



Российский  
научный фонд

# Влияние приповерхностной турбулентности на вертикальный обмен в верхнем квазиоднородном слое по измерениям на подспутниковом полигоне ФИЦ МГИ

Коржуев Владимир Алексеевич

Морской гидрофизический институт РАН,  
г. Севастополь, 2022

# Актуальность

- описание вертикальной структуры бароклинного океана является сложной и актуальной задачей для современной океанографии;
- сложность учета турбулентных процессов при моделировании верхнего квазиоднородного слоя (ВКС);
- глобальные климатические модели показывают значительные ошибки оценки глубины ВКС;
- существует необходимость создания общепринятой методики оценки влияния турбулентности на перемешивание верхних слоев океана.

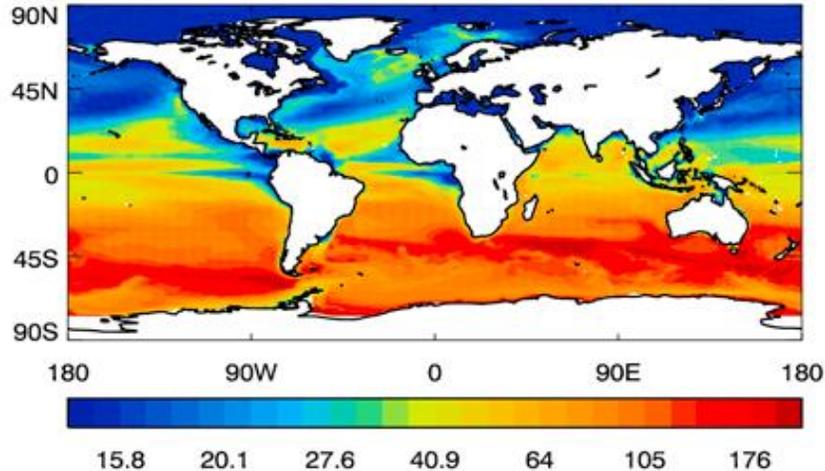
Работа выполнена в рамках государственного задания FNNN-2021-0010 при поддержке гранта РФФ №22-17-00150.

# Актуальность

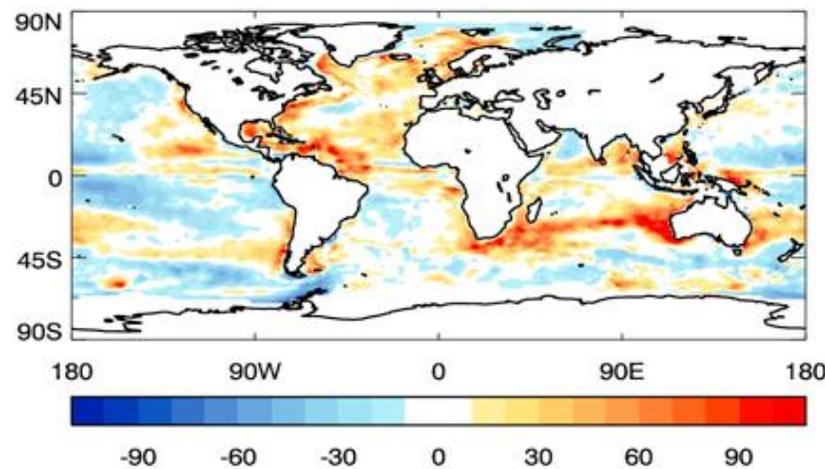
[Belcher, S. E., et al. 2012]

Расхождения данных моделирования глобальной климатической модели *NadGEM3*.

Глубина ВКС: июнь, июль, август

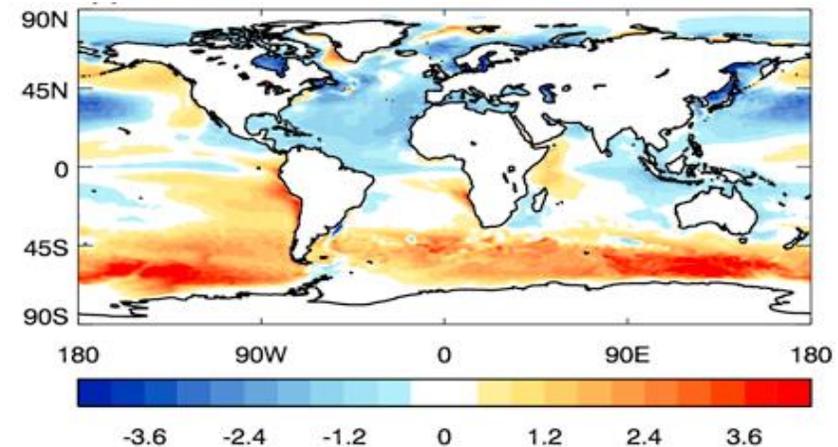


Ошибка глубины ВКС, %



На картах представлены расхождения данных моделирования глобальной климатической модели с данными буёв Argo. Подразумевается, что ошибки возникают по причине не учета турбулентных процессов и ленгмюровского перемешивания.

Ошибка температуры ВКС, °C



# Цели и задачи

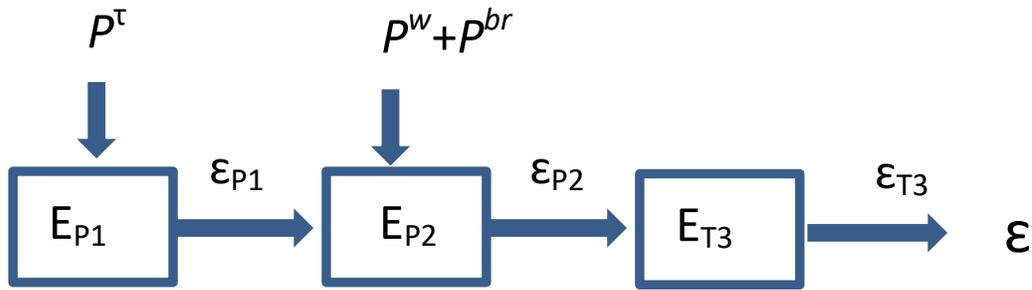
- изучить динамику верхнего квазиоднородного слоя в условиях механического перемешивания;
- оценить вклад турбулентности и теплового обмена океан-атмосфера в заглубление (повышение) верхней границы сезонного термоклина (СТ);
- использовать одномерную модель сезонного термоклина Крауса-Тёрнера совместно с моделью турбулентности для приповерхностного слоя моря;
- провести верификацию модели с использованием натуральных данных.

# Сбор данных

- сбор данных производился на стационарной океанографической платформе в п.г.т. Кацивели;
- параметры волнения регистрировались с помощью струнного волнографа;
- профили температуры регистрировались термопрофилемером;
- составляющие теплового баланса рассчитывались с помощью метеоданных (скорость ветра, влажность, температура) предоставленных сотрудниками отдела океанографии Морского гидрофизического института.



Расположение стационарной океанографической платформы относительно берега



Механизмы генерация турбулентности:

- 1) Сдвиг скорости,  $P^\tau$
- 2) Нелинейность поверхностных волн,  $P^W$
- 3) Обрушение поверхностных волн,  $P^{br}$

$$\left. \begin{aligned}
 P^\tau &= -\frac{u_*^2}{\kappa} \left( \frac{dU}{dz} \right) \\
 P^W &= \sigma_W u_* \frac{d}{dz} E_W \\
 P^{br} &= C_{Br} \frac{u_0^3}{b_0} \left( 1 + C_j \frac{z}{b_0} \right)^{-2.8}
 \end{aligned} \right\} \rightarrow G = \frac{1}{g\alpha} \int_0^h [P^\tau(z) + P^W(z) + qP^{br}(z)]$$

## Используемые измерительные комплексы



# Одномерная модель сезонного термоклина Крауса-Тёрнера

Задача сводится к определению параметра  $h$  – положению верхней границы сезонного термоклина

$T_s$	Температура поверхности
$T_h$	Температура на измеряемом горизонте
$h$	Глубина перемешанного слоя
$S$	Приток тепла в слой
$B$	Потери энергии
$\beta$	Масштабный коэффициент
$G$	Механическая энергия ветра
$\Lambda$	Единичная функция Хевисайда

$$\begin{cases} \frac{dT_s}{dt} = \frac{2}{h^2} \left[ (S + B)h - \left( G + \frac{S}{\beta} \right) \right] \\ \Lambda \frac{dh}{dt} = \frac{1}{(T_s - T_h)h} \left[ 2 \left( G + \frac{S}{\beta} \right) - (S + B)h \right] \end{cases}$$

$$\Lambda \equiv \Lambda \left( \frac{dh}{dt} \right) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \text{для} \quad \frac{dh}{dt} \geq 0$$

$$G = \frac{1}{g\alpha} \int_0^h [P^\tau(z) + P^W(z) + qP^{br}(z)]$$

# Тепловой баланс

Проникающий компонент солнечной радиации  $S$  считается основным источником притока тепла в слой:

$$S = q_{rad}$$

Потери тепла в результате взаимодействия с атмосферой  $B$  определяются выражением:

$$B = q_{eff} + q_{vap} + q_{turb}$$

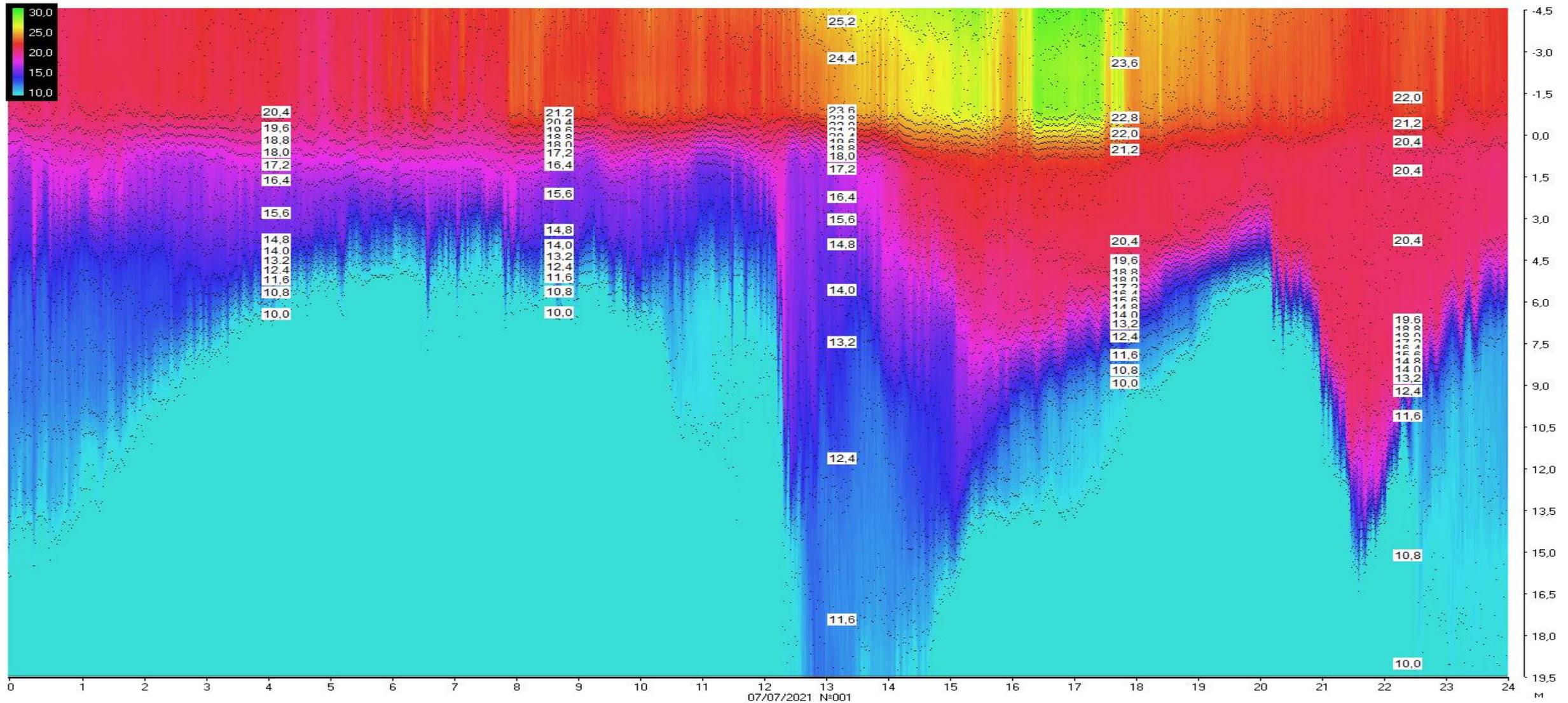
- $q_{eff}$  – эффективное излучение поверхности моря;
- $q_{vap}$  – потери тепла за счет испарения;
- $q_{turb}$  – контактный турбулентный теплообмен с атмосферой.

# Анализ данных

Проанализированы данные термопрофилемера за 4 месяца измерений.

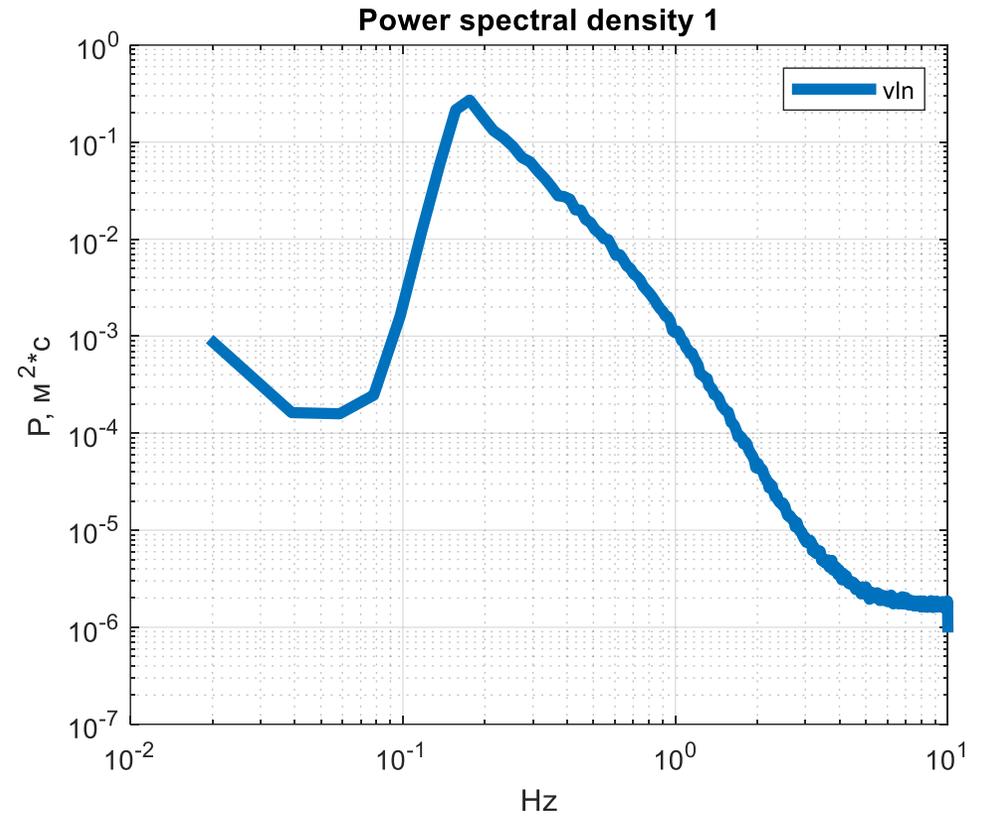
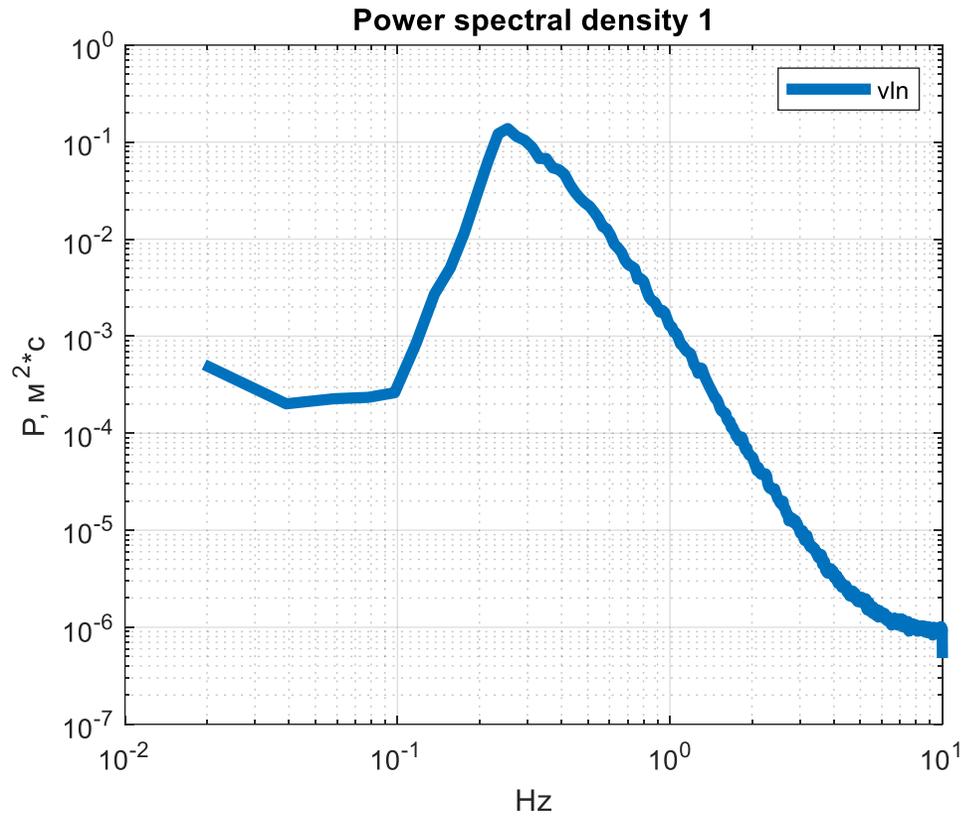
[Гайский П.В.]

Пример профиля температуры:



# Анализ данных

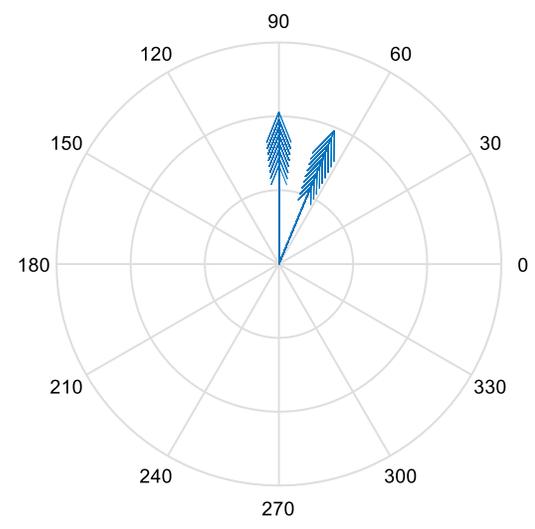
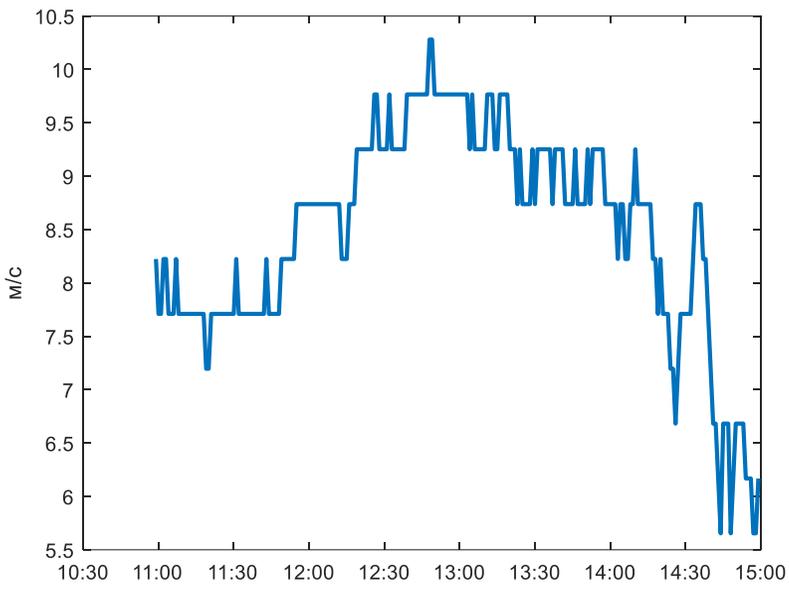
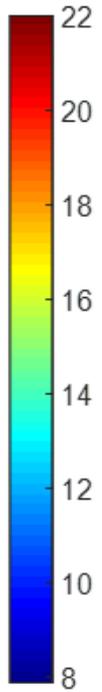
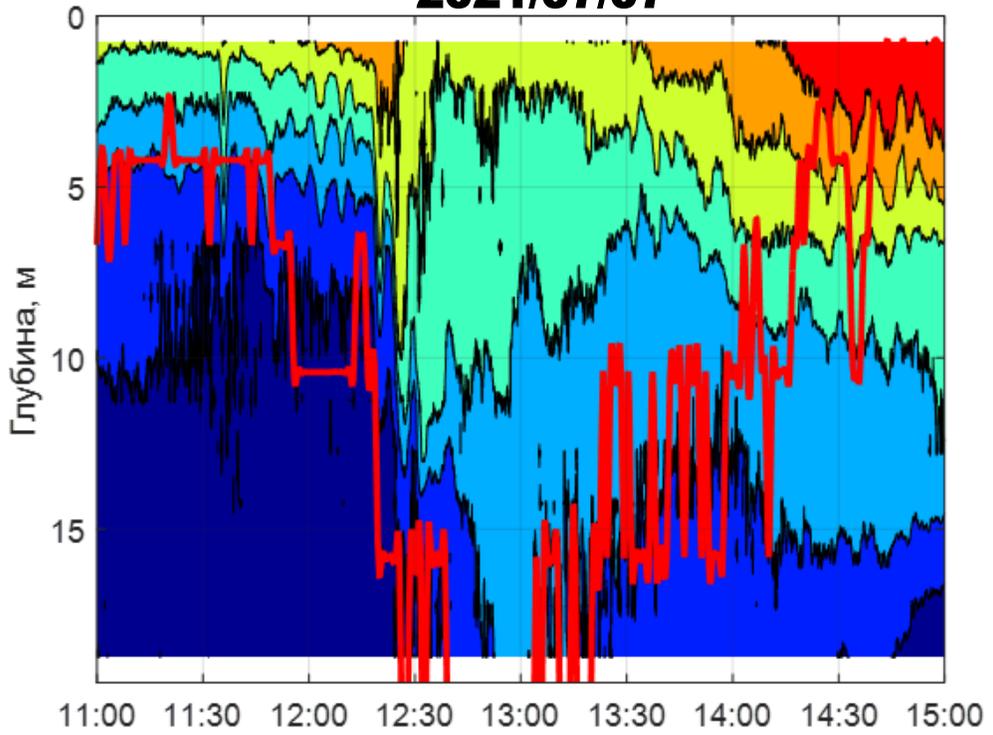
Механическая энергия волнения оценивается с помощью энергетического спектра волнения, он представляется монохромным относительно частоты спектрального пика.



Примеры полученных энергетических спектров

# Сопоставление модельных и экспериментальных данных

2021/07/07



Скорость ветра и роза ветров, соответствующие периоду измерений

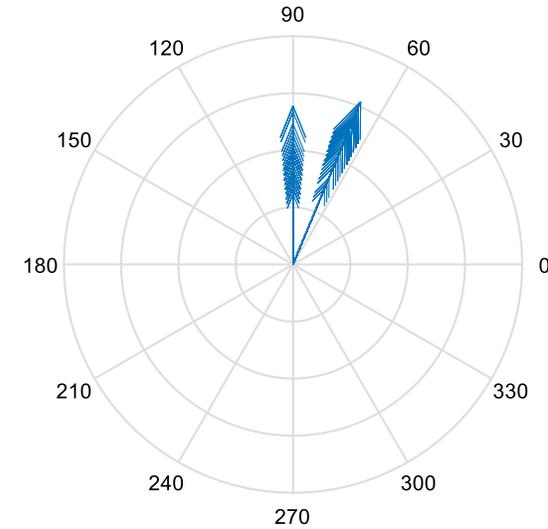
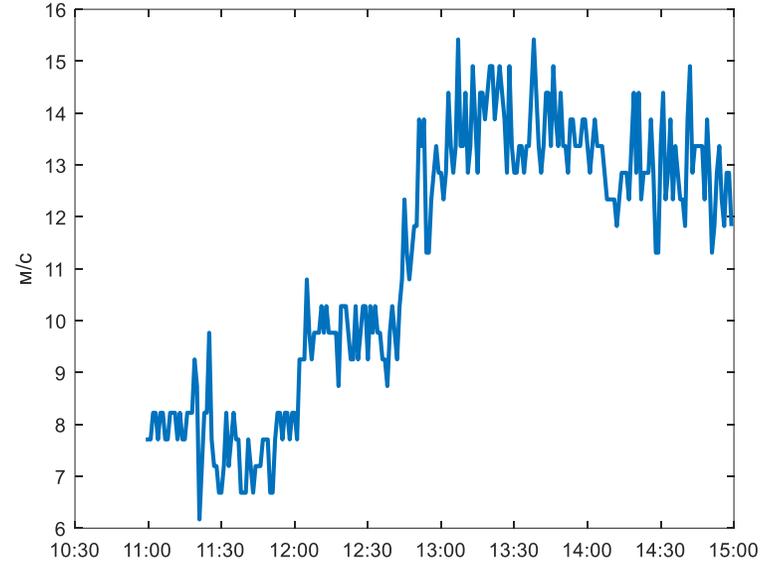
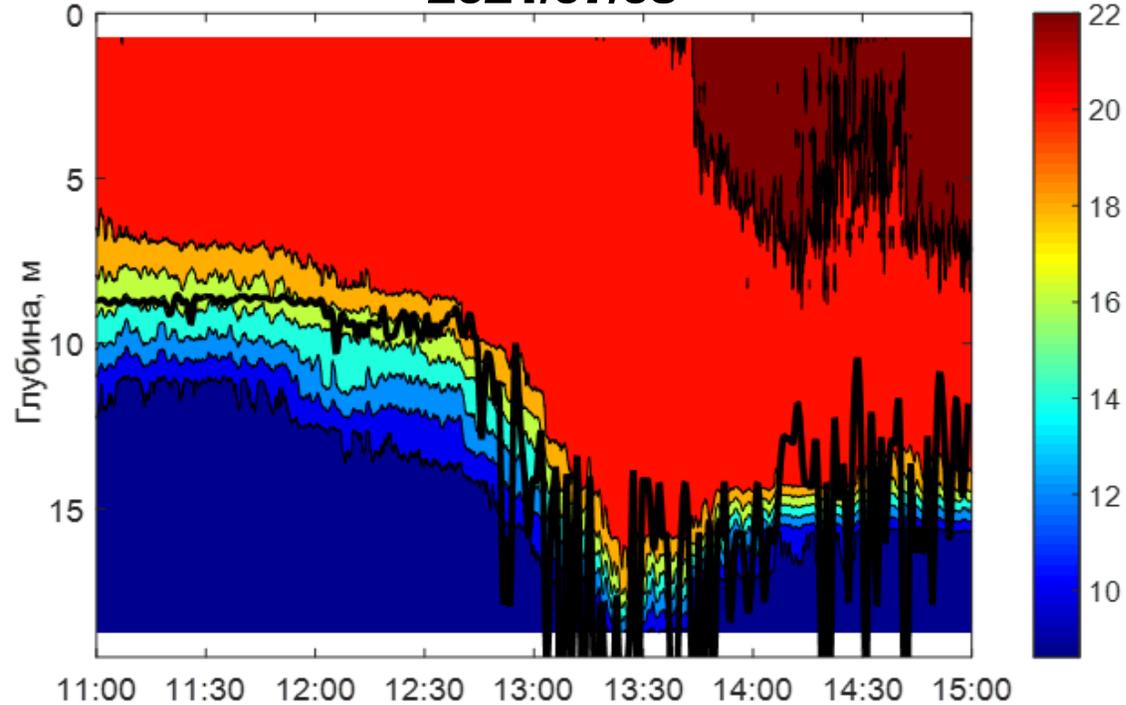
Красная линия – модельная кривая, соответствующая положению верхней границы сезонного термоклина.

Коэффициент корреляции	0.7
Коэффициент детерминации	0.49

Средняя скорость ветра	8.5 м/с
------------------------	---------

# Сопоставление модельных и экспериментальных данных

2021/07/08



Скорость ветра и роза ветров, соответствующие периоду измерений

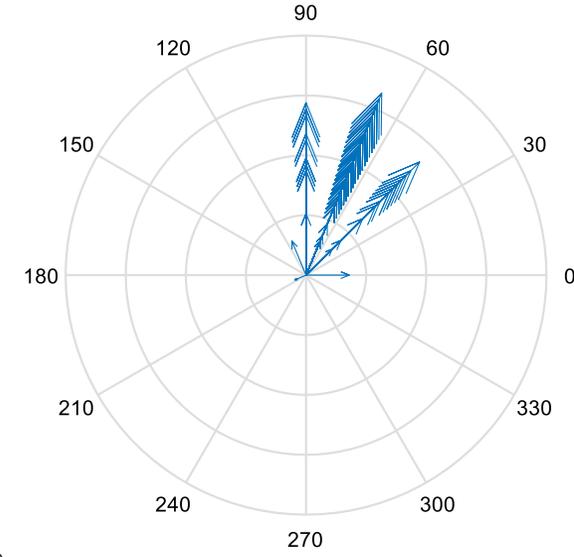
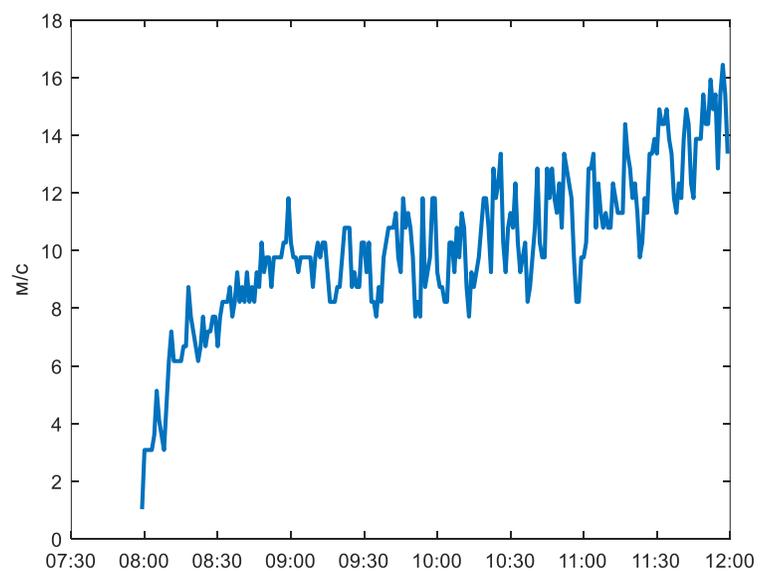
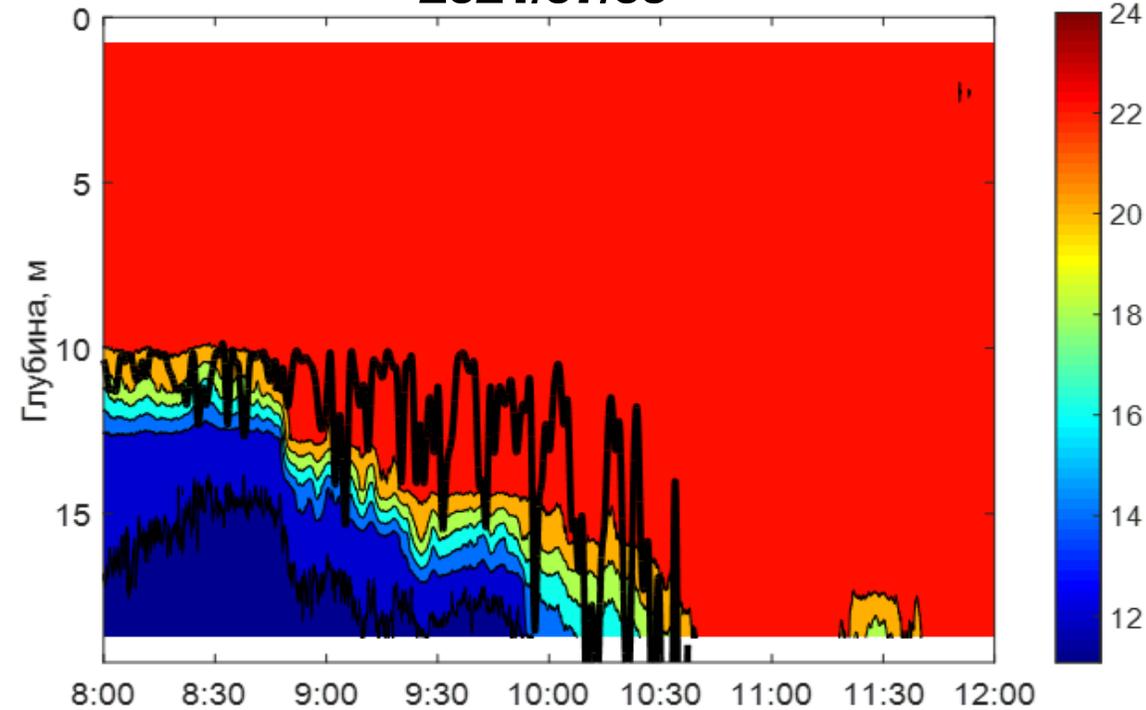
Черная линия – модельная кривая, соответствующая положению верхней границы сезонного термоклина.

Коэффициент корреляции	0.94
Коэффициент детерминации	0.89

Средняя скорость ветра	11.1 м/с
------------------------	----------

# Сопоставление модельных и экспериментальных данных

2021/07/09



Скорость ветра и роза ветров, соответствующие периоду измерений

Черная линия – модельная кривая, соответствующая положению верхней границы сезонного термоклина.

Коэффициент корреляции	0.71
Коэффициент детерминации	0.5

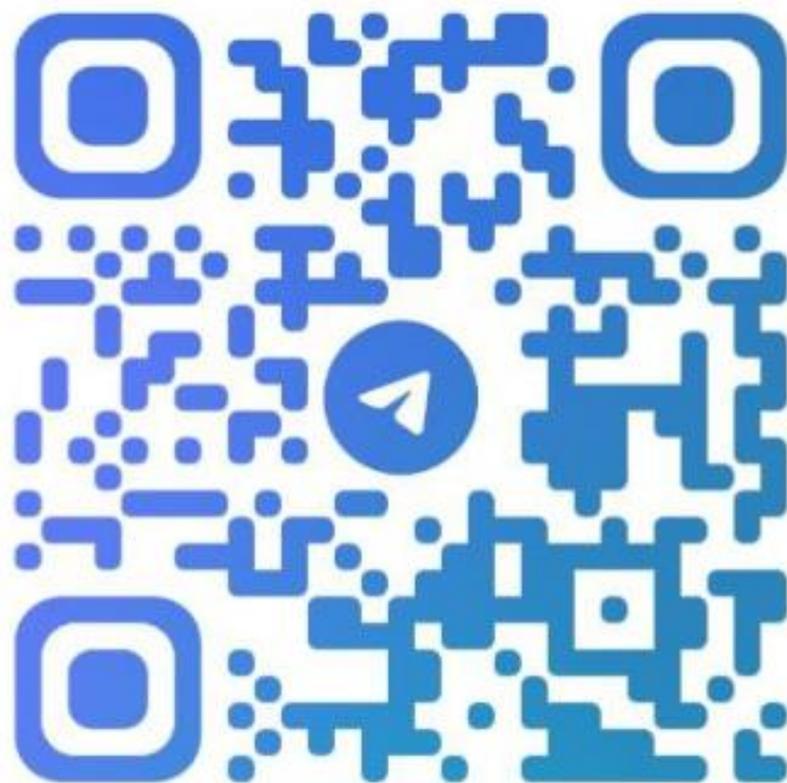
Средняя скорость ветра	10 м/с
------------------------	--------

# Результаты

- Проведена оценка корреляции величин, оказывающих влияние на динамику перемешанного слоя, получены коэффициенты корреляции от 0.7 до 0.94.
- Отсутствие на данный момент общепринятого метода расчета вклада волнения в турбулизацию снижает объективность модельных расчетов;
- Расхождение наблюдений с модельными расчетами по-видимому, вызвано влиянием неучтенных факторов, в частности, динамикой локальных течений в прибрежной зоне;
- Применение модели Крауса-Тёрнера, дополненной многомасштабной моделью турбулентности, для исследования динамики верхнего квазиоднородного слоя может быть оценено удовлетворительно.

**Благодарю за внимание**

Telegram



@VOYTILOCHECHLOB