

Параметры субмезомасштабных движений в устойчивом АПС по данным многоточечных содарных измерений

*Зайцева Д.В.¹, Люлюкин В.С.^{1,2}, Каллистратова М.А.¹, Кузнецов
Д.Д.¹*

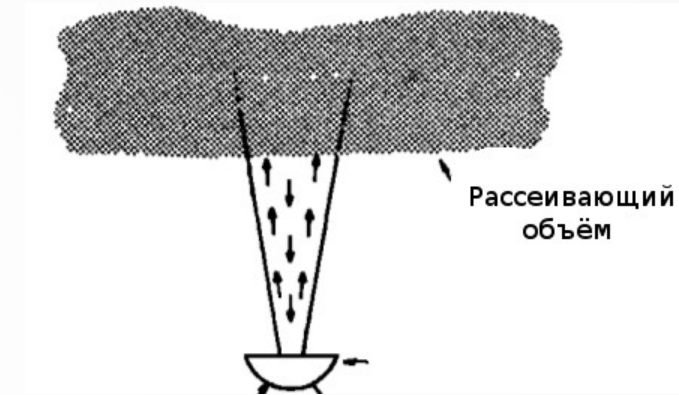
¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

*² Московский государственный технический университет им Н.Э.
Баумана, Москва*

Акустический локатор (сонар)

Принцип работы основан на объёмном рассеянии акустических волн на турбулентных неоднородностях

Измеряемая интенсивность эхо-сигнала – интенсивность температурных флуктуаций с масштабами порядка половины длины волны зондирующего импульса



задержка сигнала t – высота $z = \frac{ct}{2}$

сдвиг частоты Δf – лучевая скорость $V_r = \frac{c \Delta f}{2} f$

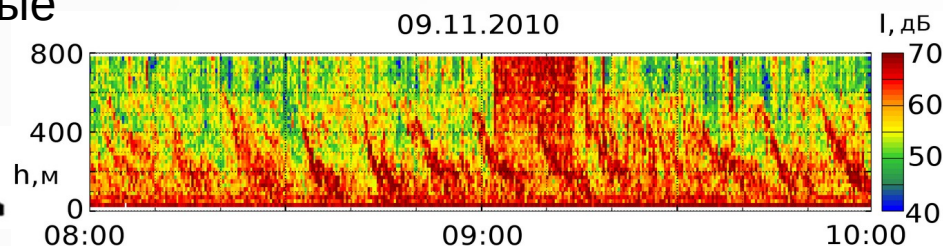
измеряемые величины:

профили эхосигнала $I \propto C_T^2$

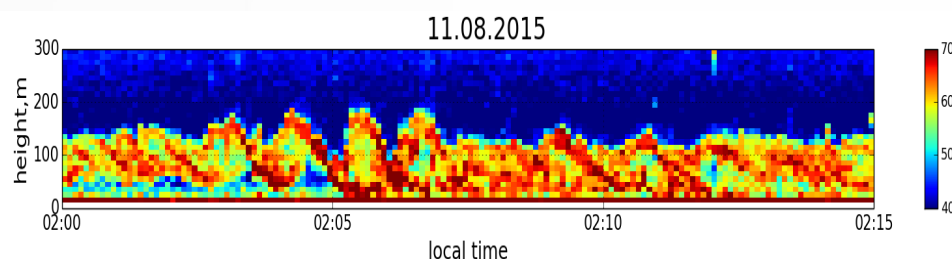
профили компонент ветра V_r

Периодические структуры, регистрируемые на содарных эхограммах

(а) наклонные полосы



(б) кошачьи глаза

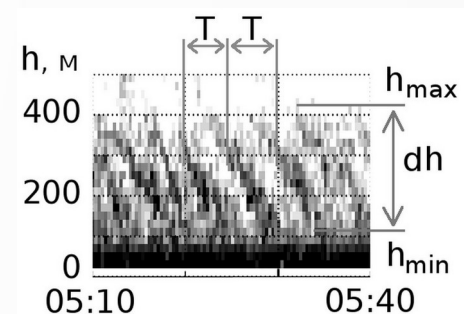


Регистрируются в устойчиво стратифицированном АПС в низкоуровневых струйных течениях

Представленные примеры получены в слабо-неоднородной лесистой местности (Звенигородская станция, Подмосковье) и над ровной степной поверхностью (Цимлянская станция, Ростовская область)

содарные измерения позволяют оценить:

- период T
- высотный размах dh
- вертикальную форму



по многоточечным измерениям возможно охарактеризовать направление движения, оценить изменчивость и пространственную когерентность наблюдаемых структур

Измерения

- Звенигородская научная станция ИФА, Подмосковье (ЗНС)
- Слабо-неоднородная лесистая местность
- 3-антенный доплеровский содар
- Непрерывные измерения
- Шаг по высоте 20 м
- Шаг по времени 20 с
- Цимлянская научная станция ИФА, Ростовская область (ЦНС)
- Однородная степь
- 3-антенный доплеровский содар
- Измерительные кампании ~14 дней
- Шаг по высоте 5-10 м
- Шаг по времени 3-5 с

В 2024, 2025 3 точки:

$L = 200$ м (7 дней)

$L = 400$ м (5 дней)

$L = 300$ м (12 дней)



Частота регистрации

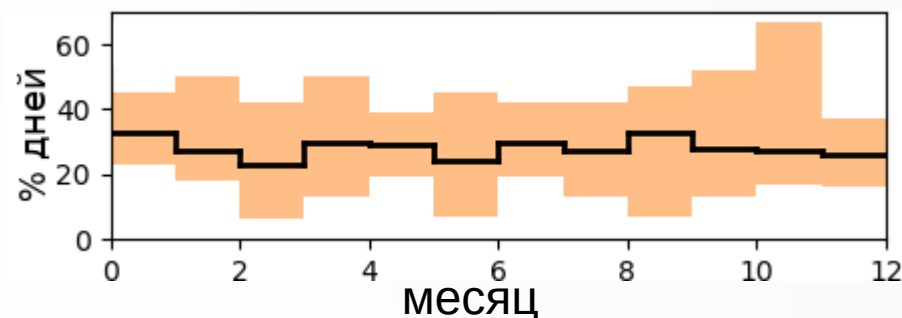
По данным 7.5 лет, Звенигород
Шаг измерений 20 м, 20 с

- Период > 3 мин
- хотя бы 1 эпизод в $\sim 30\%$ ночей
- суммарная длительность $\sim 1-2\%$ времени

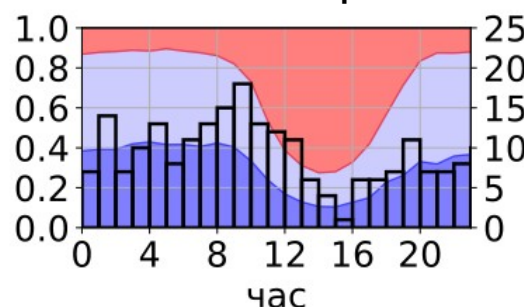
По данным ~ 40 дней, Цимлянск
Шаг измерений 10 м, 5 с; 5 м, 3 с
(повышенное разрешение)

- Период > 1 мин
- Хотя бы 1 эпизод
 - $\sim 50\%$ ночей
 - $\sim 80\%$ ночей при повышенном разрешении
- Суммарная длительность $\sim 8-10\%$ времени

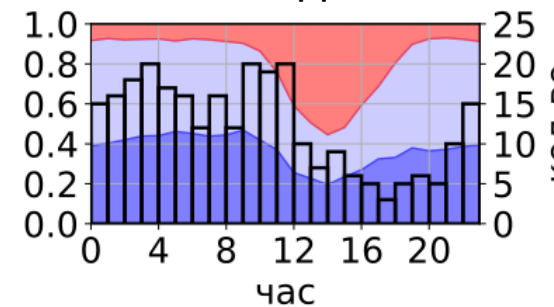
Наклонные полосы



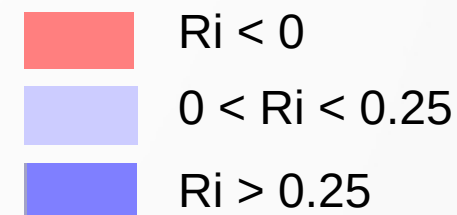
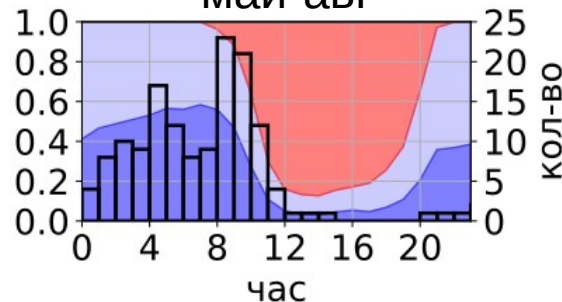
янв-апр



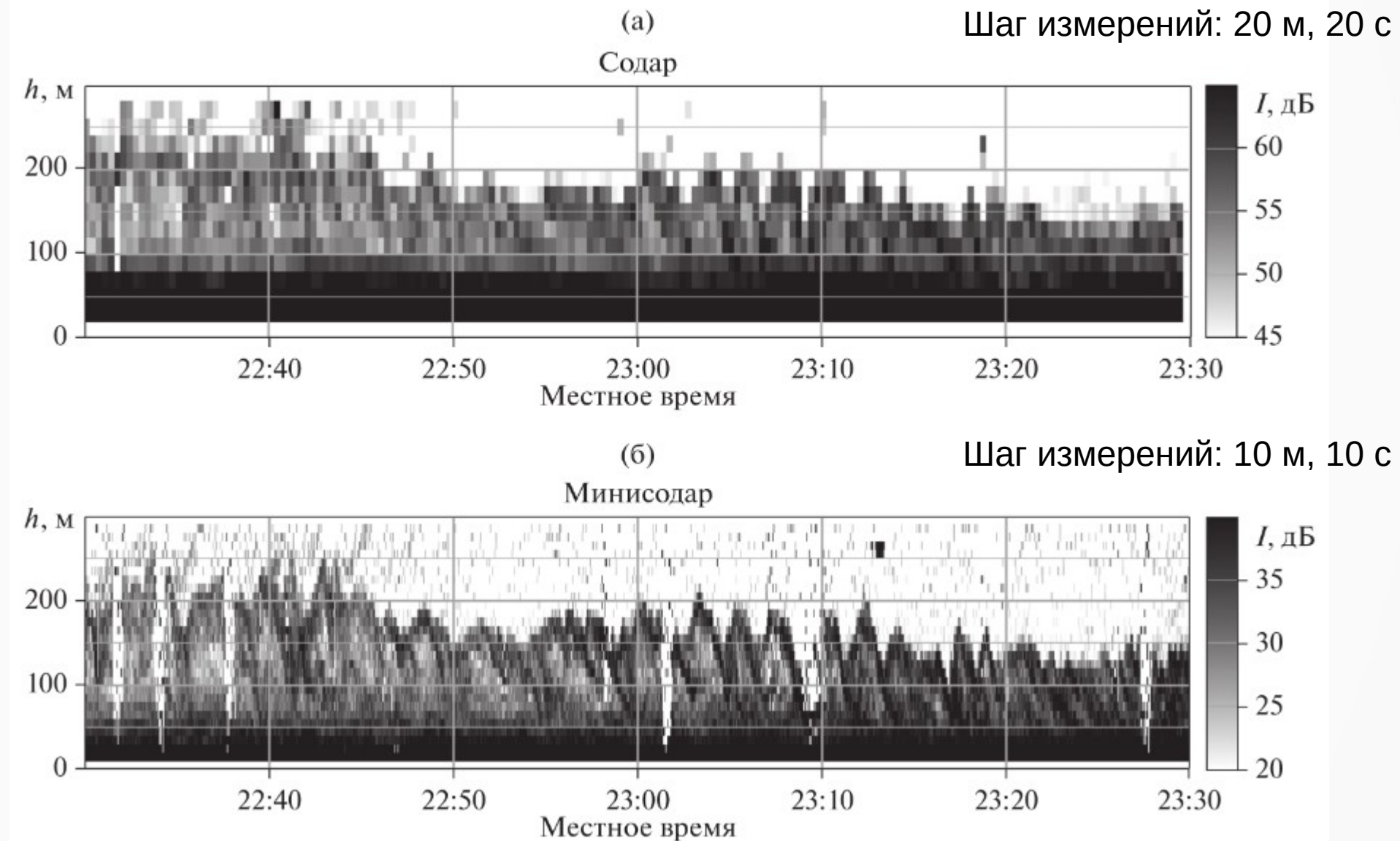
сен-дек



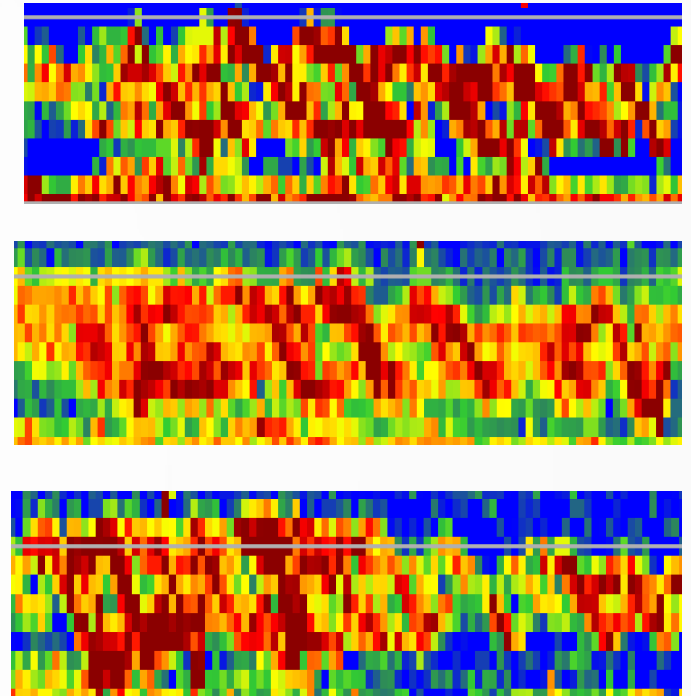
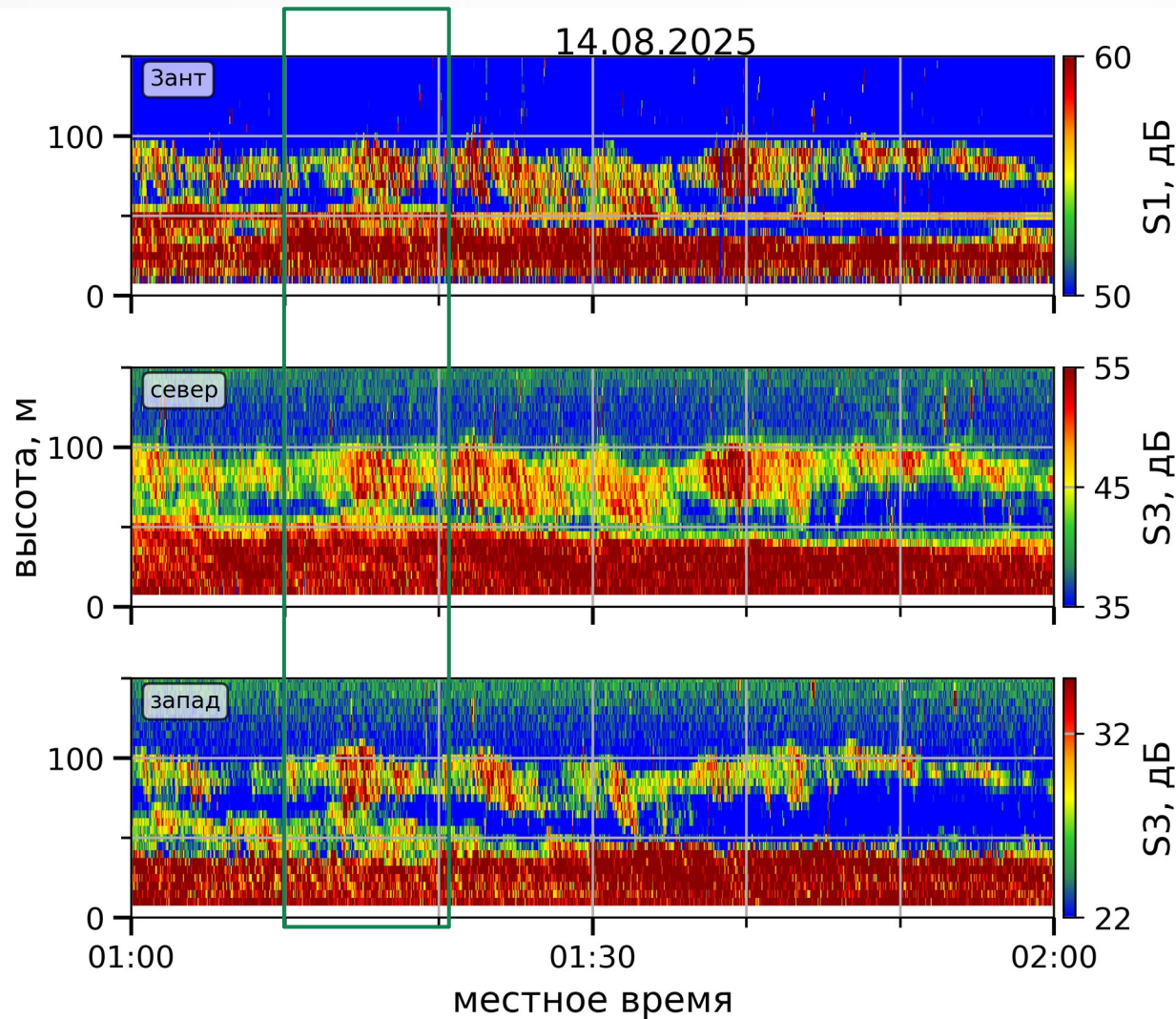
май-авг



Пример синхронных измерений с разным разрешением



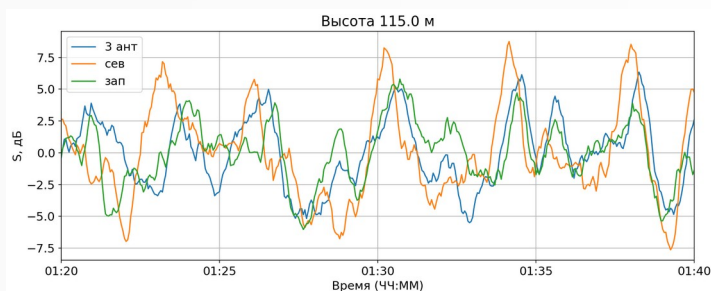
Примеры многоточечных измерений



разнесённость точек измерений $L = 400$ м

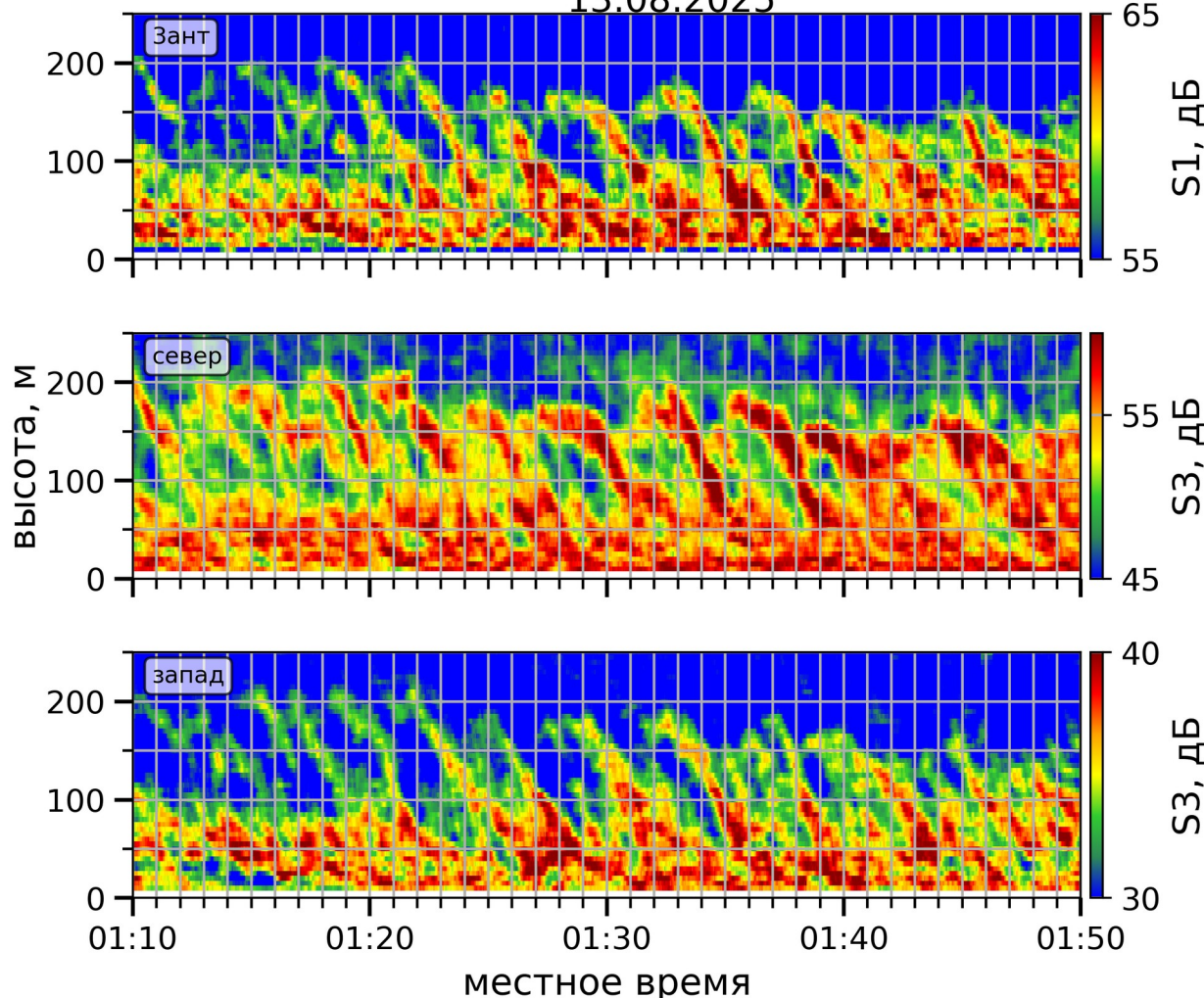
Примеры многоточечных измерений

Наклонные полосы
Период ~ 4 мин

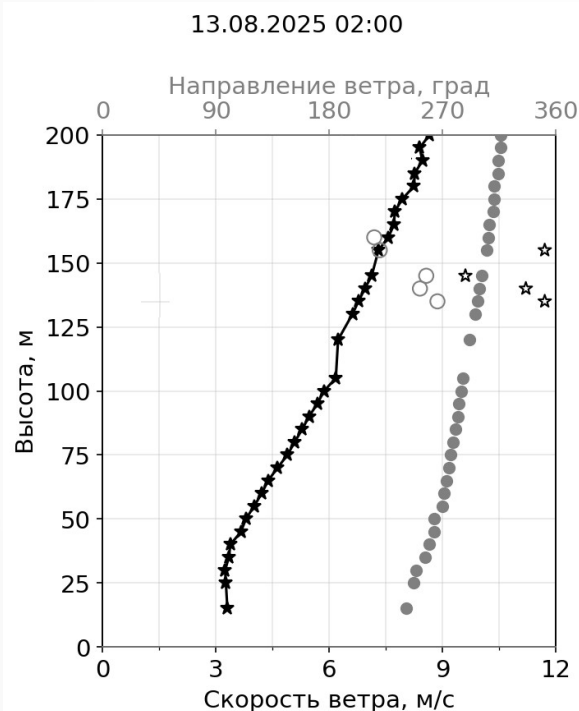


Измерительная сеть L ~ 300 м

13.08.2025



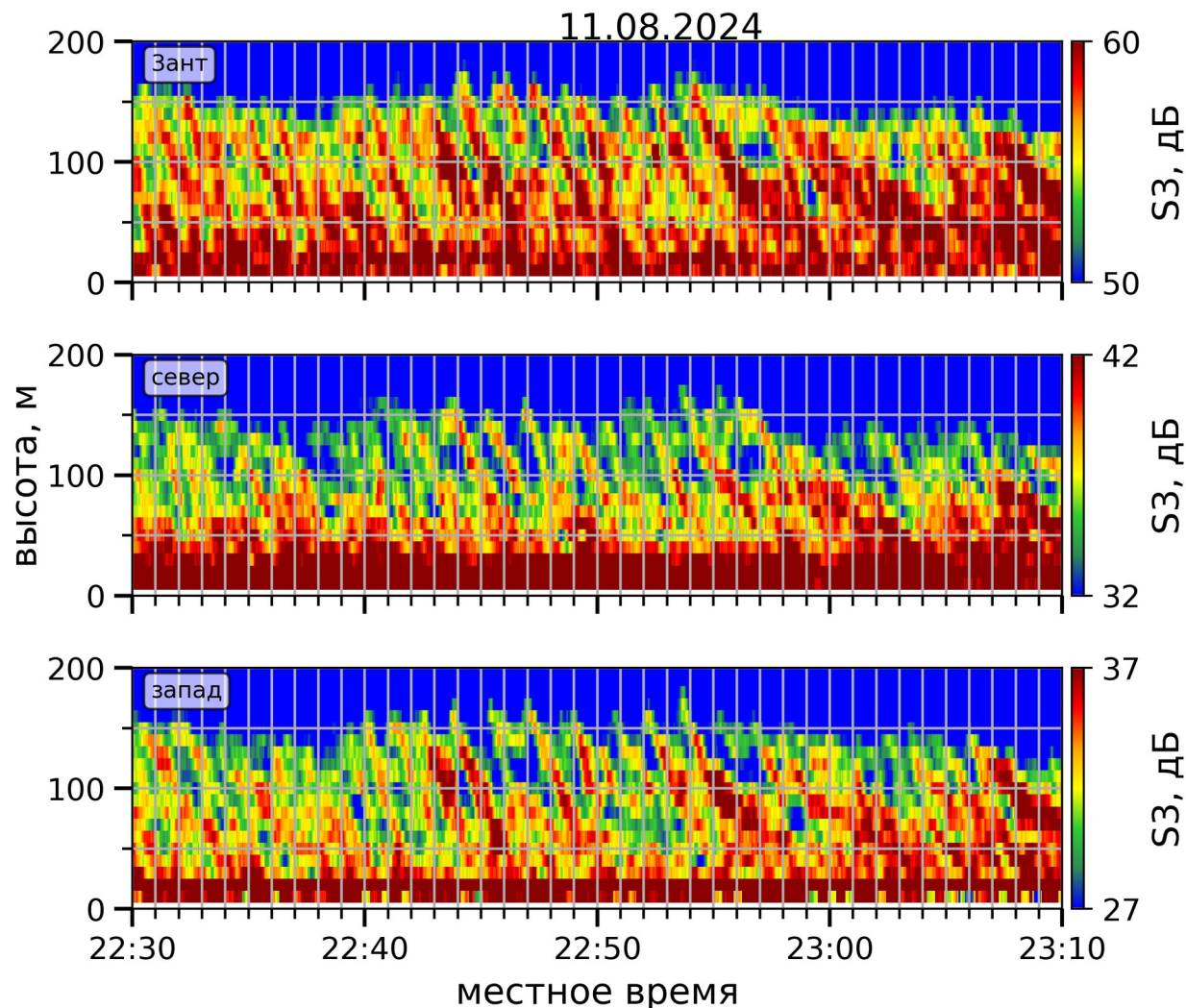
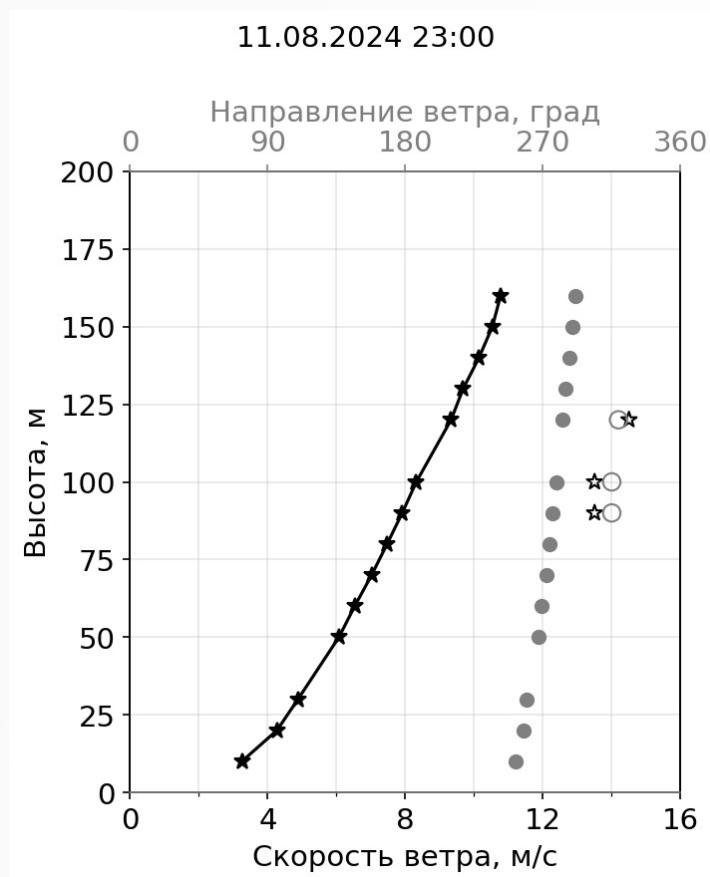
Применено скользящее среднее 30 с



Примеры многоточечных измерений

Наклонные полосы
Период ~ 1 мин

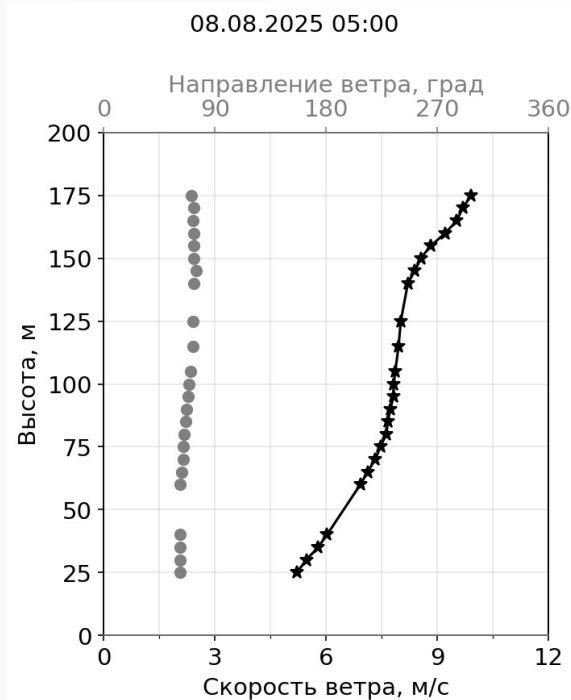
Измерительная сеть L ~ 300 м



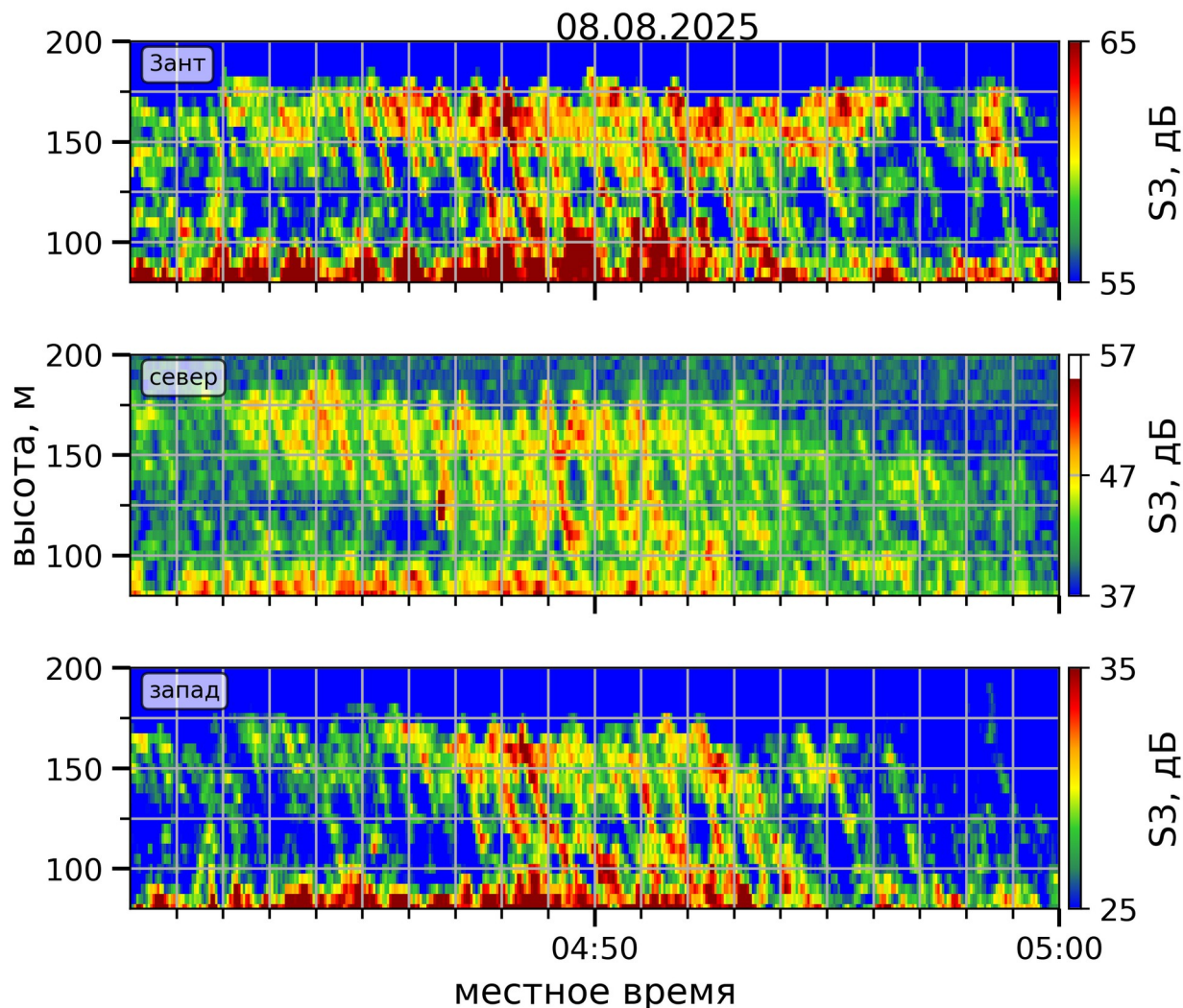
Применено скользящее среднее 15 с

Примеры многоточечных измерений

Наклонные полосы
Кошачьи глаза (на точке север)
Период ~ 1 мин



Измерительная сеть L ~ 300 м



Применено скользящее среднее 15 с

Примеры многоточечных измерений

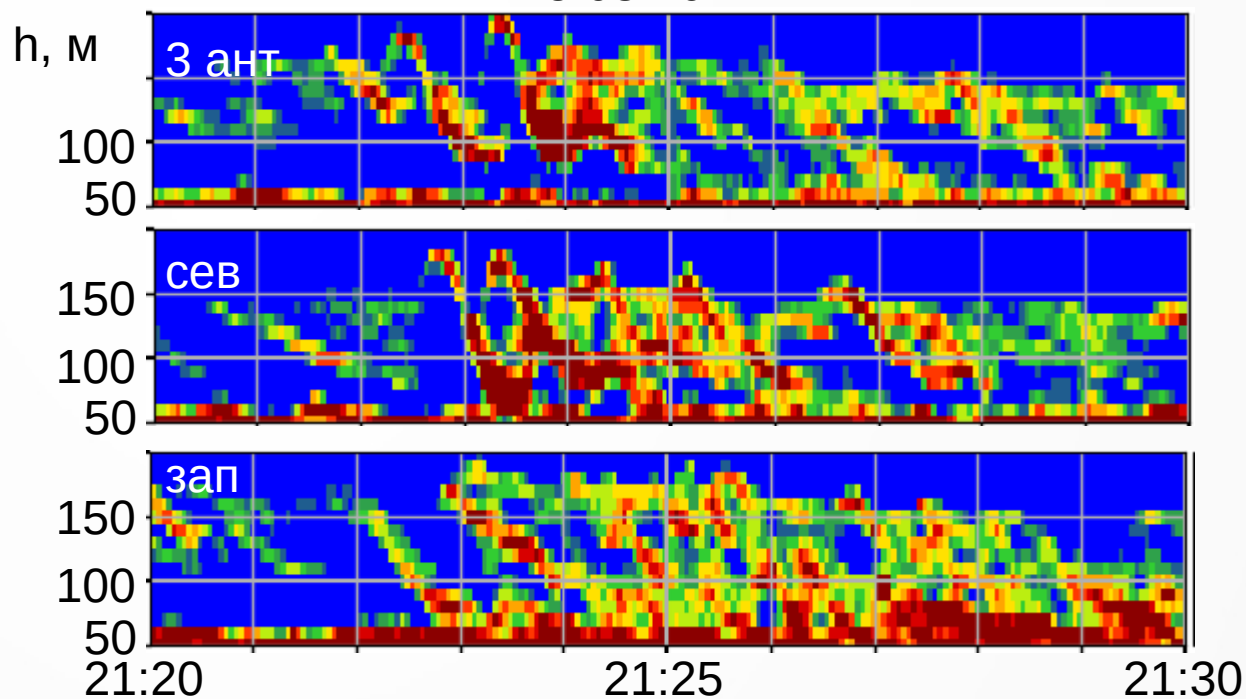
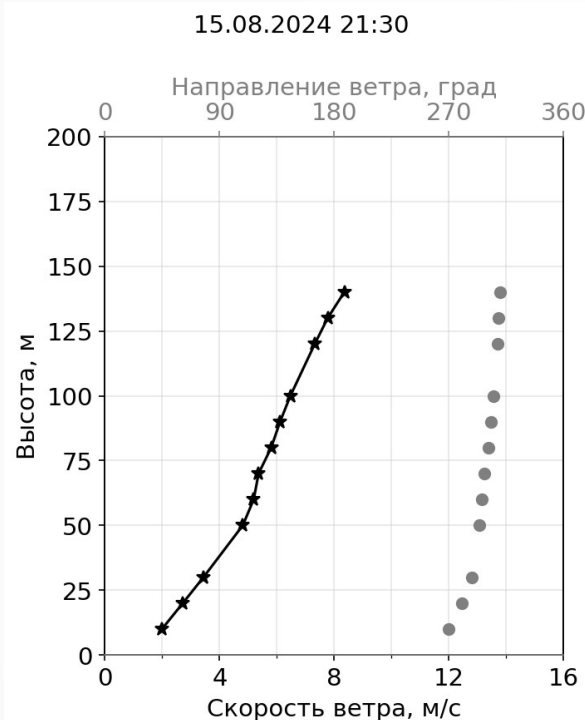
Кошачьи глаза

Наклонные полосы (на точке запад)

Период 0.5-1.5 мин

разнесённость точек измерений $L = 400$ м

15.08.2024



Применено скользящее среднее 12 с

Заключение

- 1) В устойчивом АПС регулярно присутствуют периодические структуры, характерные масштабы которых чаще всего не превышают 5 минут. Установлено, что повышение высотного и временного разрешения измерений позволяет значительно увеличить количество выявляемых структур, в первую очередь за счёт регистрации короткопериодных колебаний (с периодами 1–2 минуты), которые ранее могли оставаться незамеченными.
- 2) многоточечные содарные измерения хорошо подходят для исследования субмезомасштабных когерентных структур в атмосферном пограничном слое, т.к. позволяют получить данные об их свойствах – о временных, вертикальных и горизонтальных масштабах, а также оценивать их временную изменчивость. Однако, интерпретация получаемых данных требует осторожности: необходимо совмещать численные методы оценки параметров с визуальным анализом
- 3) В дальнейшем планируется сопоставить фазовые скорости распространения структур, рассчитанные по содарным данным, с аналогичными оценками по микробарографическим измерениям, а также выполнить обработку дополнительных случаев.