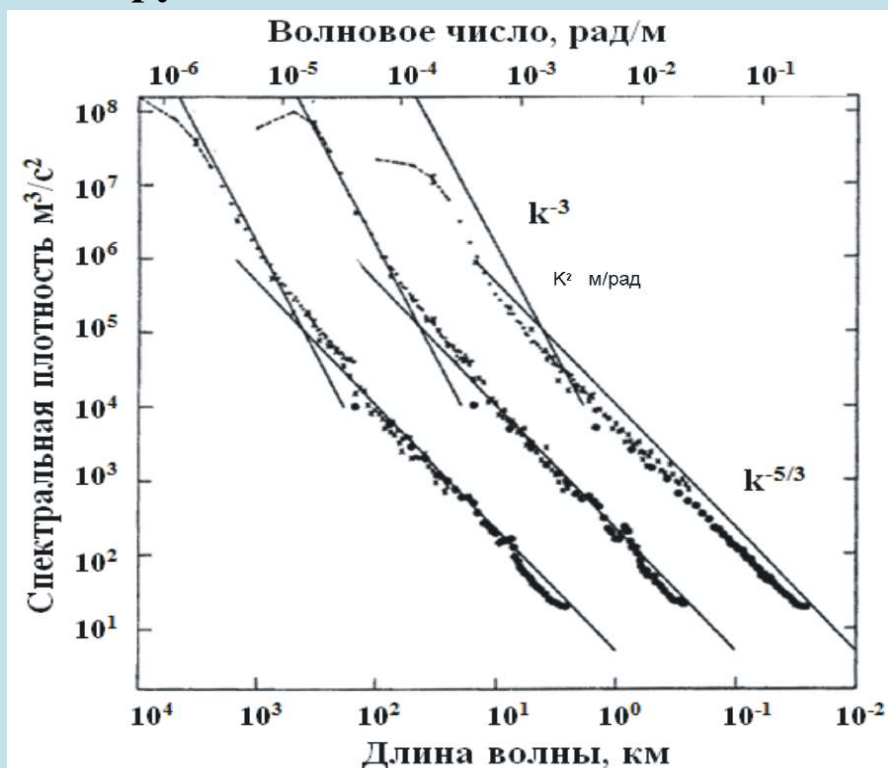


Рис. – Энергетические спектры флуктуаций скорости ветра и температуры воздуха (Nastrom, Gage)

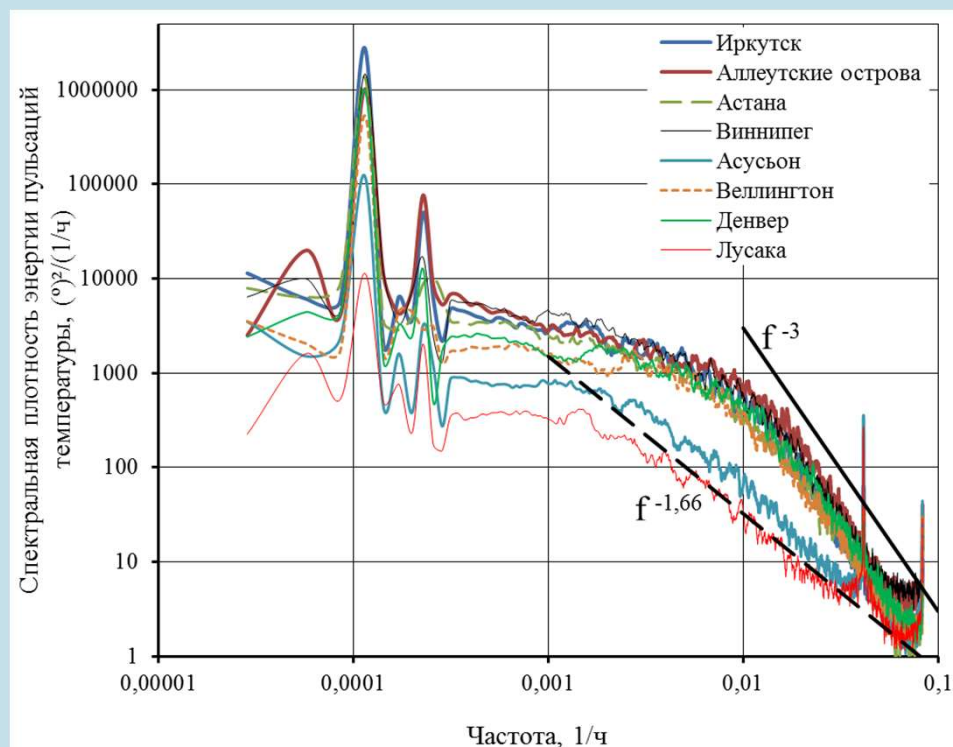


Рис. – Расчетные энергетические спектры флуктуаций температуры для изобарической поверхности 500 гПа (h=5,5 км) с 1984 по 2013 г. NCEP/NCAR

• Энергетический спектр турбулентности «-3» - «-5/3» при усреднении по ансамблю в СА = «фоновый» спектр, носящий **устойчивый характер**

+ Отклонения от приведенных зависимостей в отдельных спектральных интервалах, которые могут наблюдаться при воздействии:

- гравитационных волн,
- флуктуации горизонтальной скорости и температуры приблизительно оказались в 2 – 3 раза выше над неровной подстилающей поверхностью по сравнению с флуктуациями над равнинами и водной поверхностью (10 – 80 км).
- конвективной неустойчивости,
- адаптации неустановившихся движений воздуха в окрестностях струйных течений и фронтальных систем
- сдвигов ветра,

Деформации спектров в АПС по мере приближения к земной поверхности при различном уровне общей (по спектру) энергии в спектре.



- Энергетические спектры флуктуаций скорости ветра в АПС на различных высотных уровнях (синоптический и мезометеорологический диапазоны)

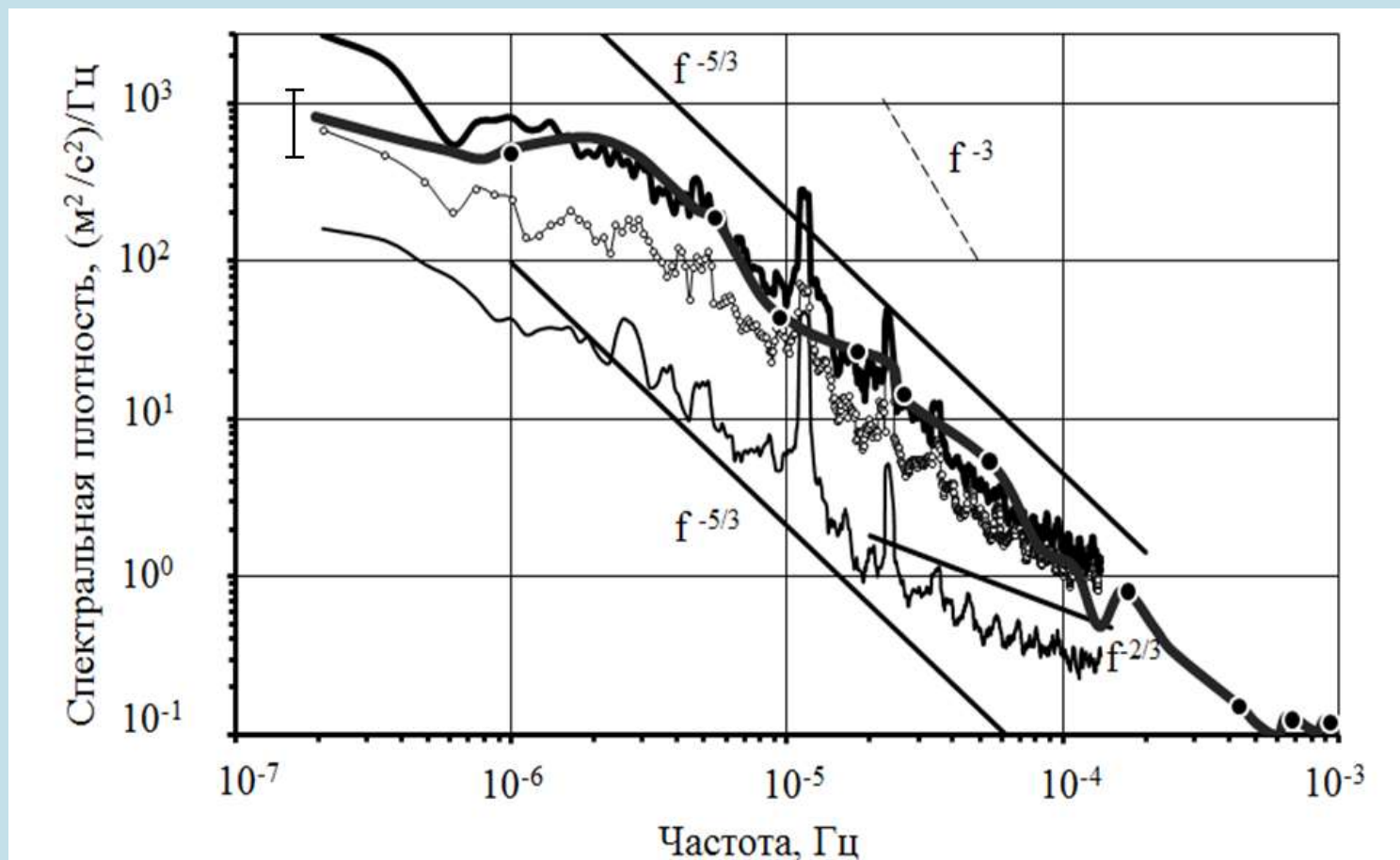


Рис. Расчётные энергетические фоновые спектры флуктуаций скорости ветра для различных высот: 8 м, 121 м, 301 м (по данным высотной метеорологической мачты г. Обнинска, 2008 г.)

Деформации при термической устойчивости

Условия вырождения турбулентности при устойчивой стратификации, оказывающей двойное действие:

Классический подход: **Вырождение турбулентности при $Ri > Ric$,**
- Подавление низкочастотных компонент

Теория Зилитинкевича: Турбулентность не подавляется в условиях сильной устойчивости (при $Ri > 0,25$), режим слабой турбулизации.

Расслоение и генерация энергии интенсивной перемежающейся турбулентности на фоне больших вертикальных сдвигов ветра:

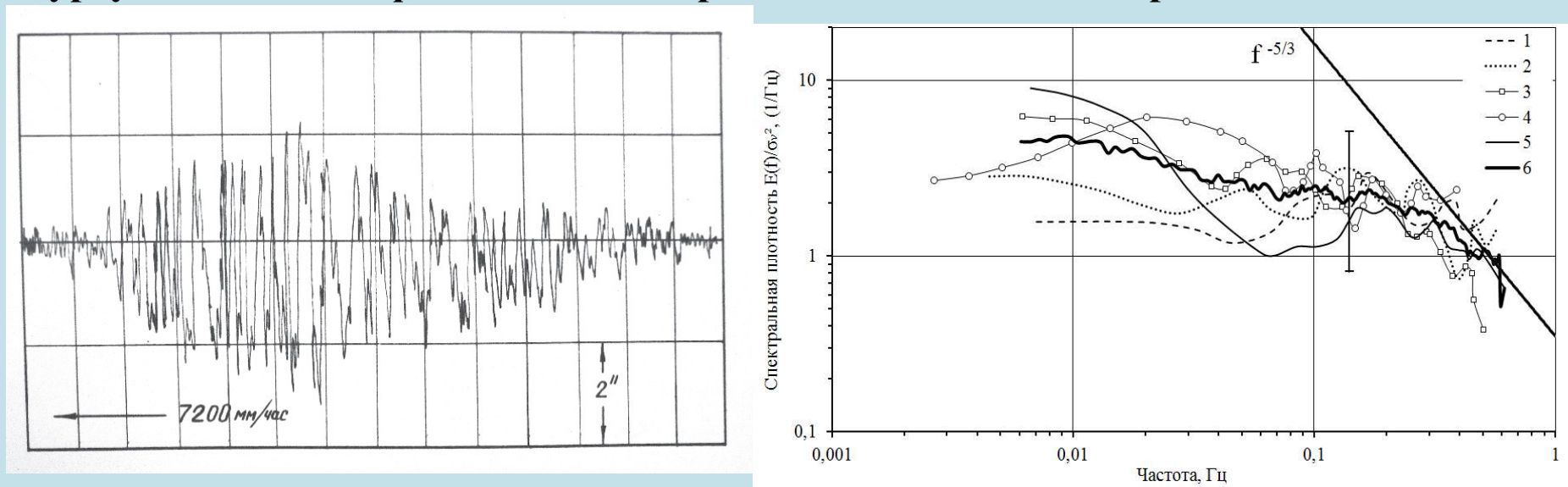


Рис. Фрагмент реализации перемежаемости турбулентности и их спектров в условиях сильно устойчивой стратификации

- • Энергетические спектры атмосферных течений в широком диапазоне масштабов в атмосферном пограничном слое (энергия крупномасштабных компонент фоновых спектров определяет энергию мелкомасштабной турбулентности и величины структурных характеристик)

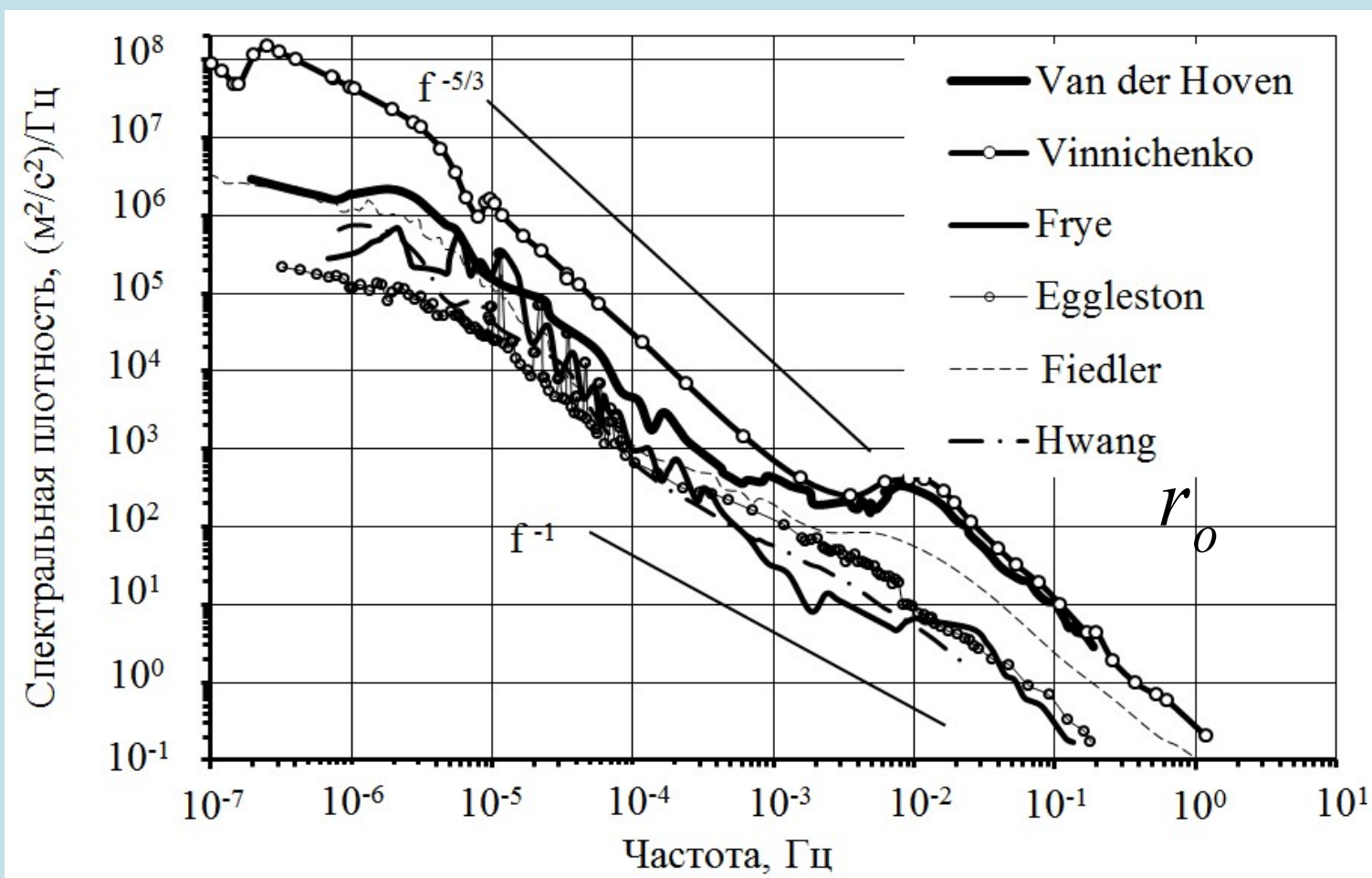
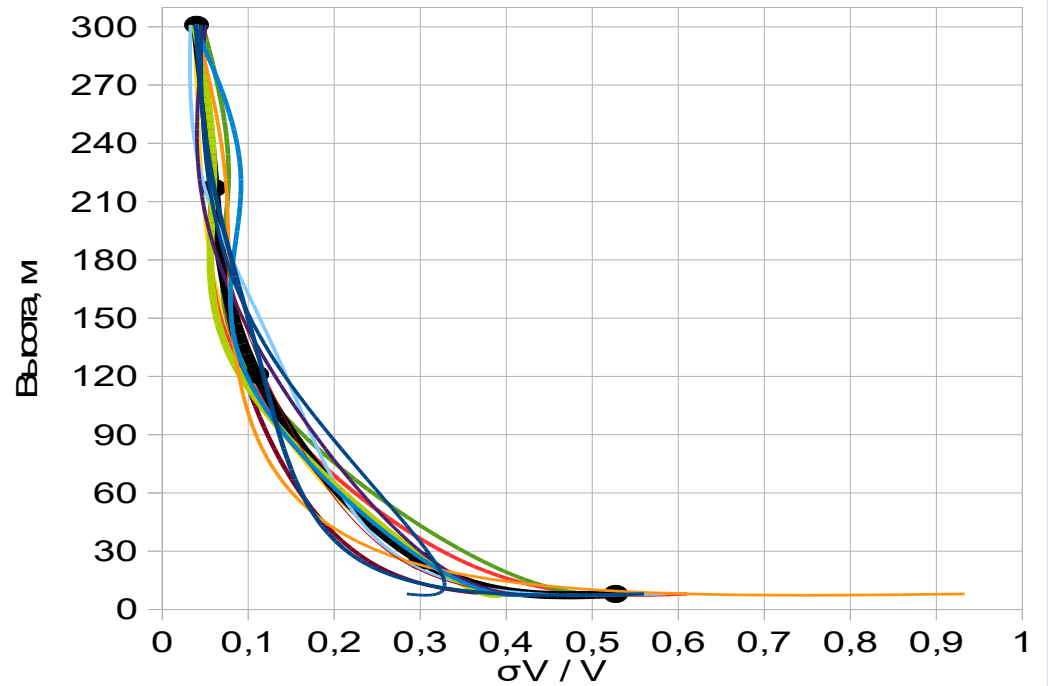
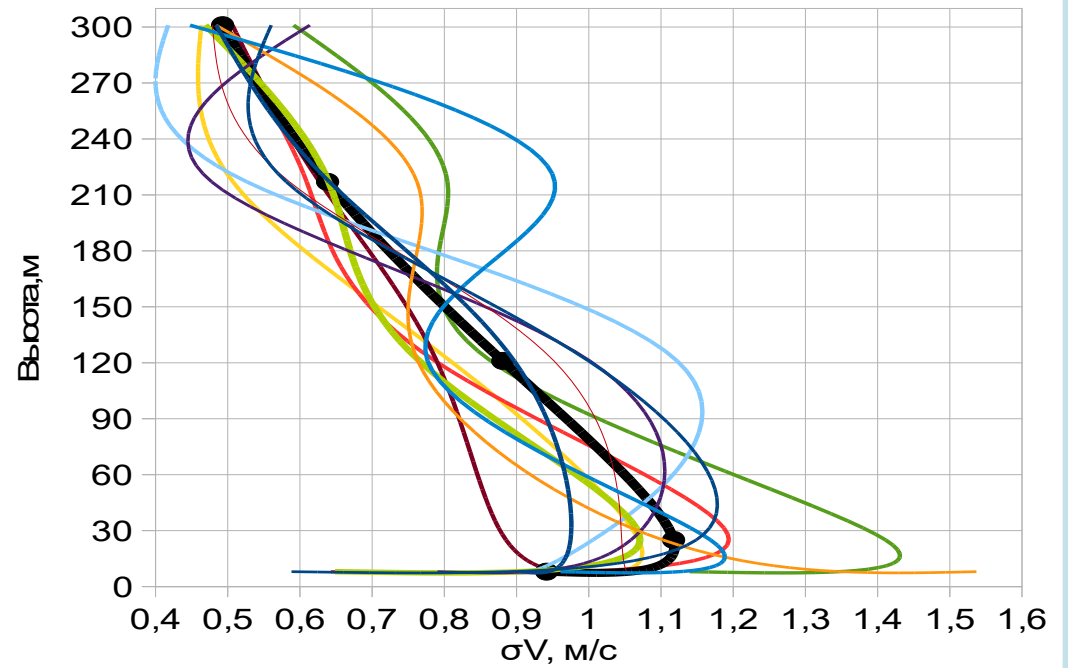
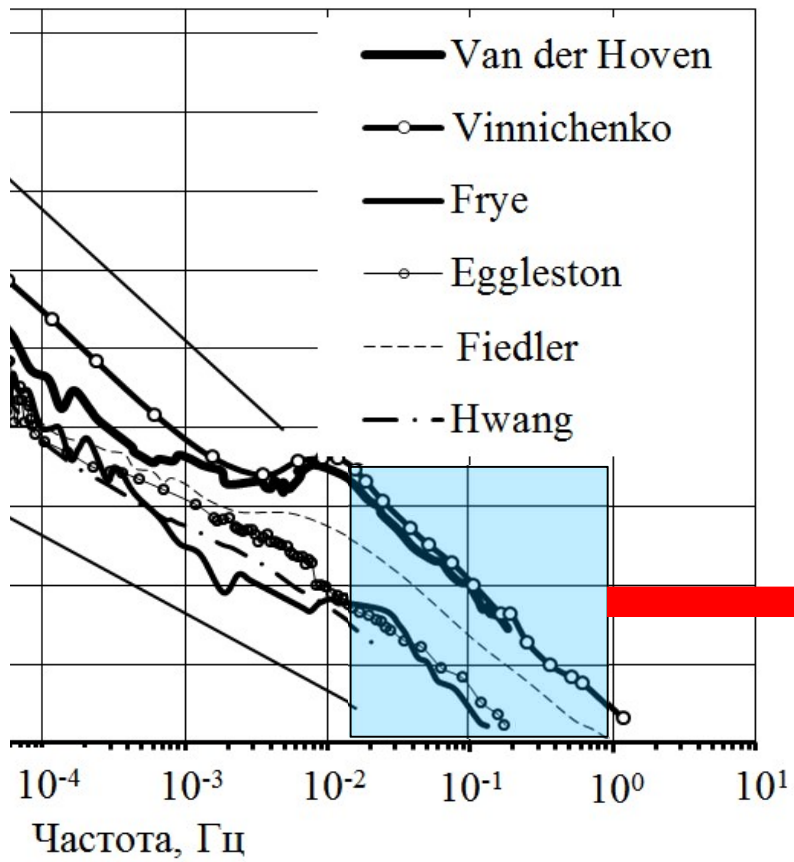


Рис. Энергетические спектры пульсаций скорости ветра



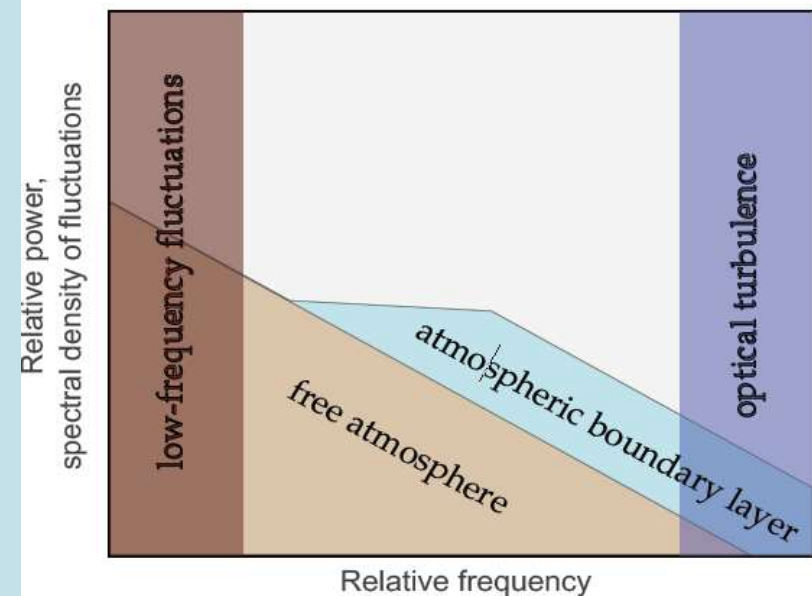
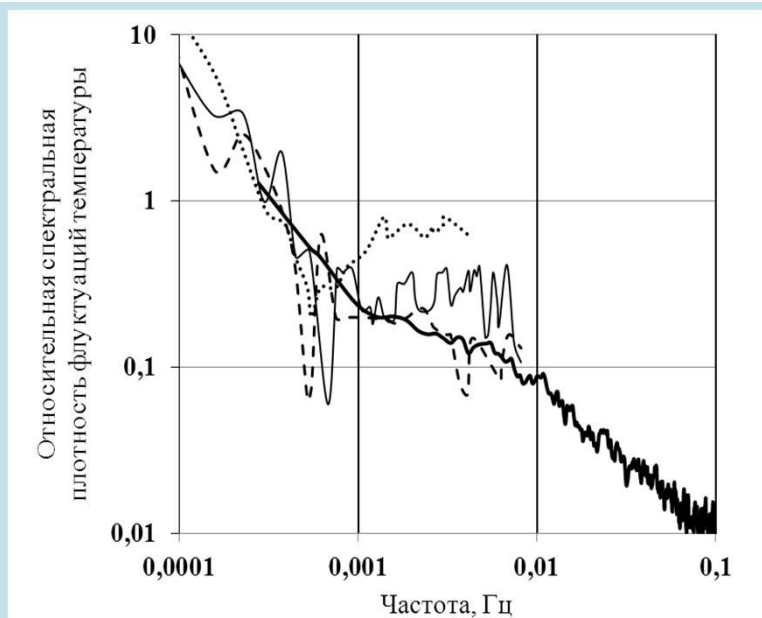
Предполагая, что форма спектральной кривой мало меняется для средних условий и зная характеристики колебаний в произвольной полосе частот можно рассчитывать фоновые спектральные характеристики в любой заданной полосе частот. Аппроксимировать форму спектральной кривой предлагается соотношением:

Турбулентность свободной атмосферы

$$E_l = E_L \exp(\ln(f_l / f_L)^{-3} + \ln(f_l / f_l)^{-5/3})$$

Турбулентность пограничного слоя

$$E_l = E_L \exp(\ln(f_l / f_L)^{-3} + \ln(f_{i2} / f_l)^{-5/3} + \ln(f_{i3} / f_{i2})^{-0,1} + \ln(f_l / f_{i3})^{-5/3})$$



Спектры атмосферной турбулентности

В высокочастотной части спектра турбулентности спектральная плотность энергии пропорциональна частоте в степени минус 5/3:

$$E_l(f) = 0.125 C_T^2 f_l^{-5/3},$$

Рассматривая энергетический спектр атмосферной турбулентности в низкочастотном диапазоне масштабов и высокочастотный диапазон, можно оценить структурную характеристику температуры:

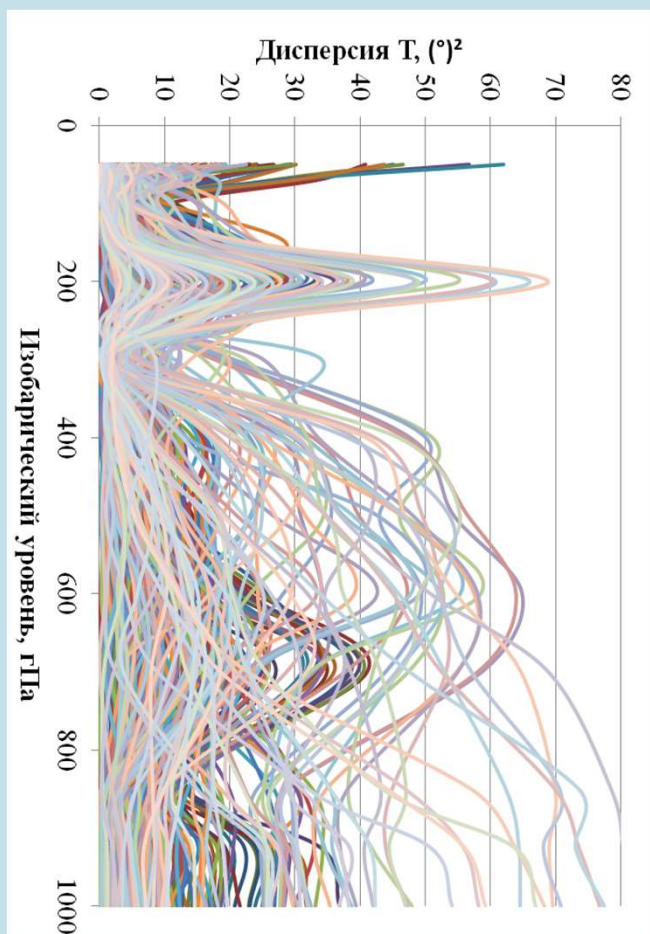
$$C_T^2 = \frac{\sigma_T^2(f_0) \exp(\ln(f_t/f_0)^{-3} + \ln(f_l/f_t)^{-5/3})}{0.125 f_0} f_l^{\frac{5}{3}}$$

Характерные значения дисперсии температуры воздуха, рассчитанные за промежуток времени от 1 до 5 сут на уровне $P = 500$ гПа (5 км) в среднем составляют около 10 $(^\circ)^2$. Имея в виду, что $f_0 = 1.65 \cdot 10^{-6}$ Гц, $f_t = 9.3 \cdot 10^{-6}$ Гц, $f_l = 1$ Гц, оценивая спектральную плотность, C_T^2 примет величину $3.4 \cdot 10^{-4} (^\circ)^2 \text{ м}^{-2/3}$

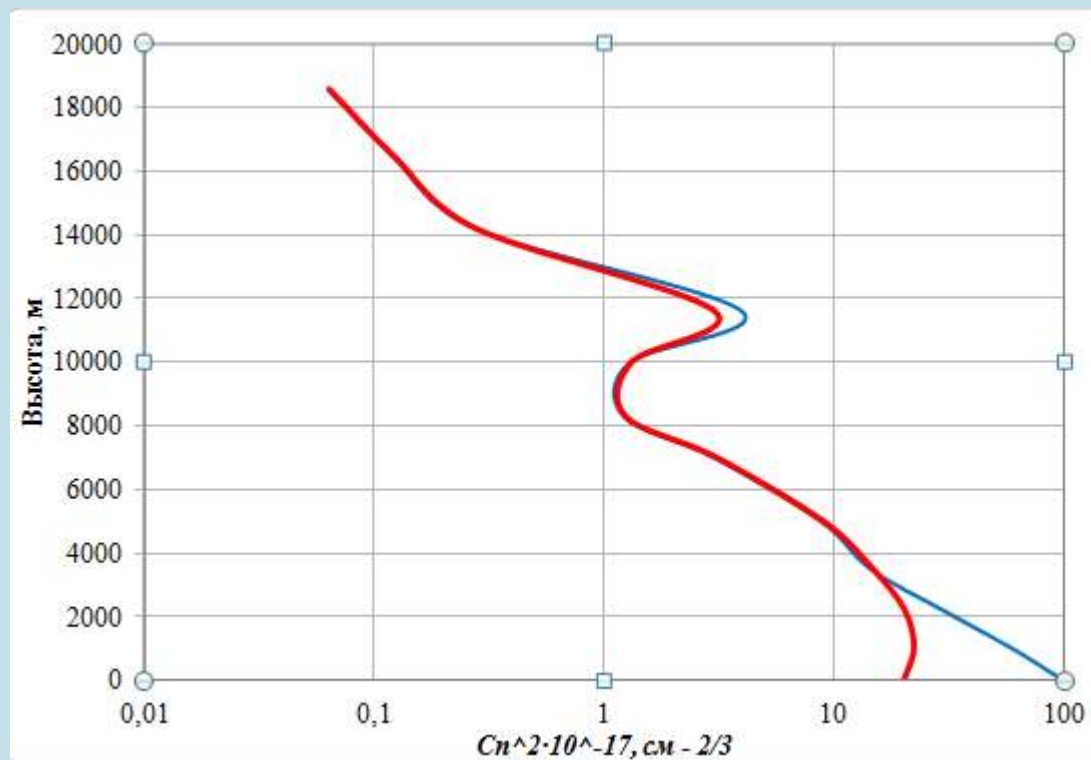
$$C_n^2 = \left(\frac{AP}{T^2} \right)^2 C_T^2$$

$$= 1.45 \cdot 10^{-16} \text{ м}^{-2/3}.$$

В месте расположения БСВТ были выполнены оценки дисперсии T в низкочастотном спектральном диапазоне по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis на 16 стандартных изобарических уровнях в «оптически активной атмосфере»



- Вертикальные распределения низкочастотной дисперсии температуры, БСВТ



- Осредненные вертикальные профили структурной характеристики флуктуаций показателя преломления

Соответствие с результатами оптических измерений дрожания астрономических изображений По радиусу когерентности и углу изопланатизма

Результаты:

1. Показано, что устойчивость фонового энергетического спектра может быть использована для получения оценок средних энергетических характеристик по данным низкочастотных амплитуд флуктуаций. Метод предусматривает возможность подстройки «базовой» формы энергетического спектра под региональные особенности атмосферных течений.
2. На основе спектральных особенностей перемешивания воздуха в широком диапазоне масштабов оценены высотные профили структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха.
3. Полученные профили согласуются по амплитуде и характеру с известными теоретическими представлениями и данными измерений профилей.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ