



**Сезонная изменчивость суточного хода  
температуры вод Черного моря по данным  
сканера SEVIRI и термопрофилирующих  
дрейфующих буев**

**Рубакина В.А., Кубряков А.А., Станичный С.В.**

Морской гидрофизический институт

Город Севастополь

2018 год



# Температура поверхностного слоя моря

- ✓ Суточный цикл ТПМ является результатом взаимодействия между солнечным теплом, турбулентным перемешиванием и динамикой теплообмена между океаном и атмосферой.
- ✓ В условиях чистого неба и слабого ветра в течение дня может образовываться значительный температурный вертикальный градиент.
- ✓ В ночное время перемешивание посредством конвекции разрушает суточный термоклин. Следующий дневной цикл солнечного излучения, при сохранении подходящих условий, может привести к формированию нового теплого слоя над перемешанным слоем, ранее образовавшимся из-за ночной конвекции.
- ✓ Так как поглощение солнечного тепла наиболее интенсивно на поверхности, максимальное увеличение температуры ограничивается тонким приповерхностным слоем (на глубине  $\sim 0.5\text{--}1$  м).
- ✓ Величина амплитуды суточного хода ТПМ зависит от облачного покрова, который влияет на количество поглощенного солнечного тепла.
- ✓ Если ветер достаточно слабый, а облачность незначительна, в отдельных областях при наблюдениях *in situ* был зафиксирован перепад ТПМ на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  на глубине  $0.3\text{--}0.6$  м.

Данные о поле ТПМ можно получить как и дистанционными методами так и контактными (стационарные буи и дрейфтеры).

Оба этих метода имеют свои преимущества.

## Цели работы:

1. Исследовать суточный ход температуры Черного моря, используя данные SEVIRI и данные термопрофилирующих дрейфующих буев.
2. Провести анализ выявленных особенностей:
  - А) Случаев максимального дневного прогрева.
  - Б) Особенности суточного хода температуры Черного моря в холодный период года.

# Анализируемые данные

4

# Данные сканера SEVIRI

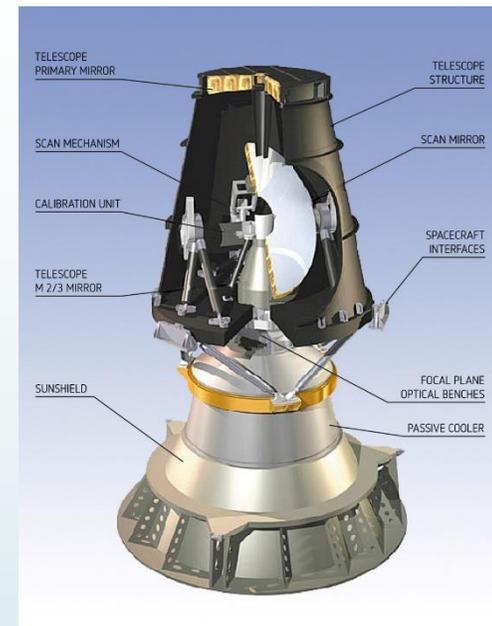
5

- ✓ SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager) - сканер с разрешением от 5 км до 1 км измеряющий в 12 спектральных каналах в оптическом и инфракрасном диапазоне (облачность, водяной пар, температура океана).
- ✓ SEVIRI установлен на геостационарных метеоспутниках Meteosat второго поколения (MSG). Каналы позволяют получать изображения поверхности Земли каждые 15 минут.
- ✓ Точность измерений ТПИМ составляет 0.5 К.

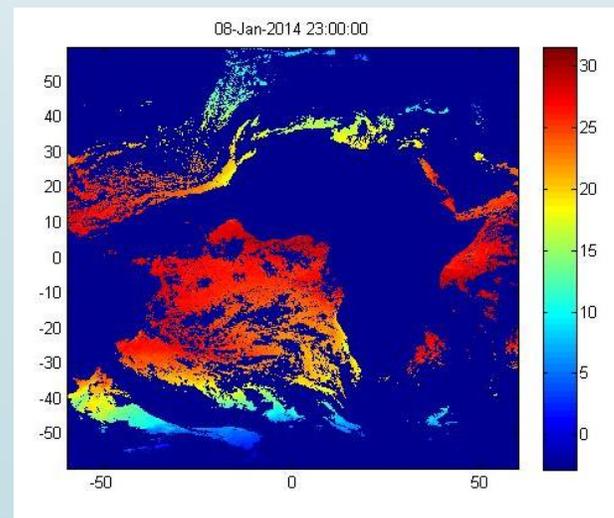
Источник данных: <http://www.osi-saf.org/>.  
**Анализируемые данные:** температура поверхностного слоя моря.  
Временное разрешение – 1 час.  
Пространственное разрешение – 5 км.



Спутник Meteosat Second Generation (MSG)



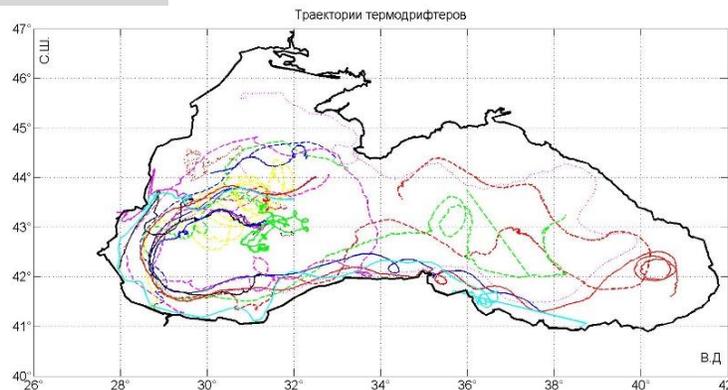
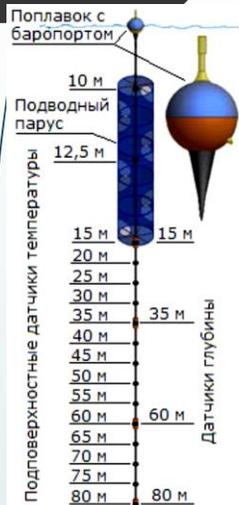
Радиометр SEVIRI



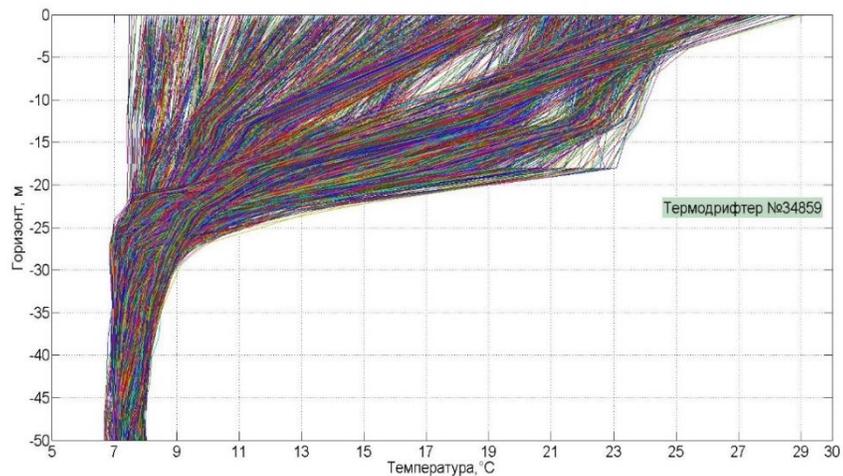
# Данные термопрофилирующих дрейфующих буев (термодрифтеров)

6

Структура и внешний вид термодрифтера



Траектории термодрифтеров, используемых в работе



Профили температуры для Черного моря, построенные по данным термодрифтера №34859 за период работы (апрель – август)

**Источник данных:** Банк океанографических данных Морского гидрофизического института РАН) за 2004-2007, 2009, 2013, 2014 года.

**Анализируемые данные:** температура Черного моря в различные сезоны года на горизонтах (глубинах) от 0 до 80 м. Временное разрешение – 0,5-1 час.

Первая модификация термодрифтера *SVP-BTC60* с термолинией до глубины около 60 м была разработана в МГИ в 2004 г.

Характеристики *SVP-BTC60* и результаты долговременного натурного эксперимента, выполненного в Черном море, рассмотрены в статьях [1 – 3].

К 2009 г. была разработана новая модификация термодрифтера с термолинией до глубины около 80 м [4].

Более подробна информация о дрейферах и дрейферных экспериментах представлена в статье [4].

## Данные реанализа «Era-Interim»

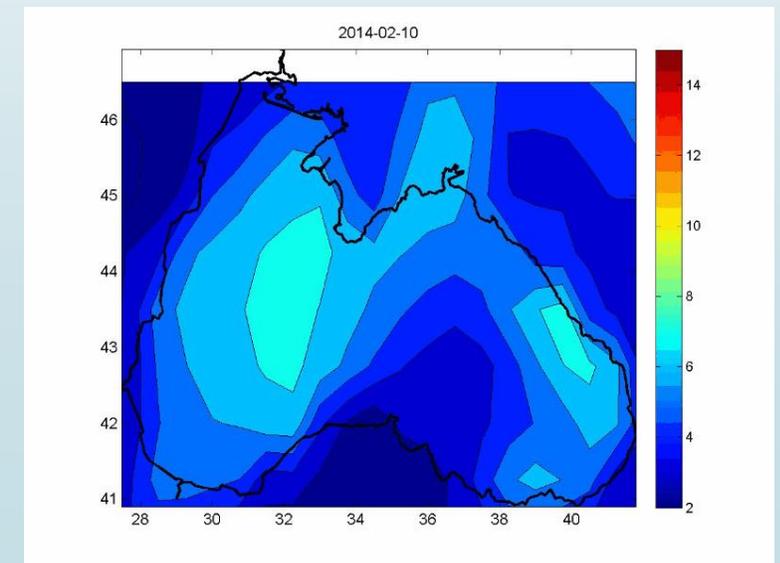
Для анализа поля ветра использовались данные реанализа «Era-Interim» о скорости ветра на высоте 10 м для района Черного моря.

(Источник данных: <https://www.ecmwf.int/>).

**Анализируемые данные:** направление и величина скорости ветра.

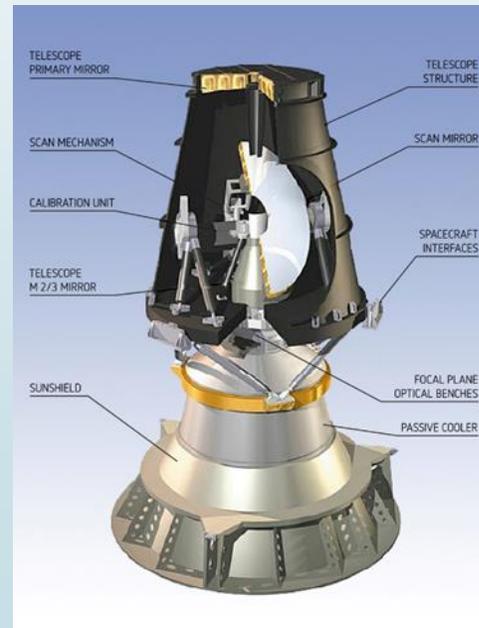
Временное разрешение – 6 часов.

Пространственное разрешение – 80 км.



# 1. Суточный ход ТПМ по данным SEVIRI

8



# Сезонный и суточный ход ТПМ в Черном море за 2015 год

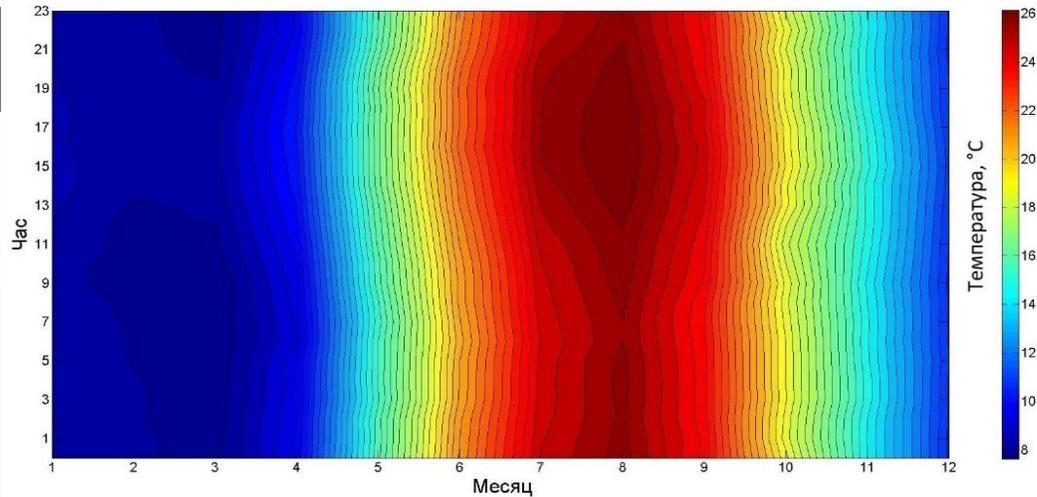


Диаграмма годичного распределения средней по бассейну ТПМ по часам суток и месяцам года.

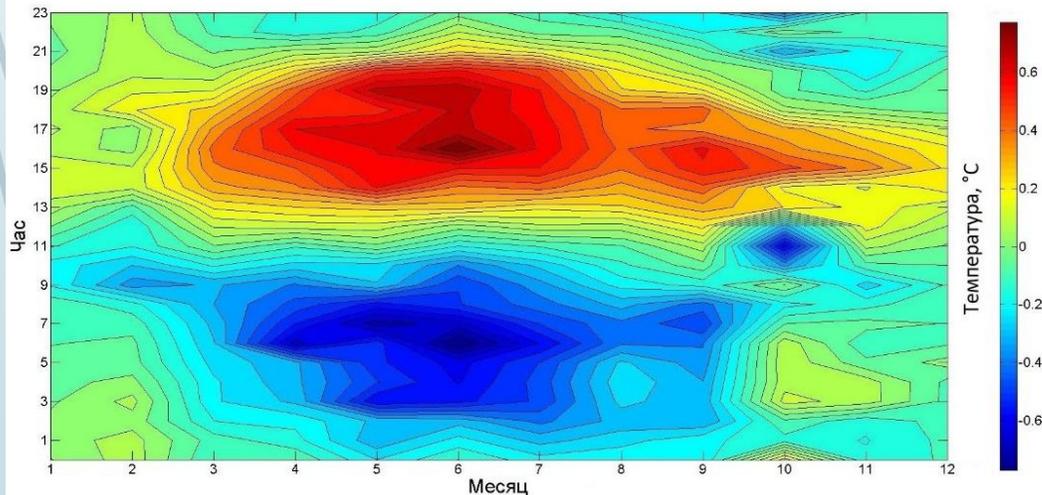


Диаграмма годичного распределения аномалий ТПМ отображает отклонение суточного хода ТПМ от среднего значения.

Максимальная температура наблюдается в июле-августе (до 28°C). Наибольшие значения ТПМ достигаются в августе во второй половине дня (15-19 часов локального времени). Минимальные температуры фиксируются в феврале-марте в первой половине дня.

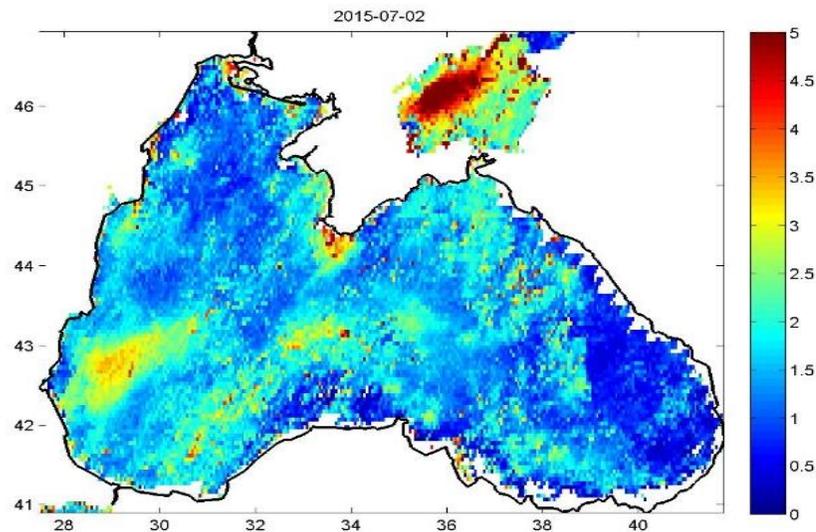
- Для того чтобы выделить суточный ход температуры из диаграммы годичного распределения ТПМ был вычтен средний сезонный ход ТПМ. Таким образом получена диаграмма аномалий ТПМ.
- Максимальные по модулю отрицательные аномалии ТПМ приходятся на время с 05.00 до 07.00, а максимальные положительные с 15.00 до 19.00. Следовательно прогрев верхнего слоя наблюдается с 6 часов утра до 17 часов дня, а охлаждение с 19 часов вечера до 5 часов утра.
- Наибольшие по модулю отклонения ТПМ от среднесезонных значений наблюдается в весенне-летний период (с апреля по июль), наибольшие аномалии приходятся на июнь.

# Амплитуда суточного хода ТПМ

10

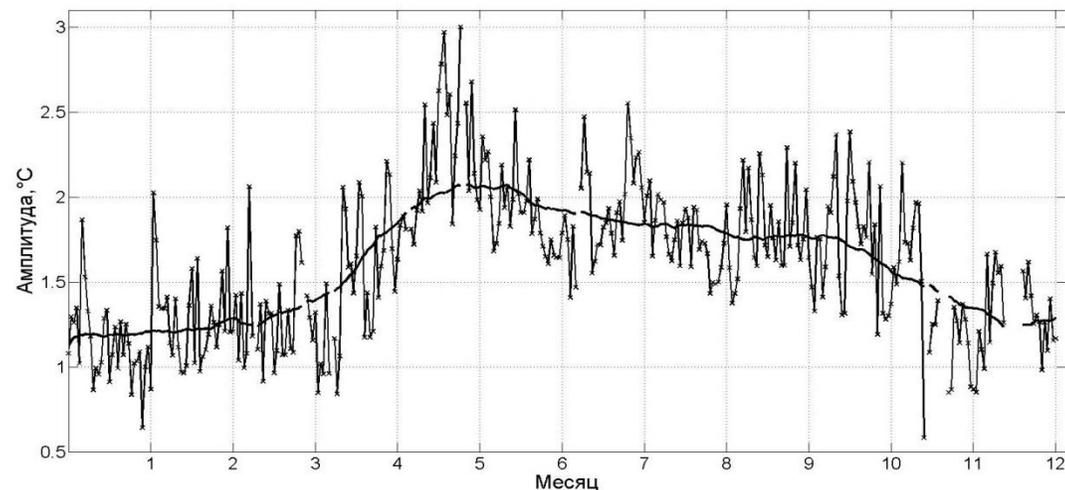
В каждой точке, где определялась температура, было найдено ее максимальное и минимальное значение за сутки, а также их разность – амплитуда суточного хода температуры (далее А).

- ✓ После чего рассчитан временной ход средних по бассейну значений А.
- ✓ Максимальные значения наблюдаются в весенне-летнее время ( $2-3^{\circ}$ ), а зимой составляют ( $1-1.5^{\circ}$ )



Пример карты распределения амплитуды суточного хода (за 2.07.2015)

График изменения среднего значения амплитуды суточного хода за 2015 ГОД.



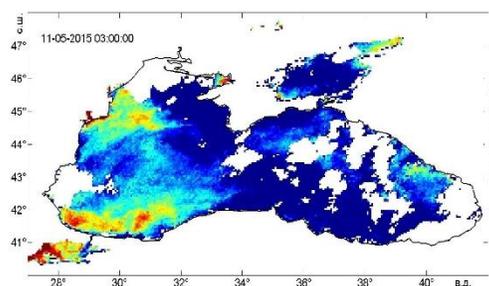
# Анализ дневной прогрев на примере 11 мая 2015

Анализ карт амплитуды суточного хода позволил выделить случаи с максимальной разностью ТПМ.

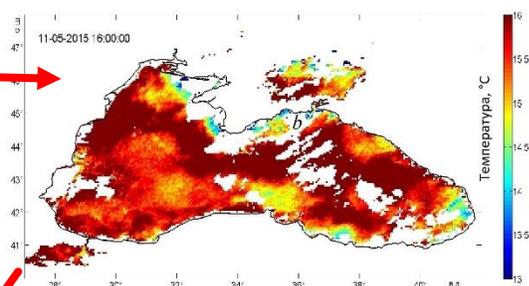
Случаи наибольшего перепада ТПМ для отдельных областей Черного моря зафиксирован 26.02, 11.04, **11.05**, 14.05, 17.05, 18.05, 25.05, 01.06, 13.06, 08.07, 24.07, 04.09.

Пример дневного прогрева 11.05.15 (один из наиболее ярких случаев)

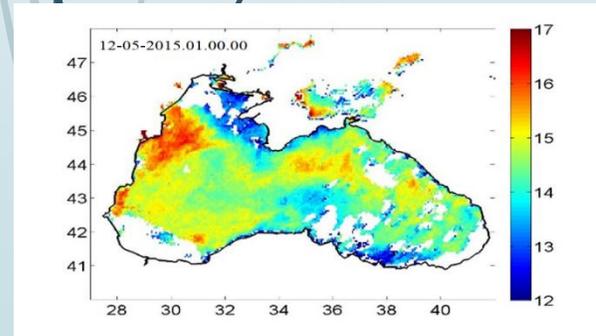
а)



б)



в)



Карты распределения ТПМ за 11.05.15: а) в 03 ч., б) в 16 ч., в) в 01 ч (12.05).

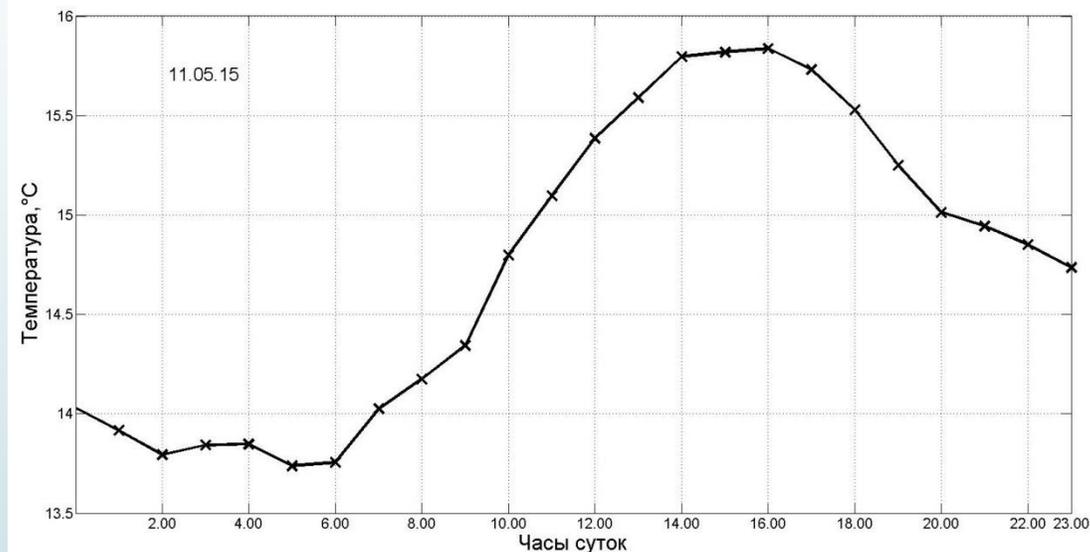


График изменения средней по площади ТПМ Черного моря за 11.05.15.

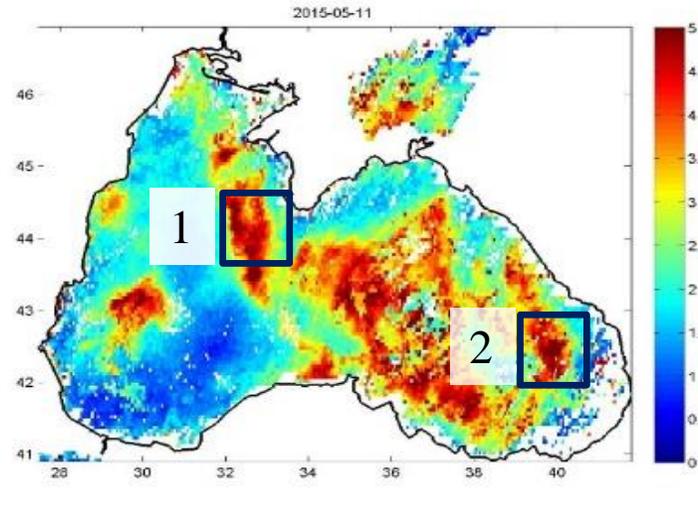
Анализ карт распределения ТПМ за 11.05 показывает, что наиболее интенсивное ее увеличение происходит с 9.00 до 14.00, с 14.00 до 16.00 ч. ТПМ практически не изменяется, далее происходит ее снижение. Амплитуда ТПМ составила 2 °С.

# Анализ дневной прогресс на примере 11 мая 2015

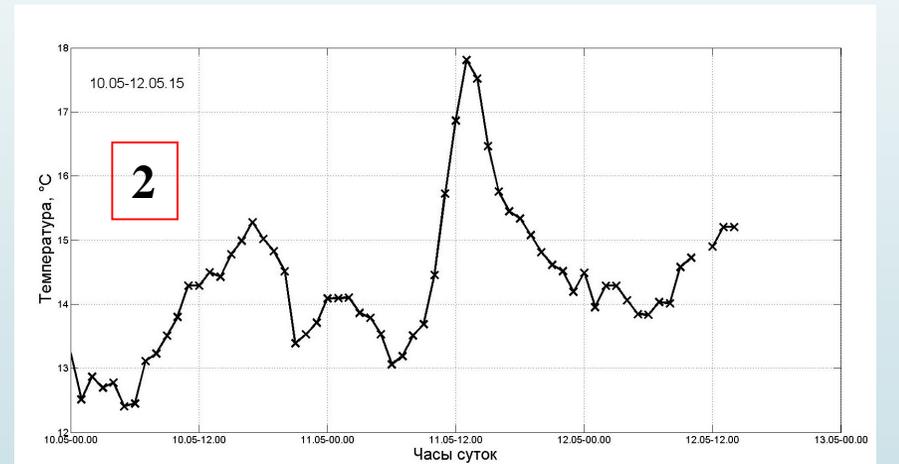
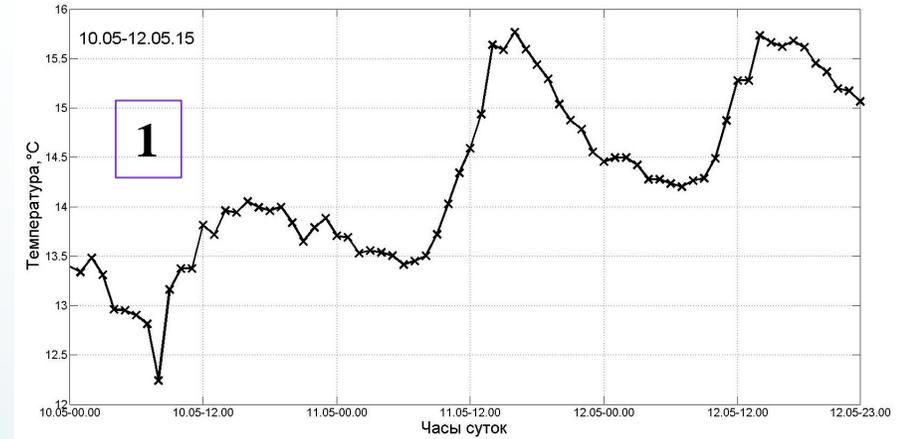
12

## Анализ прогресса за 11.05.15 в отдельно взятых точках Черного моря.

- ✓ В точке 1 амплитуда суточного хода ТПМ составила  $2.4^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ В точке 2 она достигла  $5.5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Как в точке 1, так и в точке 2 ярко выражен случай значительного прогресса поверхностного слоя моря.



Карта распределения амплитуды суточного хода ТПМ за 11.05.15



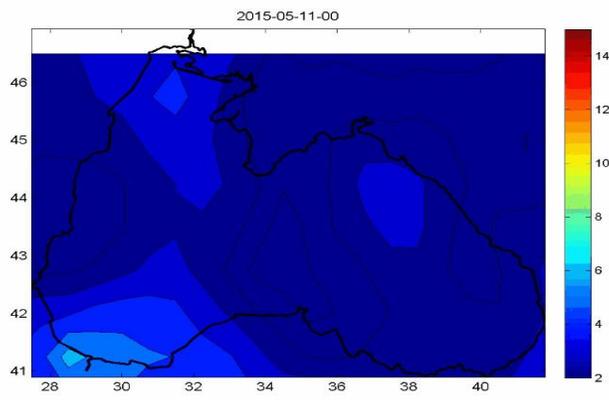
Графики изменения ТПМ для выбранных точек 1 и 2 Черного моря с 10.05.15 по 12.05.15.

**Следует отметить:** в некоторых точках бассейна 11.05.2015 амплитуда суточного хода достигала экстремально высоких значений и составляла  $7 - 7,2^{\circ}\text{C}$ .

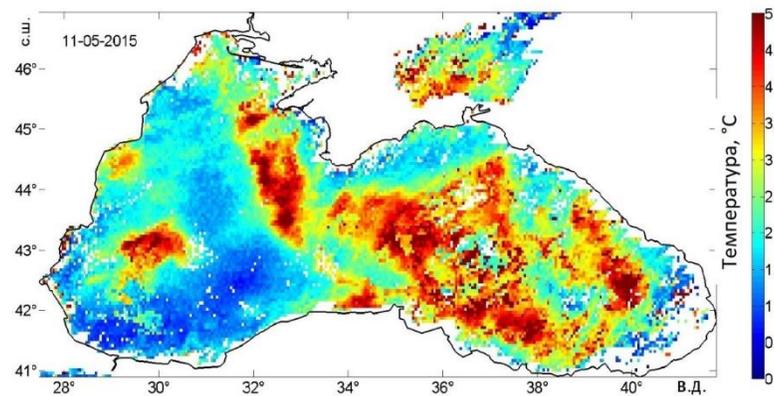
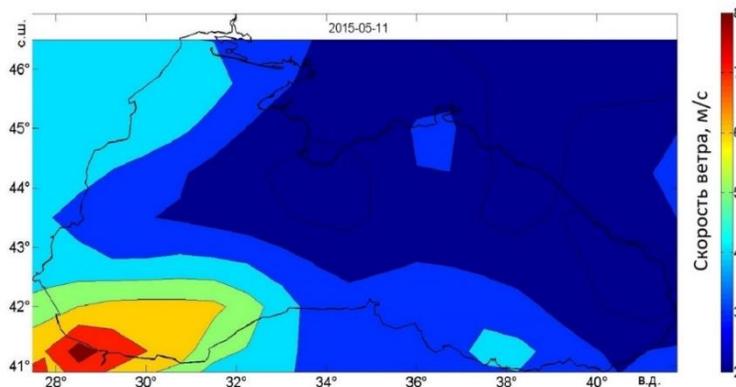
# Влияние ветра на дневной прогрев

13

а)



б)



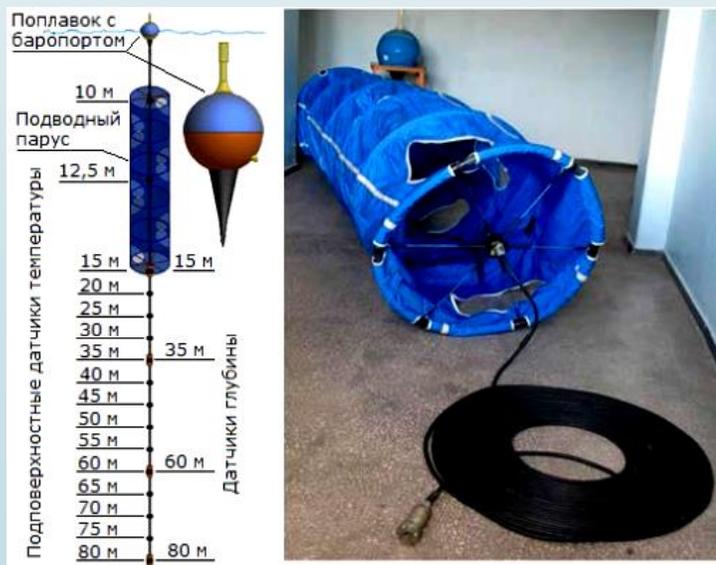
Карты распределения:

а) среднего модуля скорости ветра за 11.05.15; б) амплитуды суточного хода ТПМ за 11.05.15

- ✓ 11 мая скорость ветра над основной частью бассейна Черного моря не превышала 3 м/с, что способствовало развитию дневного прогрева в и значительному увеличению амплитуды суточного хода ТПМ в данном районе Черного моря. В отдельных областях она достигла 5.5 °С.
- ✓ Над юго-западным районом Черного моря модуль скорости ветра был несколько выше, в то время как  $A$  была минимальна именно в данной области.

## 2. Суточный ход температуры по данным термодрифтеров

14



# Сезонный и суточный ход на горизонте 0 м

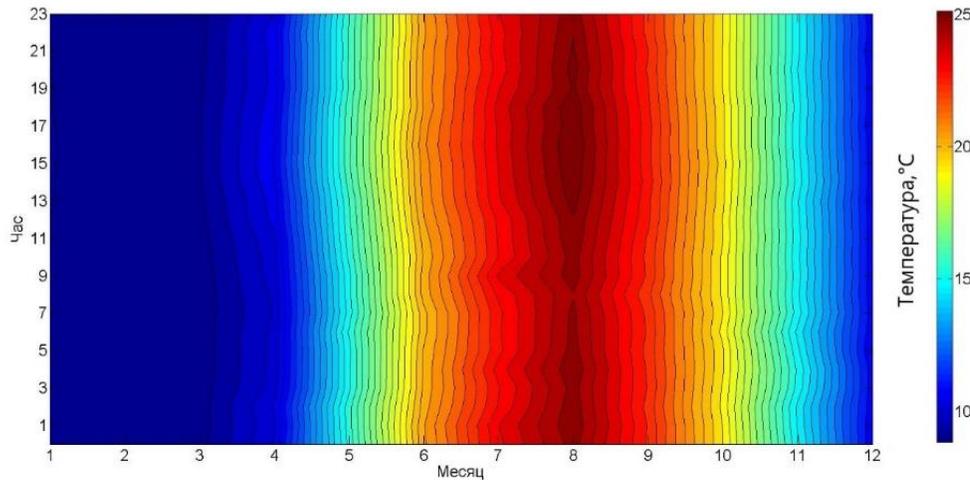


Диаграмма годичного распределения температуры на горизонте 0 м по часам суток и месяцам года.

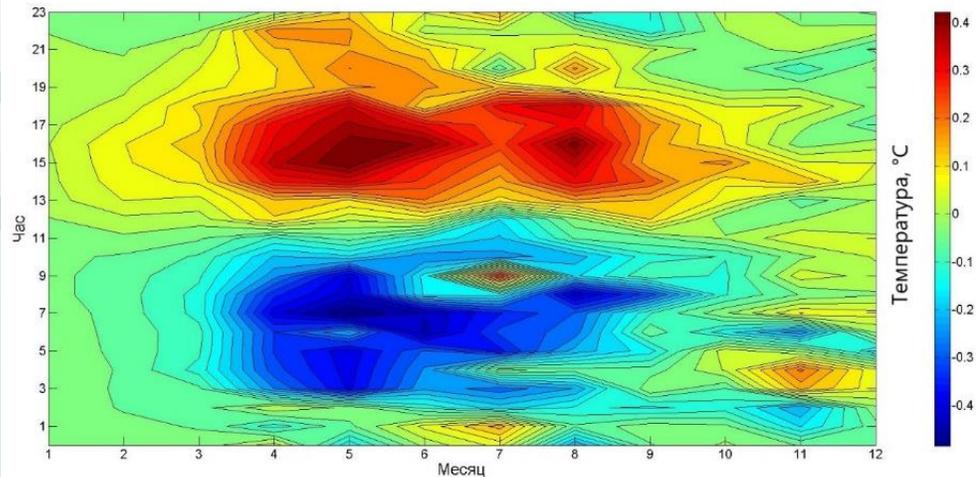


Диаграмма годичного распределения аномалий на горизонте 0 м отображает отклонение суточного хода температуры от среднего значения.

- ✓ Максимальная температура наблюдается в июле-августе (до  $25,5^{\circ}\text{C}$ ). Наибольшие значения температура достигаются в августе во второй половине дня (15-19 часов локального времени). Минимальные температуры фиксируются в феврале-марте в первой половине дня.

- ✓ Для того чтобы выделить суточный ход температуры из диаграммы годичного распределения температуры на горизонте 0 м был ее средний сезонный ход. Таким образом получена диаграмма аномалий температуры.
- ✓ Максимальные по модулю отрицательные аномалии температуры приходятся на время с 05.00 до 09.00, а максимальные положительные с 15.00 до 18.00.
- ✓ Наибольшие по модулю отклонения температуры от среднесезонных значений наблюдается в весенне-летний период, наибольшие аномалии приходятся на май.

# Диаграмма годичного распределения аномалий суточного хода

16

по данным SEVIRI

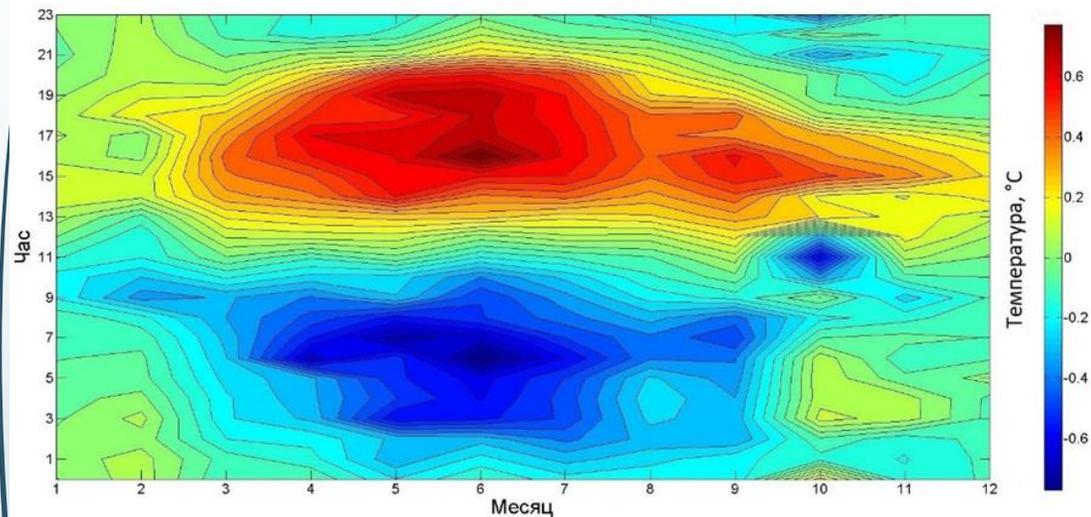


Диаграмма годичного распределения аномалий ТПМ

на 0 м по данным термодрифтеров

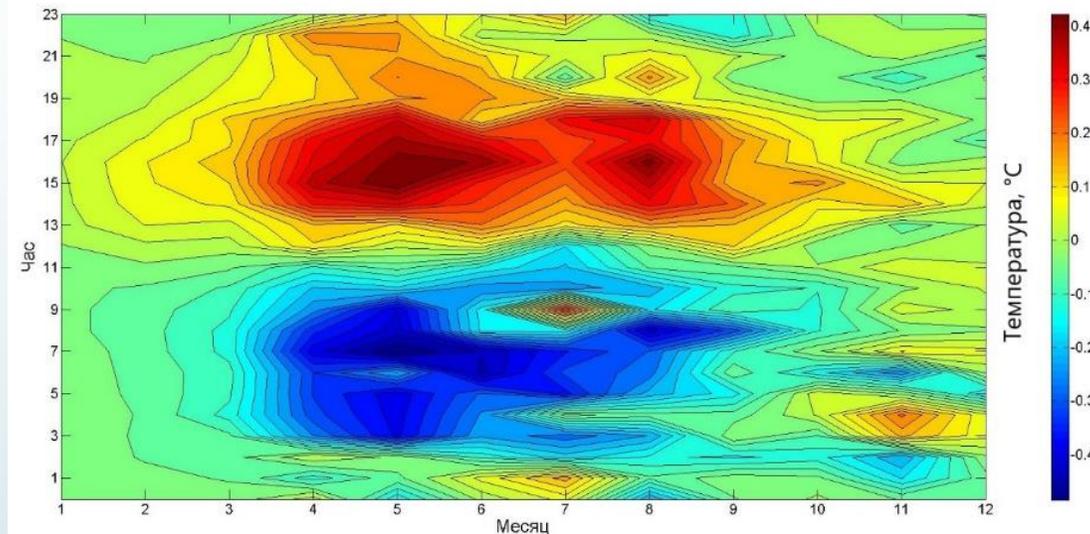
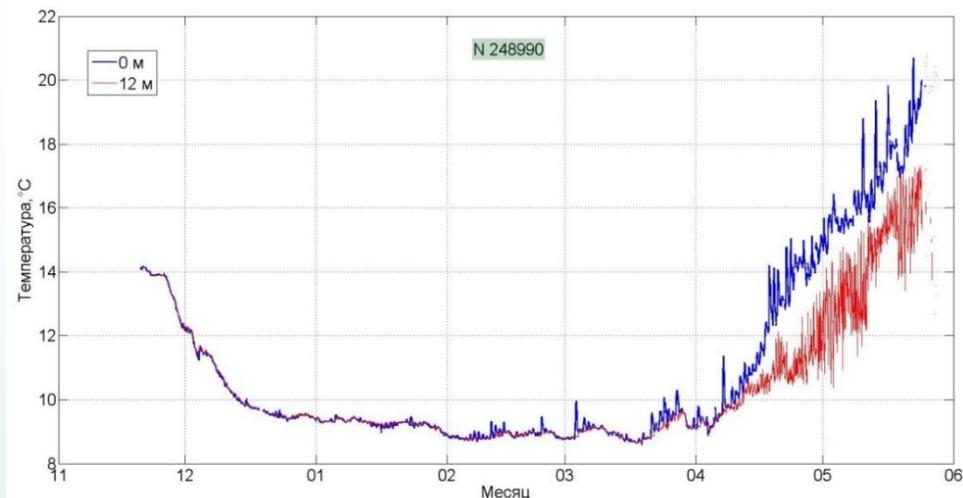
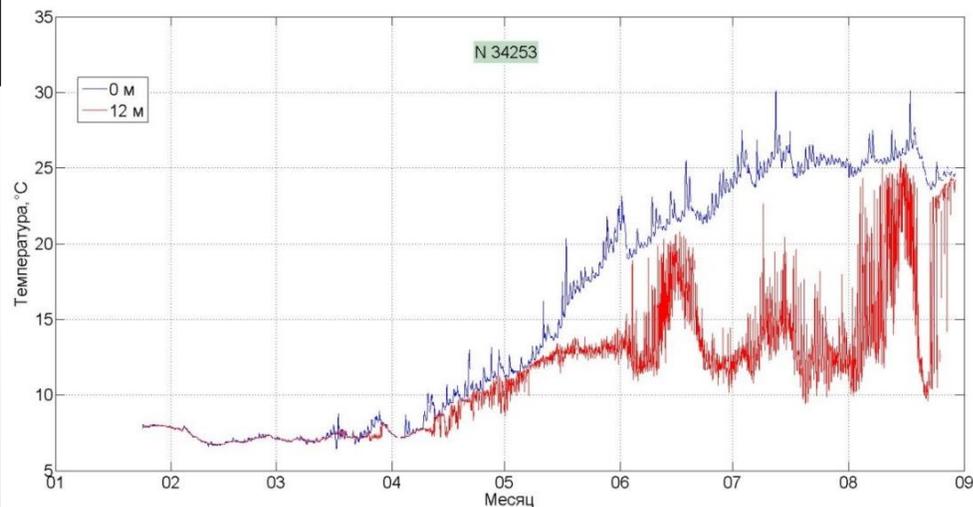


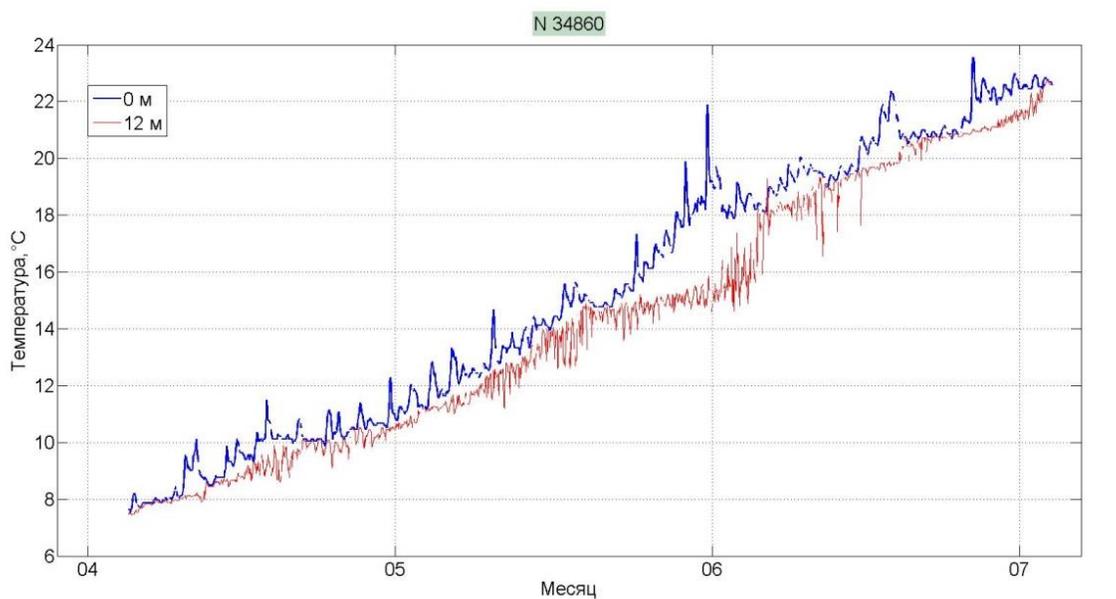
Диаграмма годичного распределения аномалий на горизонте 0 м

Распределение аномалий температуры поверхностного слоя для обоих массивов данных носят схожий характер. Численные различия могут объясняться отличием в сроках и методах получения этих массивов данных.

# Изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м



Графики изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м



В различные сезоны года характер суточных колебаний температуры на 0 м и на 12 м существенно отличается:

**Холодный период года:** колебания незначительны, значения температуры на данных горизонтах отличаются несущественно, что можно объяснить перемешиванием этих слоев

**Теплый период года:**

- ✓ имеет место устойчивая стратификация между слоями по температуре;
- ✓ хорошо выражен суточный ход температуры;
- ✓ на горизонте 12 м ход температуры имеет сложный характер;
- ✓ амплитуда колебаний в отдельных случаях превышает 10 °С.

# Случаи дневного прогрева в холодный период года

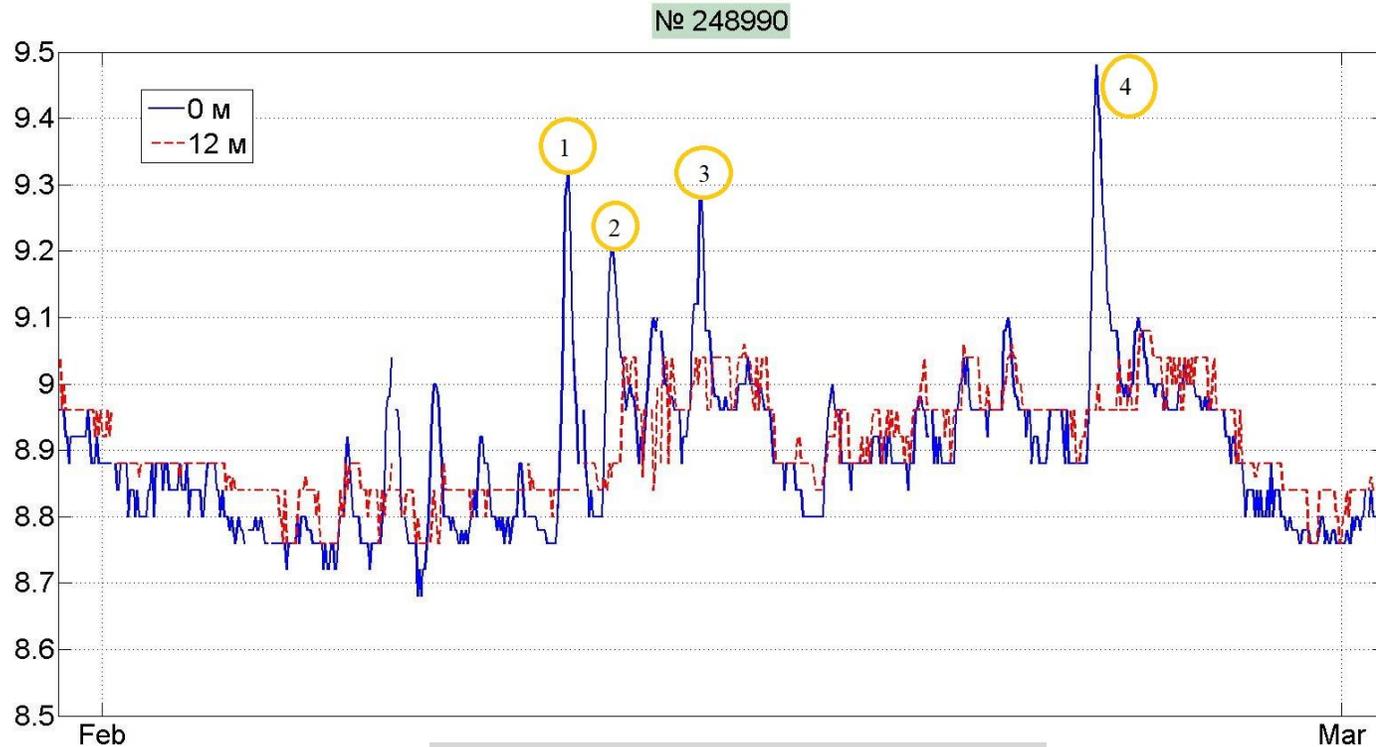
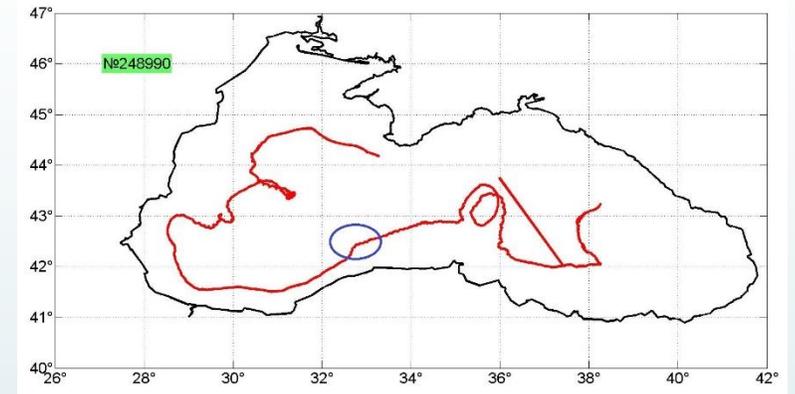


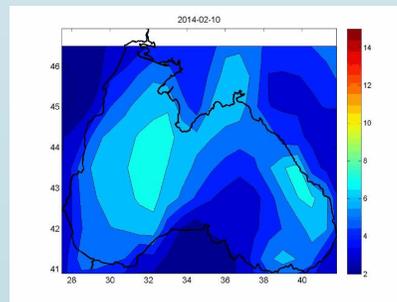
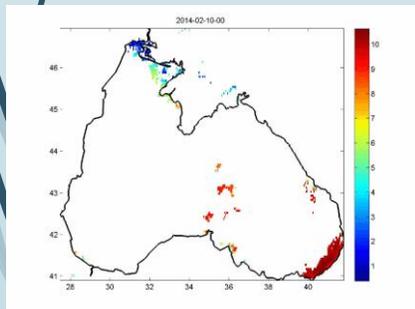
График изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м в феврале 2014 года

Траектория №248990



✓ В феврале 2014 года по данным термодрифтёра №248990 имели место следующие случаи значительного дневного прогрева: 11.02, 12.02, 14.02, и 23.02.

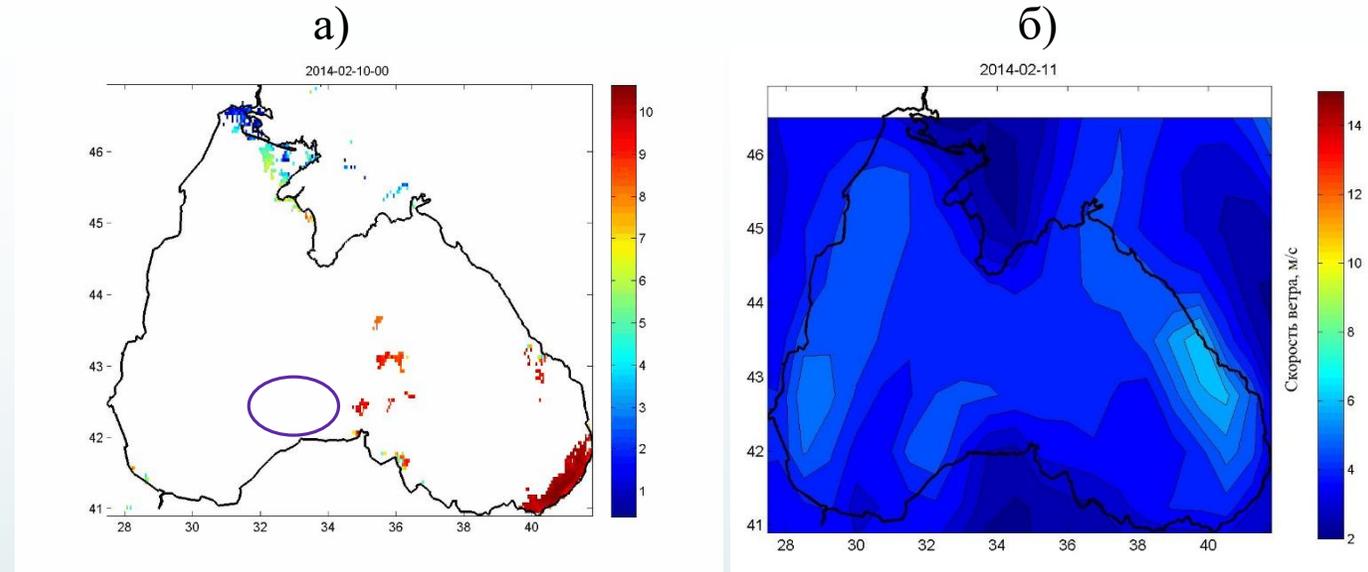
✓ Разность минимального и максимального значения температуры за сутки на горизонте 0 м достигала  $0,6^{\circ}\text{C}$  (23.02)



# Случай дневного прогрева 11.02.2014



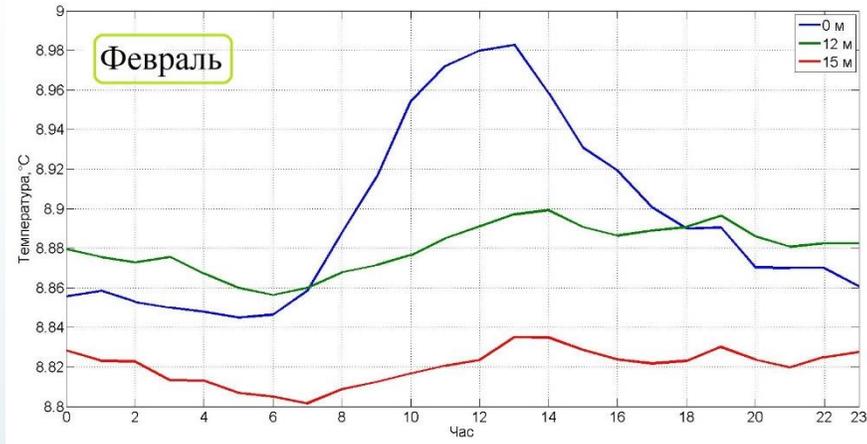
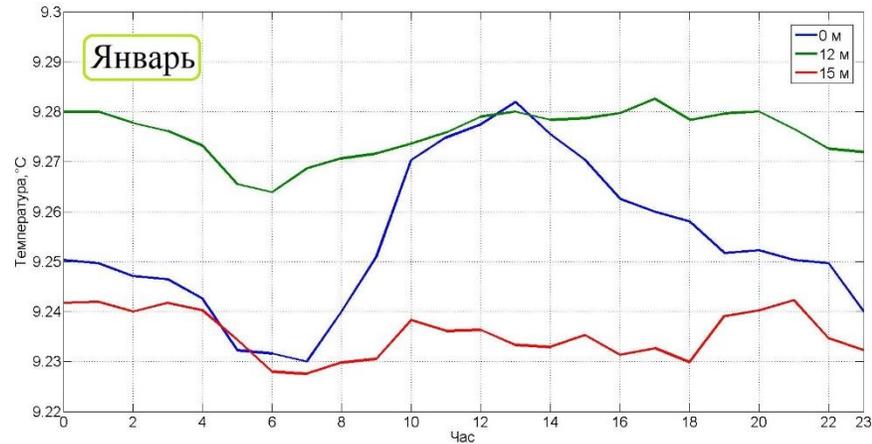
График изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м в феврале 2014 года



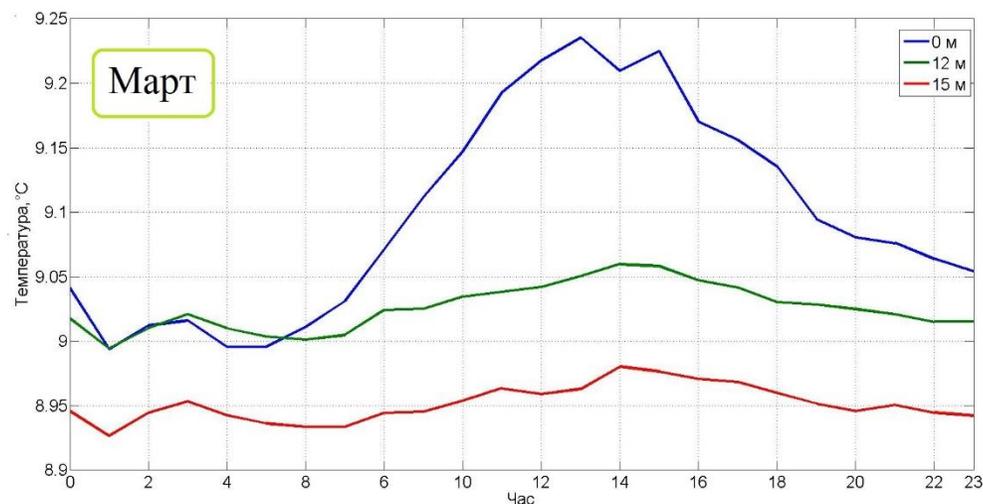
Карты распределения: а) суточного хода ТПМ за 10-11.02.14; б) среднего модуля скорости ветра за 11.02.14

- ✓ 11.02.2014 температура за сутки на горизонте 0 м увеличилась от минимального значения 8,8°C до максимального 9,3 °C. Таким образом, величина суточного прогрева составил ~0,5 °C.
- ✓ На горизонте 12 м за этот же период времени изменения температуры практически не наблюдалось. Это указывает на то, что перемешивания поверхностного слоя с более глубинными не происходило.
- ✓ Данному случаю прогрева способствовали соответствующие условия: сравнительно небольшая скорость ветра (4-5 м/с) и достаточно низкая облачность над большей частью акватории за указанный промежуток времени.

# Особенностей суточного хода температуры в холодный период года



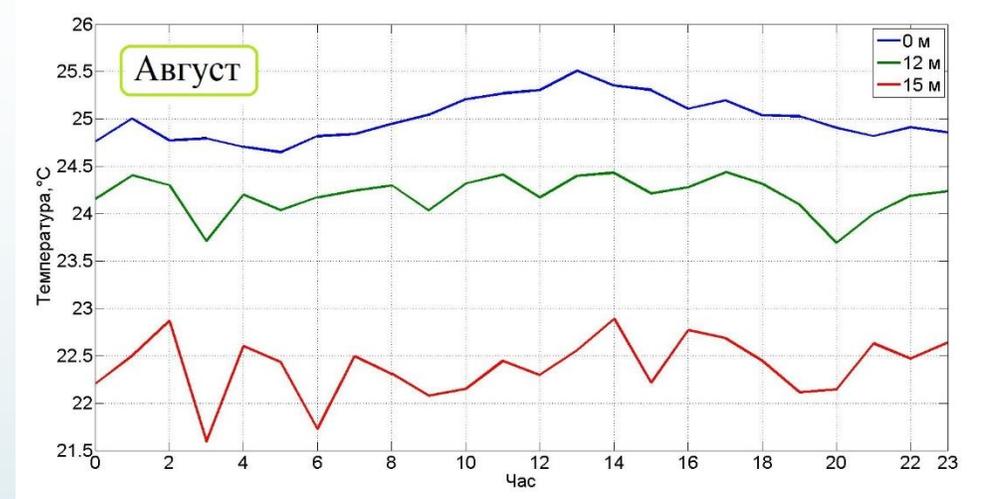
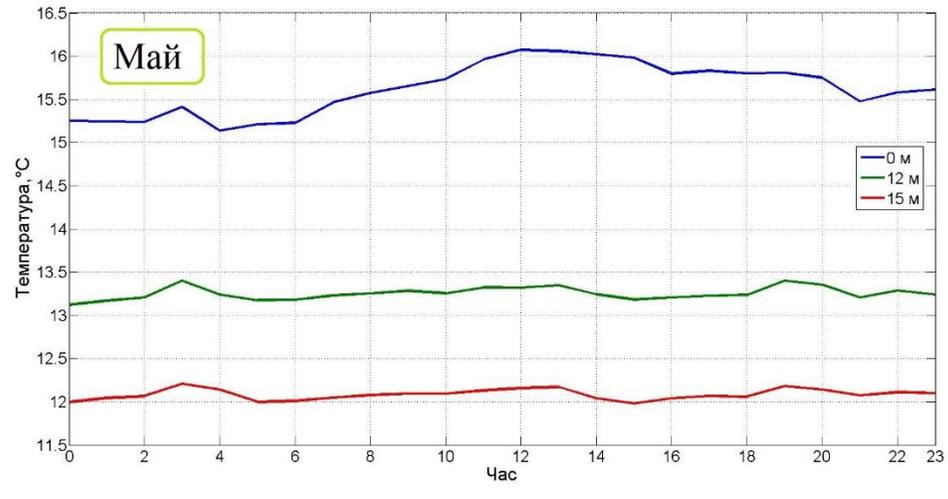
Графики температуры на горизонтах 0, 12 и 15 м



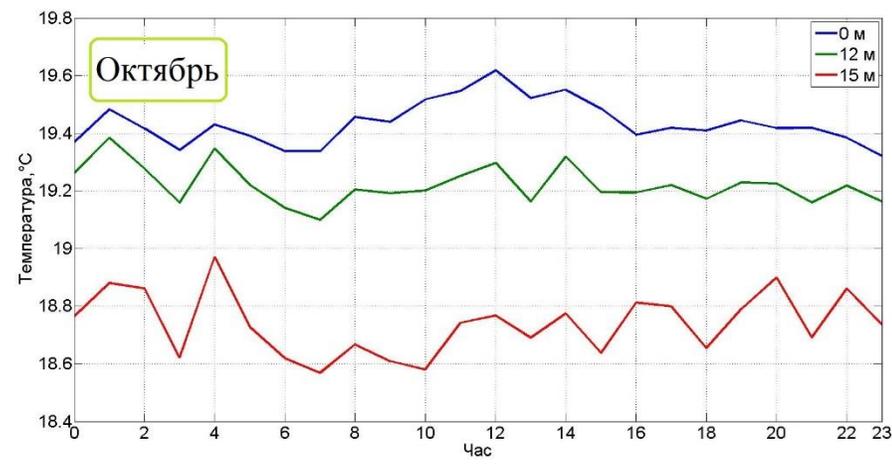
- ✓ **Январь** – температура на горизонте 0 м меньше, чем на горизонтах 12 м и 15 м.
- ✓ **Февраль-март** – днем поверхность нагревается сильнее, чем слои 12-15 м, а в период ночного охлаждения температура становится меньше, чем в этих слоях, что говорит о том, что ночью воды могут перемешиваться до этих слоев.
- ✓ **Зимой** небольшие колебания суточного хода температуры присутствуют и на глубинах 12 м, с минимумом в 4-6 часов.

# Суточного хода температуры в теплый период года по данным буев

21



Графики температуры на горизонтах 0, 12 и 15 м



- ✓ **Летом** суточный ход температуры ярко выражен только для горизонта 0 м.
- ✓ На примерах графиков температур для мая, августа и октября видно, что **стратификация по температуре устойчива в теплый период года**, перемешивание водных слоев не происходит.

# Обобщения и выводы

- 1.2 Максимальные по модулю суточные отклонения температуры в поверхностном слое от среднесезонных значений наблюдается в весенне-летний период, наименьшие – в осенне-зимний период. Минимальные по модулю аномалии наблюдаются с середины ноября по март.
2. Наиболее часто интенсивный дневной прогрев наблюдался в мае, когда скорость ветра минимальна. Развитию дневного прогрева способствовали штилевые условия. В отдельных случаях амплитуда суточного хода ТПМ превышала  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и достигала экстремально высоких значений –  $7-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
3. В различные сезоны года характер суточных колебаний температуры на горизонте  $0\text{ м}$  и в глубинных слоях существенно отличается. В холодный период эти колебания незначительны, значения температуры на данных горизонтах отличаются несущественно, что можно объяснить перемешиванием этих слоев. В теплый период имеет место устойчивая стратификация между слоями по температуре. На поверхности хорошо выражен суточный ход температуры. На горизонте  $12\text{ м}$  ход температуры имеет сложный характер. Амплитуда колебаний в отдельных случаях превышает  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. Зимой отмечено наличие значительного для данного сезона дневного прогрева на горизонте  $0\text{ м}$ : разность минимального и максимального значения температуры за сутки на горизонте  $0\text{ м}$  достигала  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Этим случаям прогрева способствовали соответствующие условия: сравнительно небольшая скорость ветра ( $4-5\text{ м/с}$ ) и достаточно низкая облачность над большей частью акватории.
5. Отмечен ряд особенностей суточного хода в холодный период года: температура на горизонте  $0\text{ м}$  меньше, чем в глубинных слоях (на горизонте  $12\text{ м}$ ). В теплый период года данной особенности не наблюдается.



Спасибо за внимание!



# Литература

1. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Коротаев Г.К. и др. Термопрофилирующий дрейфующий буй // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – Вып. 11. – С. 143 – 154.
2. Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Мотыжев С.В. Особенности информационного обеспечения термопрофилирующих дрейфующих буйев // Там же. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – Вып. 11. – С. 132 – 142.
3. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В. Исследование верхнего слоя Черного моря с помощью термопрофилирующих дрейфующих буйев // Там же. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – Вып. 16. – С. 116 – 123.
4. А.П. Толстошеев, Е.Г. Лунев, С.В. Мотыжев. Анализ результатов натуральных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буйами в Черном море и других районах Мирового океана // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 5. С. 9 – 32.