



# Исследование высокочастотных колебаний температуры вод Черного моря и их влияния на стратификацию по данным сканера SEVIRI и модели NEMO



Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И.

ФИЦ Морской гидрофизический институт

2019 г.



Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90084

## Актуальность исследований

Суточный ход температуры верхних слоев моря (океанов) влияет на множество процессов, происходящих в окружающей среде, так как именно он вносит существенный вклад в турбулентный обмен теплом и импульсом между океаном и атмосферой, оказывая воздействие на формирование ветров.

**Температура поверхностного слоя моря (далее ТПМ)** оказывает значительное влияние на функционирование экосистемы Земли и ее климат. Параметр ТПМ непосредственно используется в расчетах турбулентного теплообмена между океаном и атмосферой. ТПМ оказывает значительное влияние на точность восстановления параметров океана и атмосферы по спутниковым измерениям в микроволновом диапазоне.

Для замкнутого Черного моря суточный ход ТПМ формирует бризовые ветры.

Суточный ход температуры вызывает периодическую стратификацию и перемешивание верхнего слоя моря.

Также достаточно важным аспектом в изучении суточного хода температуры является необходимость его учета в компьютерных динамических моделях.

## Используемые данные

1. Данные сканера SEVIRI от температуре поверхностного слоя Черного моря с временным разрешением 1 час и пространственным разрешением 5 км. SEVIRI установлен на геостационарных метеоспутниках Meteosat второго поколения (MSG). Точность измерений составляет 0.5 K.

2. Данные модели NEMO о температуре и солености Черного моря за 2015 год (трехмерные поля). Пространственное разрешение 1/24°. Дискретность – 1 час. Горизонты: 1,3 м; 3,8 м; 6,5 м; 9,4 м; 12,4 м; 15,7 м; 19,4 м; 23,7 м; 28,8 м. Параметризация: Меллора – Ямады. В качестве атмосферного воздействия брались данные регионального реанализа ERA5.



## Суточный ход ТПМ по данным SEVIRI. Дневной прогрев.

В каждой точке, где определялась температура, было найдено ее максимальное и минимальное значение за сутки, а также их разность – **амплитуда суточного хода температуры A**.

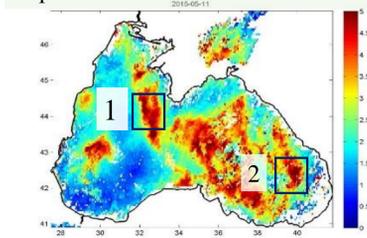
Анализ карт амплитуды суточного хода позволил выделить случаи с максимальной разностью ТПМ. Случаи наибольшего перепада ТПМ для отдельных областей Черного моря зафиксирован 26.02, 11.04, **11.05**, 14.05, 17.05, 18.05, 25.05, 01.06, 13.06, 08.07, 24.07, 04.09.

### Анализ дневной прогрев на примере 11 мая 2015 г.

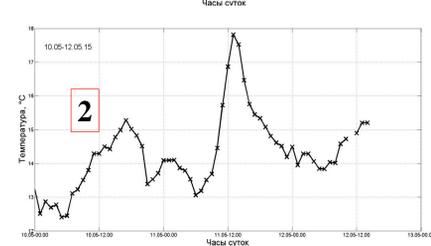
В точке 1 амплитуда суточного хода ТПМ составила 2.4°C.

В точке 2 она достигла 5.5°C.

Как в точке 1, так и в точке 2 ярко выражен случай значительного прогрева поверхностного слоя моря.



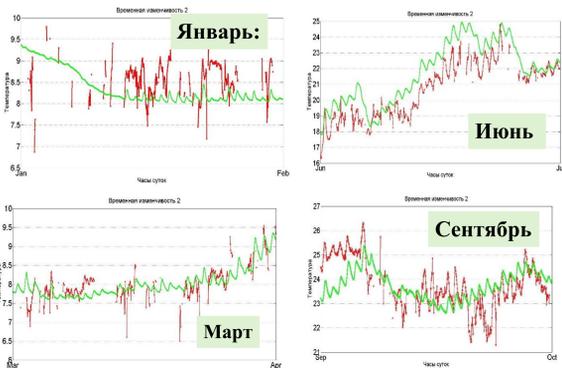
Карта распределения амплитуды суточного хода ТПМ за 11.05.15



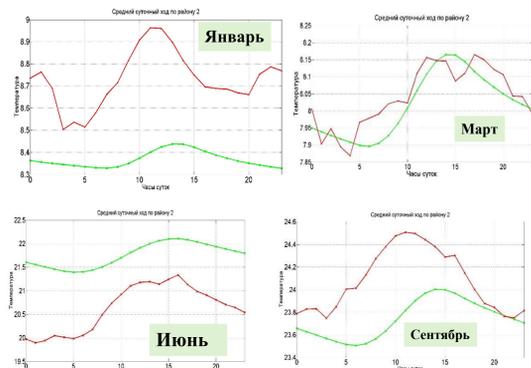
Графики изменения ТПМ для выбранных точек 1 и 2 Черного моря с 10.05.15 по 12.05.15.

## Сравнение данных дистанционного зондирования и результатов моделирования

Графики временной изменчивости ТПМ по данным SEVIRI и температуры на горизонте 1,3 м данным модели NEMO



Графики среднего суточного хода ТПМ по данным SEVIRI и температуры на горизонте 1,3 м данным модели NEMO



— NEMO  
— SEVIRI

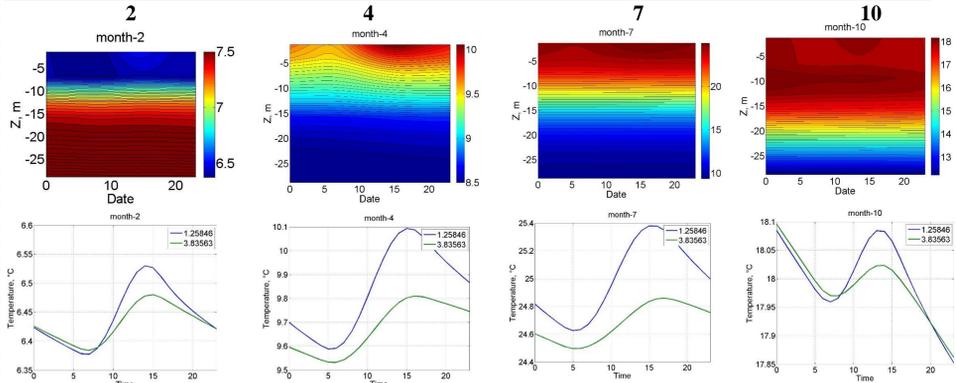
## Временная изменчивость

- **Зима.** Температура по данным NEMO ниже ~0.5-2°C в сравнении с ТПМ по данным SEVIRI.
- **Весна.** В зависимости от выбранного района: температуры примерно совпадают для районов 2 и 3, для района 1 температура по данным NEMO ниже ~2-2,5°C.
- **Лето.** Температура по данным NEMO выше ~0,5-2,5°C в сравнении ТПМ по данным SEVIRI (в зависимости от района).
- **Осень.** Температура по данным NEMO примерно совпадает с ТПМ по данным SEVIRI.

### Средний суточный ход

- Совпадает на качественном уровне.
- Отличия численных значений.
- В отдельных случаях наблюдается смещение максимума по времени.

## Суточный ход температуры на различных горизонтах по данным модели NEMO



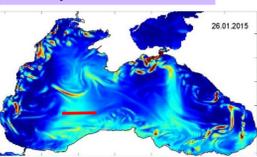
Диаграммы вертикального распределения среднего суточного хода температуры в различные месяцы

Графики среднего суточного хода температуры в различные месяцы на горизонтах 1,3 м и 3,8 м

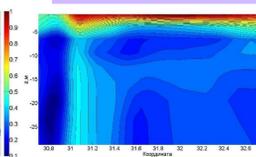
## Дневной прогрев по данным модели NEMO

### Зимний прогрев (26.01.15)

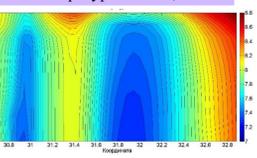
Карта амплитуды суточного хода



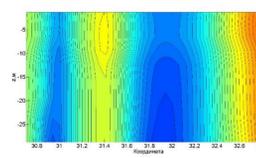
Разность температуры (15.00-2.00), °C



Температура в 15.00, °C

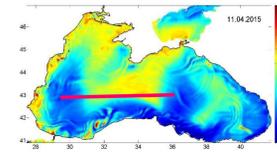


Температура в 2.00, °C

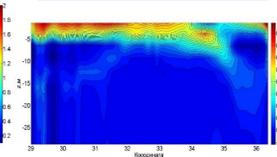


### Весенний прогрев (11.04.15)

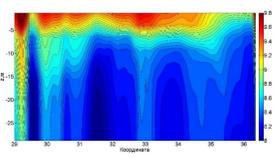
Карта амплитуды суточного хода



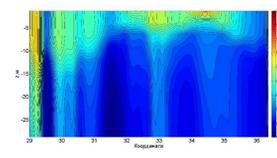
Разность температуры (15.00-2.00), °C



Температура в 15.00, °C



Температура в 2.00, °C



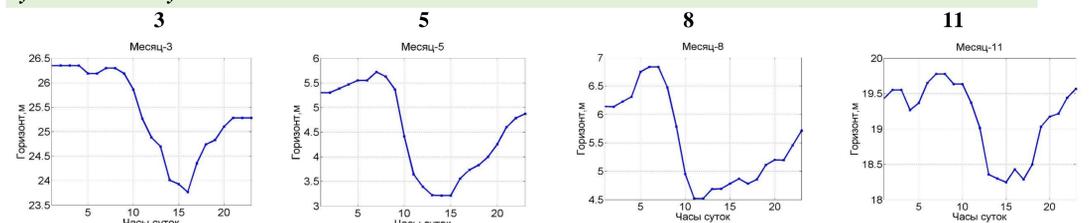
Диаграммы вертикального распределения температуры вдоль линии разреза (—)

**Зимний прогрев:** в отдельных точках вдоль разреза скачек температуры достиг ~0,4°C на первом горизонте (1,3 м), прогрев ~0,3°C распространился под поверхность на глубину ~5 м. На первом горизонте в отдельных точках Черного моря разница максимального и минимального значений температуры за сутки достигла 1-1,3°C.

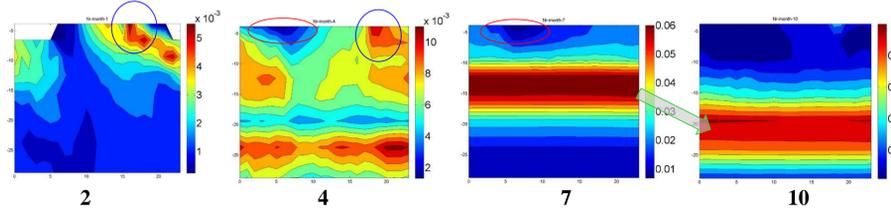
**Весенний прогрев:** в отдельных точках вдоль разреза скачек температуры достиг ~0,9°C на первом горизонте (1,3 м), прогрев ~0,4°C распространился под поверхность на глубину ~9 м. На первом горизонте в отдельных точках Черного моря разница максимального и минимального значений температуры за сутки достигла 1,5-2°C.

## Оценка суточного хода глубины ВКС по значениям потенциальной плотности

В качестве критерия разницы плотности  $\sigma_t$  была выбрана величина 0,07кг/м³. Во все сезоны наблюдается наличие суточного хода глубины залегания ВКС.



## Оценка суточного хода частоты Брента — Вайсяля (N)



Диаграммы вертикального распределения частоты Брента-Вайсяля в различные месяцы

**Январь-март:** отсутствие устойчивой стратификации. Наличие максимумов N в 16.00-17.00 (дневной термоклин).

**Апрель-май:** появление и развитие стратификации на горизонтах 5-25 м. Минимум N – утренние часы (ночная конвекция).

**Июнь-август:** устойчивая стратификация на горизонтах 10-20 м. Горизонты от поверхности до ~7-10 м – наименьшие значения N, минимум – 5.00-7.00 (ночная конвекция).

**Сентябрь-декабрь:** происходит «опускание» стратифицированных слоев, заглупление ВКС.