V Всероссийская конференция с международным участием
"Турбулентность, динамика атмосферы и климата"
Институт Физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Вертикальное перемешивание и обмен в условиях сильной мезомасштабной динамики и экстремального атмосферного воздействия

Дмитрий Степанов [1] Надежда Сачнева [1] Александр Островский [2] Анна Шестакова [3]

[1]Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток

[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова, г. Москва

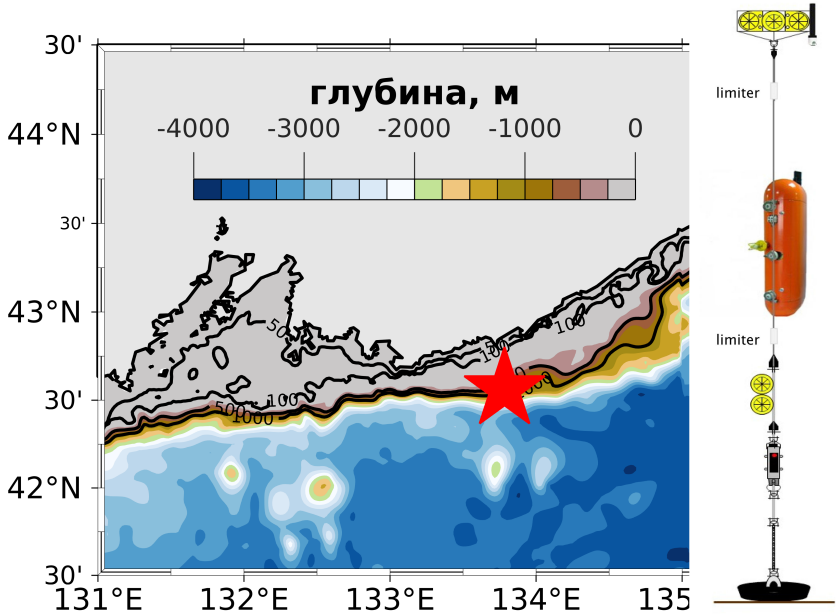
[3]Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова, г. Москва

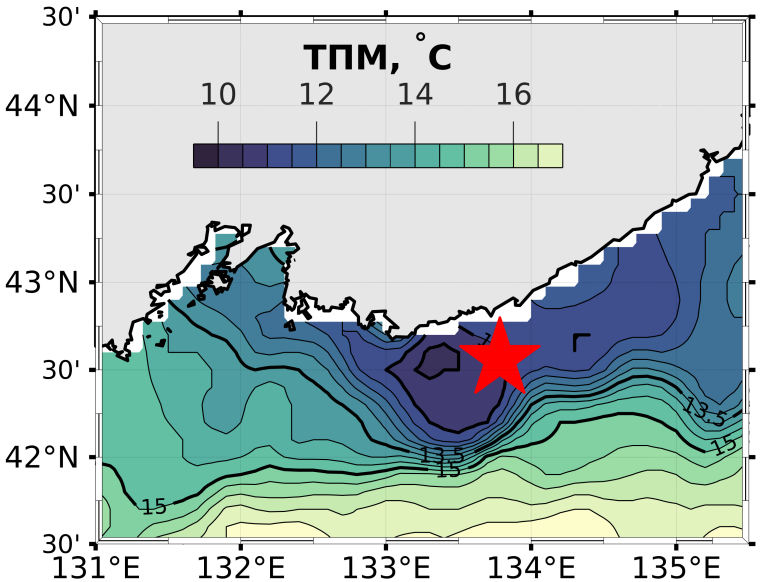
РНФ 23-27-00333
19-21 ноября 2024, г. Москва

Цель и задачи

- **Интенсификация вертикального перемешивания:** Мезомасштабные вихри и тропические циклоны интенсифицируют вертикальное перемешивание и обмен (MacKinnon et al, 2017).
- **Цель:** Причины и механизмы интенсификации вертикального перемешивания и обмена, в зоне Приморского течения (Японское море).
- **Данные и подходы:** Совместные тонкоструктурные измерения вертикальных профилей температуры, электропроводности (солености), давления, скорости течения и растворенного кислорода в северо-западной части Японского моря с 18 апреля по 15 октября 2015г.
- Численное моделирование отклика прибрежной циркуляции на прохождение циклона Goni (модель COAWST)

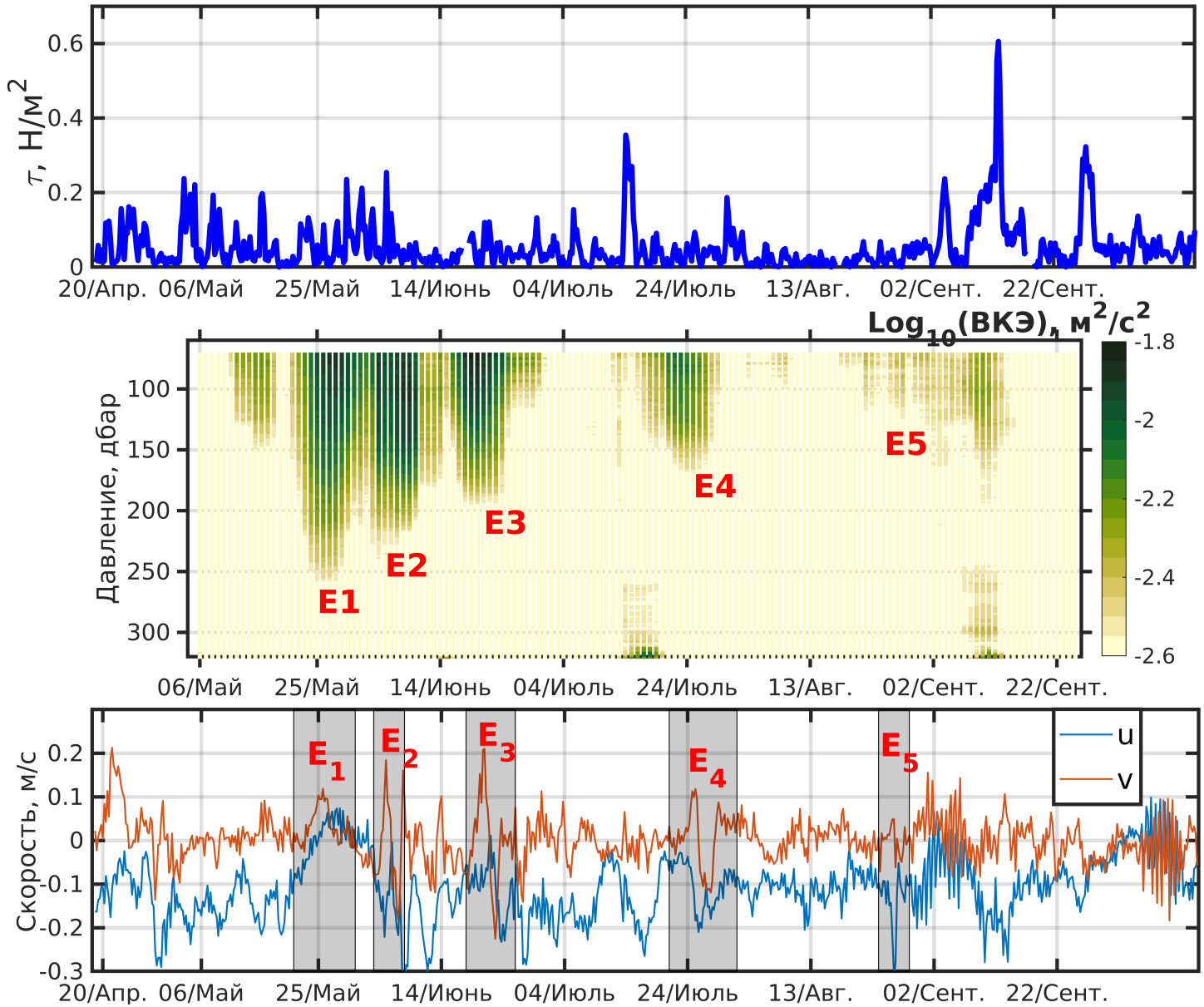
Район и схема постановки заякоренной станции





- Место постановки заякоренной станции обозначено звездой красного цвета
- Скорость профилирования - 0.2 м/с каждые 6 часов с 18 апреля по 15 октября 2015 г.
- Инструменты: SBE CTD 52-MP, датчик растворенного кислорода - SBE43F и скорости течения - Nortek Aquadopp 2 МГц. CTD измерения были проведены через 0.2 м.
- Температура поверхности моря (ТПМ) в момент прохождения мезомасштабного вихря через станцию (26 июня 2015)

Динамические условия в районе заякоренной станции



Параметризация вертикального перемешивания. Метод перестановок Торпа

Параметризация вертикального потока плавучести J_b имеет вид $J_b = -\frac{g}{\rho_0}\overline{\omega'\rho'} = -\frac{g}{\rho_0}K_\rho\frac{\partial\overline{\rho}}{\partial z} = K_\rho N^2$, где K_ρ-коэффициент эффективного обмена массой.

Соотношение Осборна (Osborn, 1980)

$J_b \approx \Gamma\varepsilon$, где $\Gamma = 0.2$.

Интенсивность диссипации кинетической энергии турбулентности

$\varepsilon = 0.64 L_T^2 N^3$

Масштаб Торпа (Thorpe, 1977)

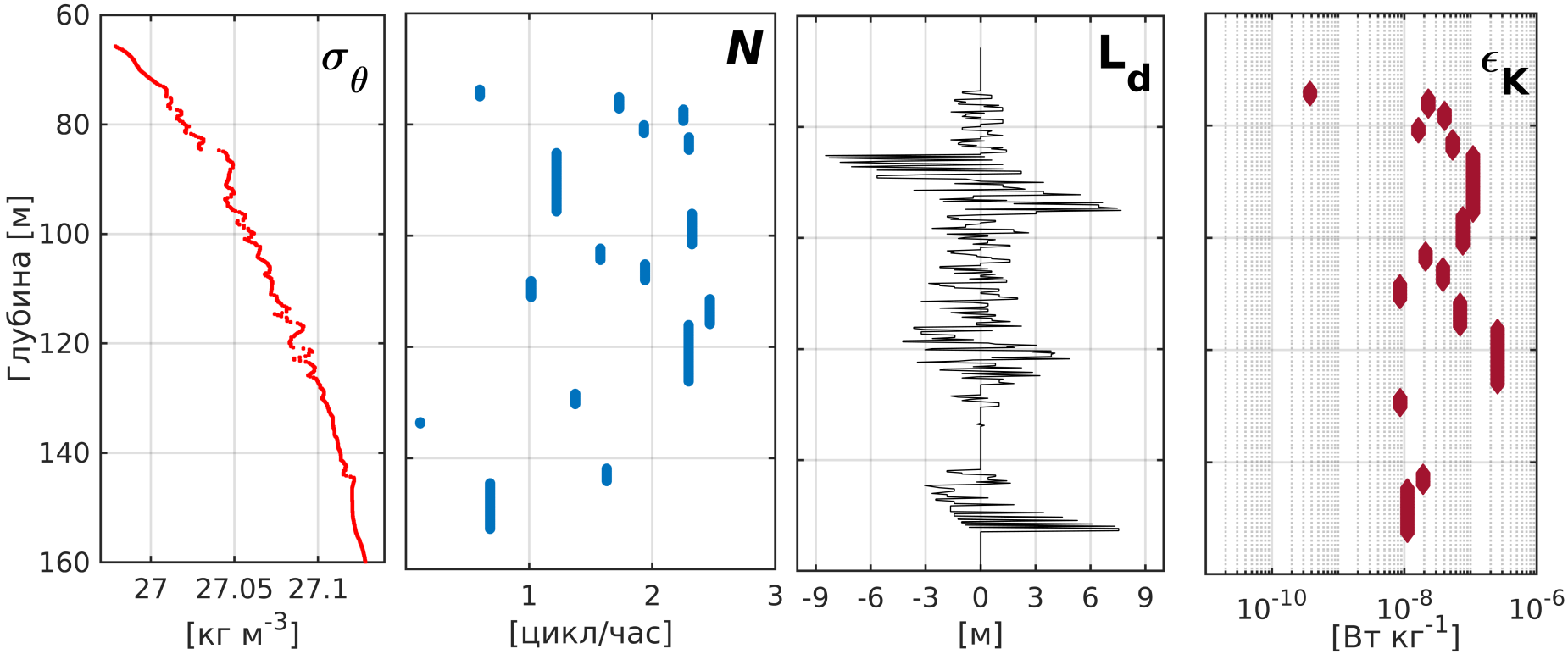
$L_T = \langle (z_n - z_m)^2 \rangle^{1/2}, \quad n \in R,$

где $\langle ... \rangle$ обозначает осреднение внутри турбулентного пятна, z_n - положение жидкого элемента до перестановки, а z_m - после перестановки. $K_\rho = 0.2\frac{\varepsilon}{N^2}$.

Вертикальные потоки тепла и соли:

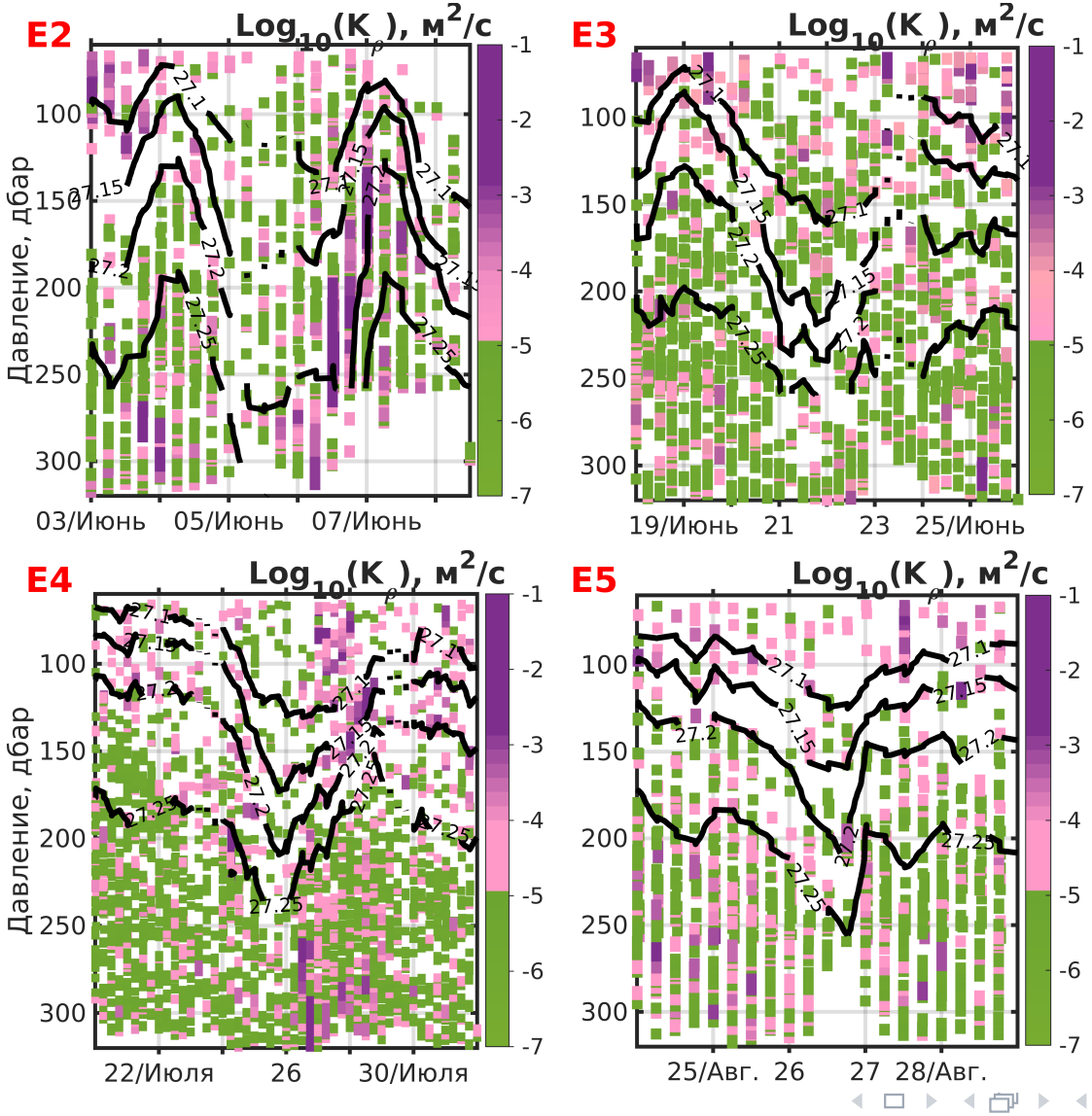
$Q = -c_p\rho_0 \cdot K_\rho\frac{\partial\overline{\theta}}{\partial z}, \; J_S = -K_\rho\frac{\partial\overline{S}}{\partial z}$

Метод перестановок Торпа. Пример

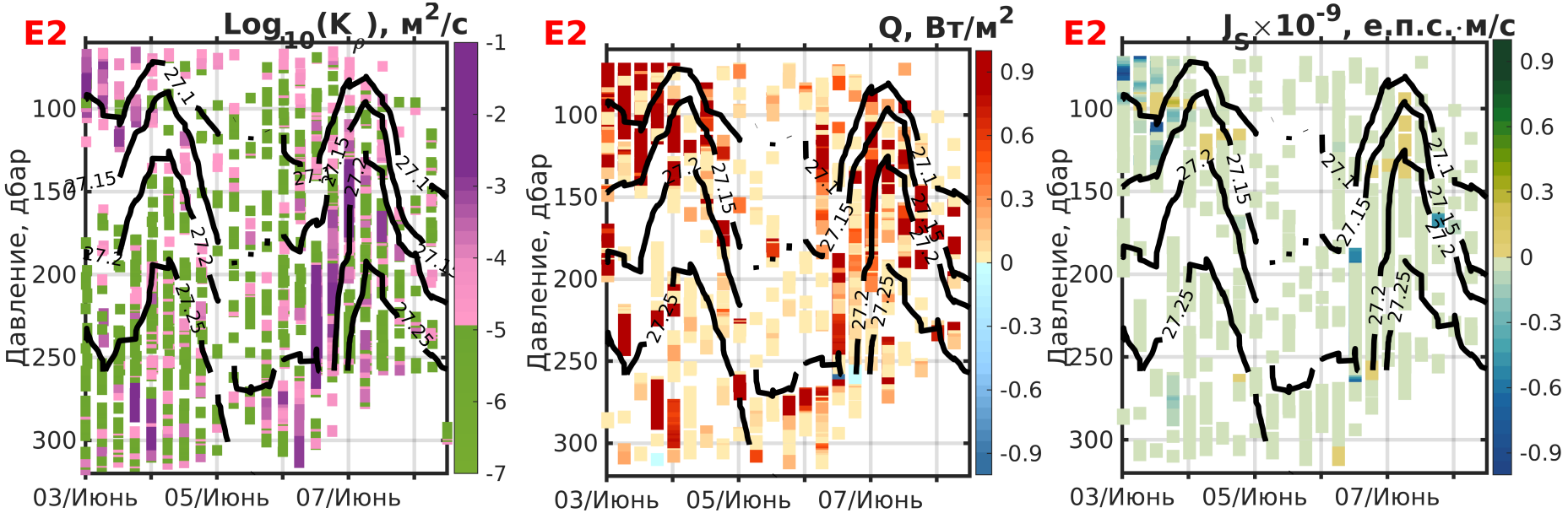


Профили потенциальной плотности (σ_θ), частоты плавучести (N), смещения ($L_d = (z_m - z_n)$) и интенсивности диссипации турбулентной кинетической энергии (ε_K) на 00:00:18 26 апреля 2015 г.

Интенсивность перемешивания и мезомасштабные вихри

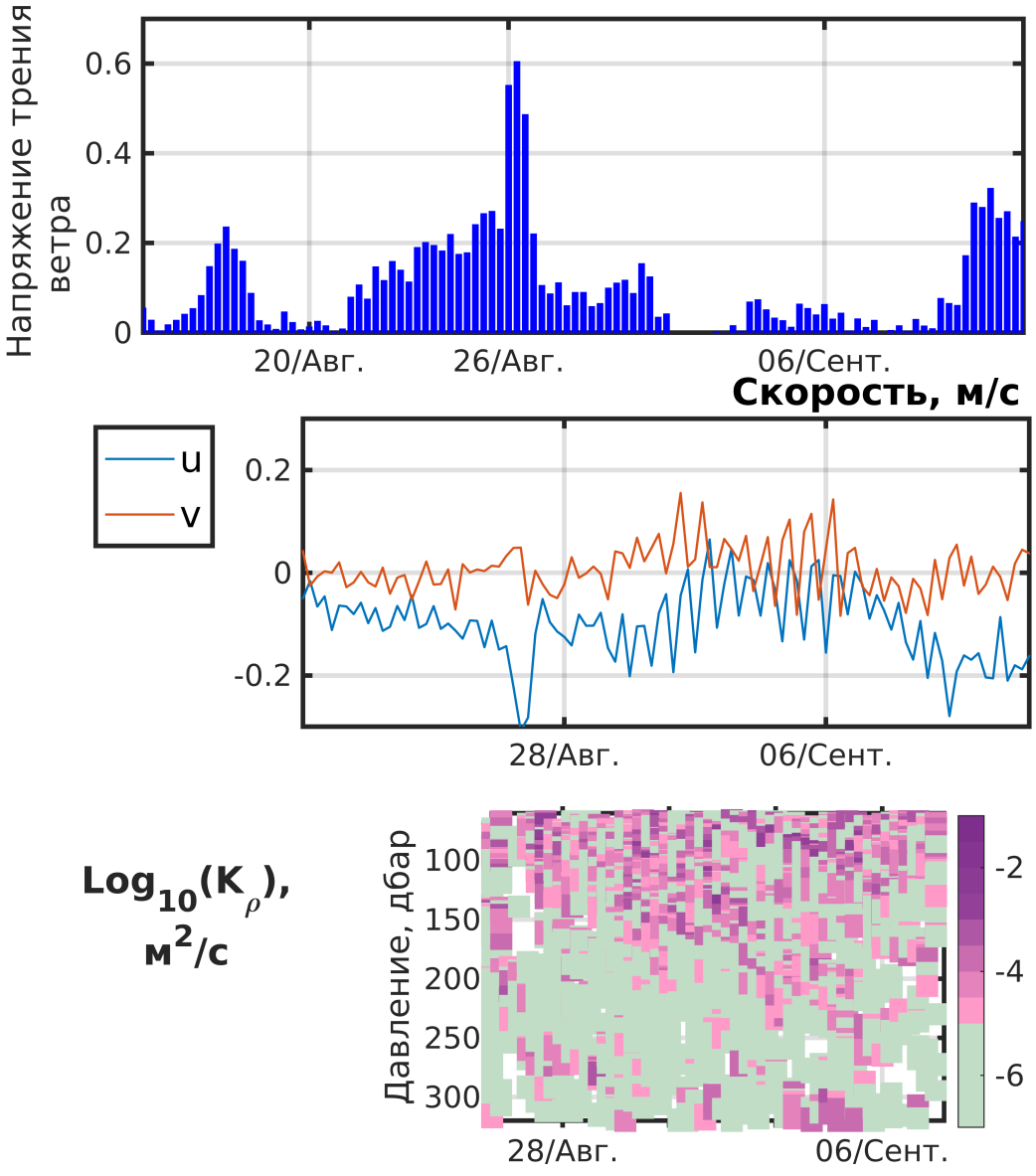


Вертикальный обмен и мезомасштабный вихрь



Коэффициент эффективного обмена (K_ρ, м^2/с), вертикальный поток тепла (Q, Вт/м^2) и вертикальный поток соли (J_S, е.п.с.·м/с) в период прохождения мезомасштабного вихря через заякоренную станцию с 3 по 8 июня 2015 г.

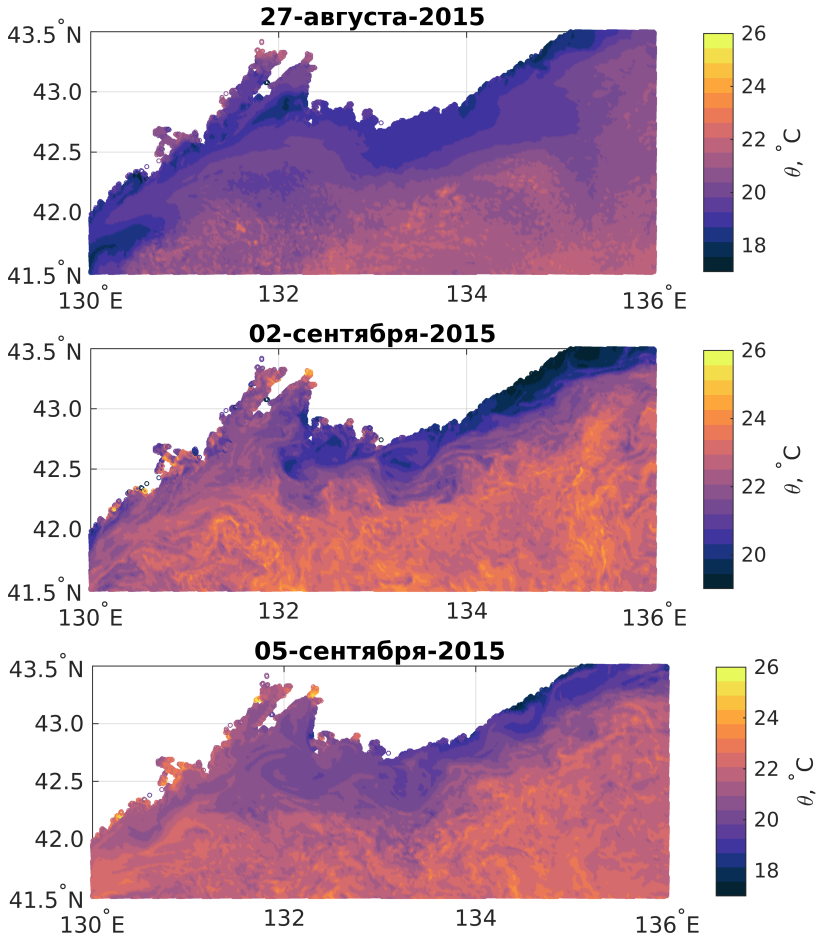
Вертикальное перемешивание и шторм Goni



Описание сопряженной мезомасштабной модели атмосферы и океана COAWST для Японского моря

Параметры модели COAWST

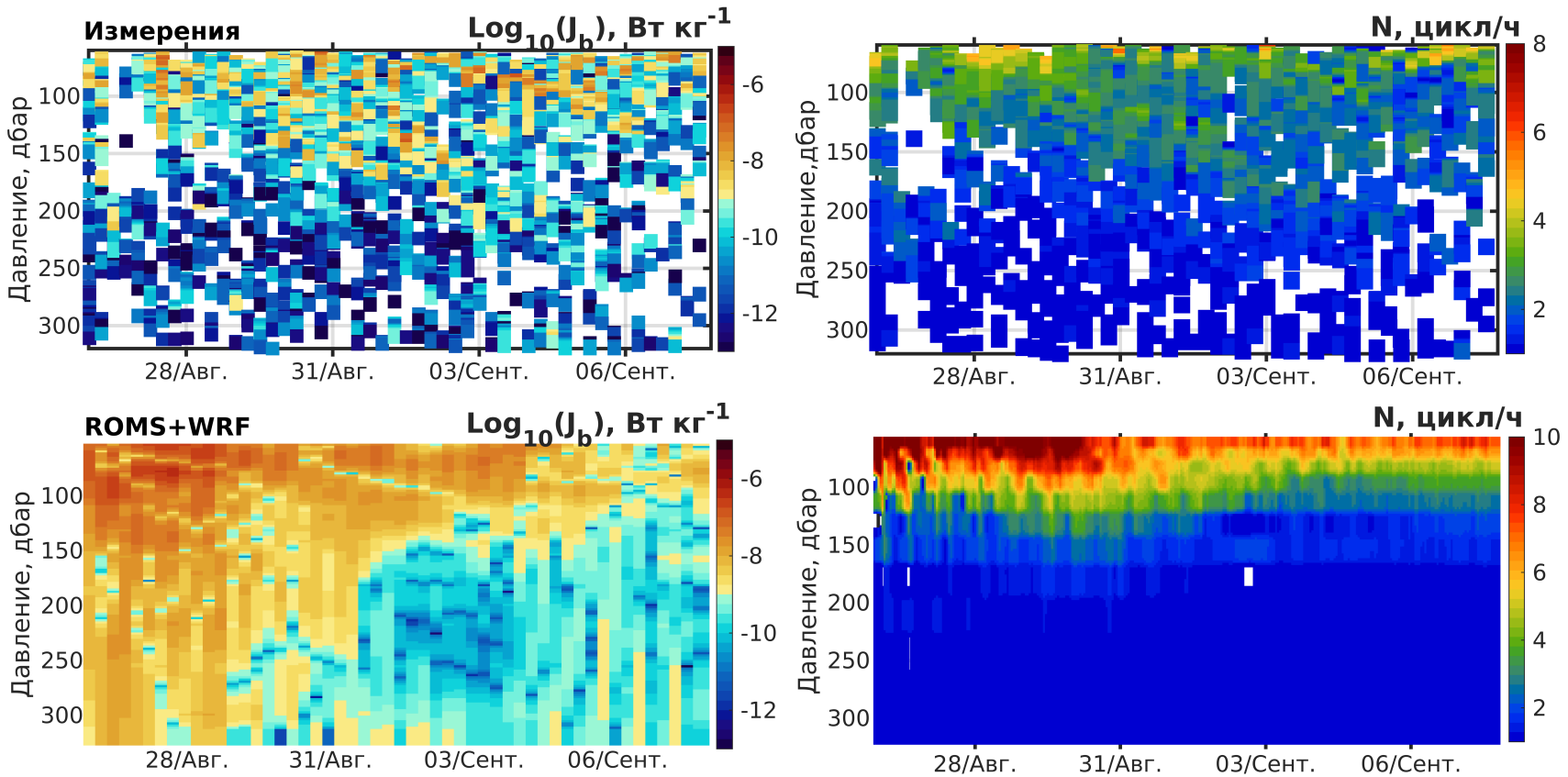
Циркуляция моря	ROMS
Топография дна	ETOPO2
Горизонтальное разрешение	1×1 км
Вертикальное разрешение	26 уровней
Приливное воздействие	база данных OSU TPXO
Параметризация вертикального обмена	схема первого порядка LMD
Начальные и граничные условия	база данных GOFS3.1(HYCOM)
Модель атмосферы	WRF-ARW
Горизонтальное разрешение	5×5 км
Вертикальное разрешение	50 уровней
Начальные и граничные условия	база данных ERA5
Параметризации	приземный и погранслои в атмосфере QNSE
Период расчетов	25 авг. - 8 сент. 2015
Интервал сопряжения	10 мин



Результаты COAWST. Температура поверхности моря в период прохождения тропического циклона Goni.

Поток плавучести J_b. Сравнение.

$$J_b^{COAWST} = -\frac{g}{\rho_0}\overline{w'\rho'}, \quad J_b^{Aqualog} = K_\rho N^2,$$



Нереалистично "сильная"стратификация привела к переоценке потока плавучести (J_b) при прохождении тропического циклона Goni.

Результаты

1. На основе совместных тонко-структурных измерений термохалинной стратификации и скорости течений в северо-западной части Японского моря, с помощью метода перестановок Торпа получены количественные оценки интенсивности вертикального перемешивания и обмена над континентальным склоном при условии интенсивной мезомасштабной динамики и экстремального атмосферного воздействия
2. Интенсивное вертикальное перемешивание наблюдается на переднем и заднем фронте мезомасштабных вихрей, а также на их нижней границе.
3. Мезомасштабные вихри ответственны за интенсивный вертикальный обмен теплом и солью. Поток тепла направлен, преимущественно, в нижележащие слои, а вертикальный поток соли - меняет направление с глубиной.
4. Предложена модельная конфигурация ROMS+WRF, которая была использована для воспроизведения отклика северо-западной части Японского моря на прохождение тропического циклона Goni. Получена переоценка вертикального потока плавучести, обусловленная нереалистично "сильной"стратификацией.