



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 ~0.5–1 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 °С на глубине 0.3–0.6 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

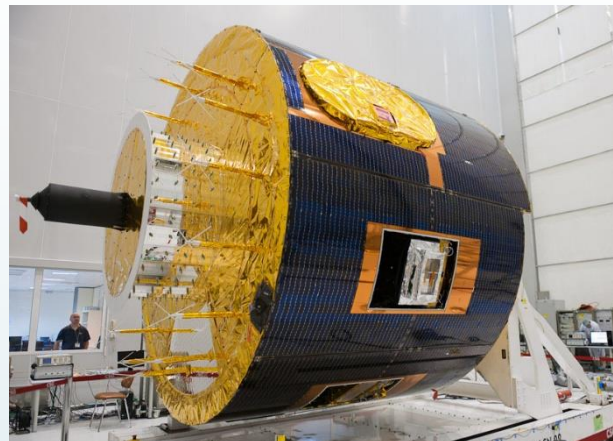
4

Данные сканера SEVIRI

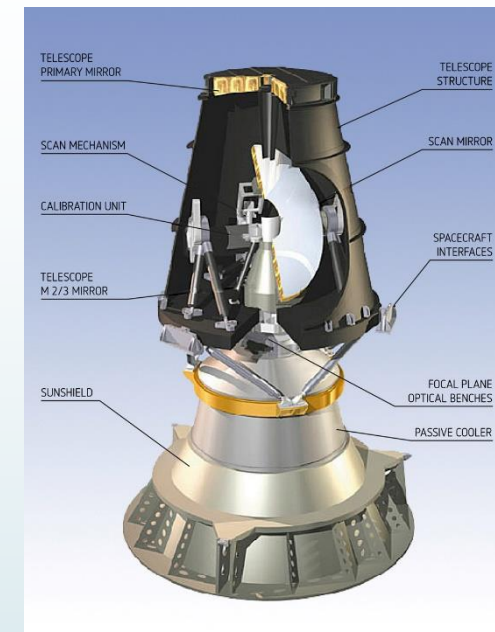
5

- ✓ 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.

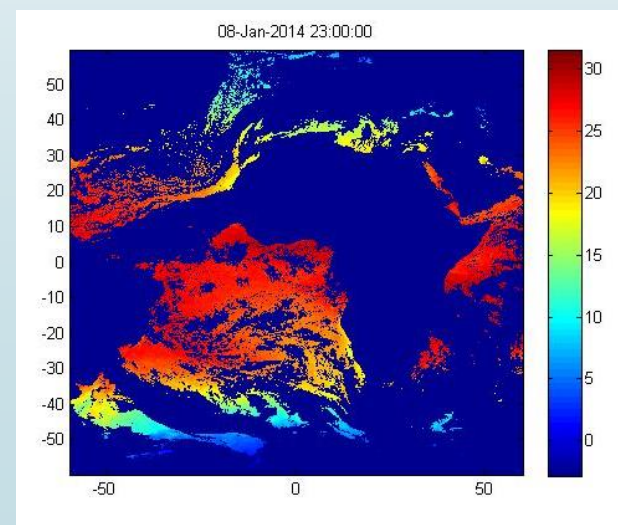
Источник данных: <http://www.osi-saf.org/>.
Анализируемые данные: температура поверхностного слоя моря.
Временное разрешение – 1 час.
Пространственное разрешение – 5 км.



Спутник Meteosat Second Generation (MSG)



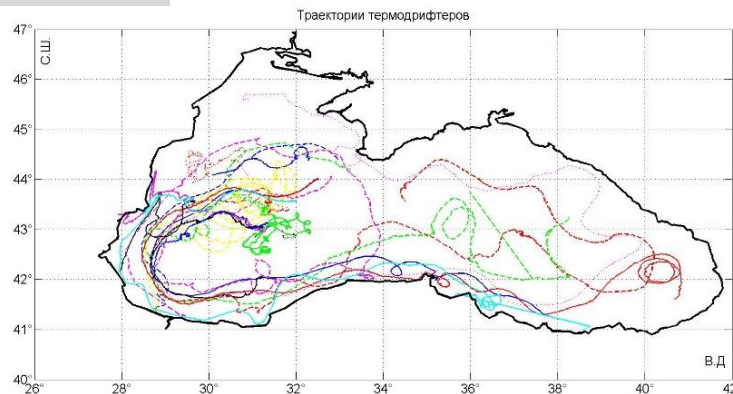
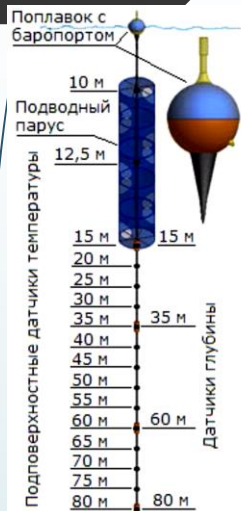
Радиометр SEVIRI



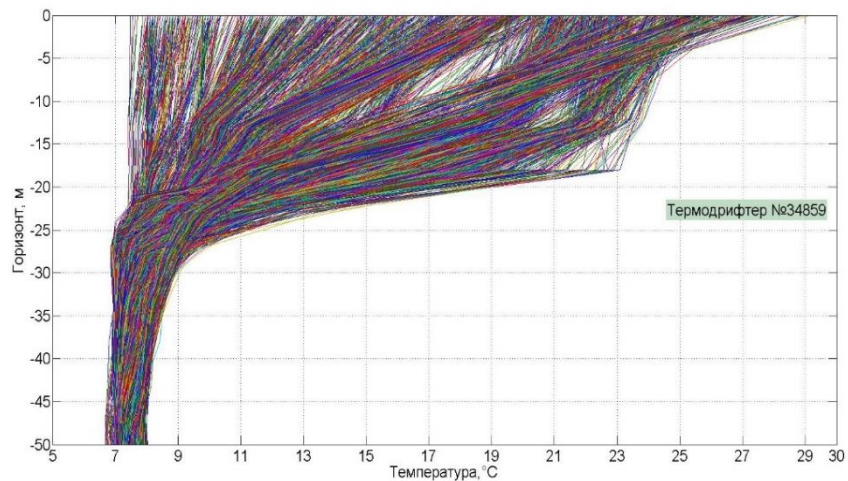
Данные термопрофилирующих дрейфующих буев (термодрифтеров)

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

Данные реанализа «Era-Interim»

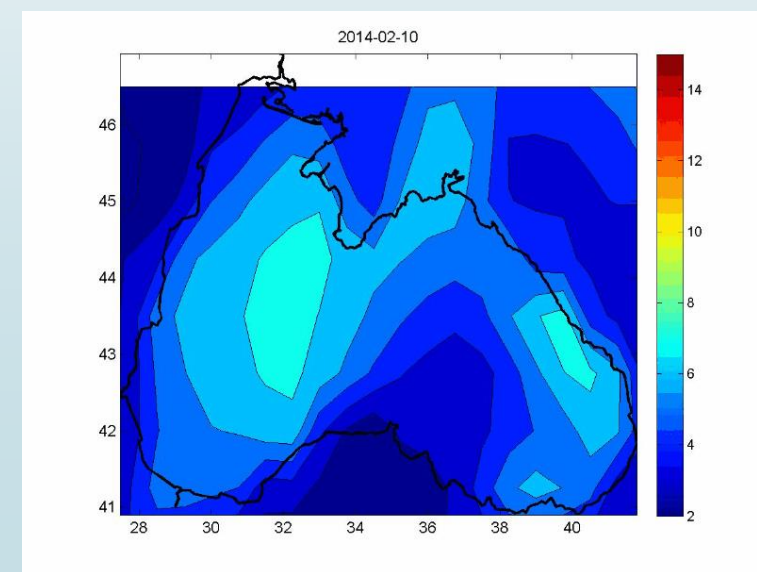
Для анализа поля ветра использовались данные реанализа «Era-Interim» о скорости ветра на высоте 10 м для района Черного моря.

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

Анализируемые данные: направление и величина скорости ветра.

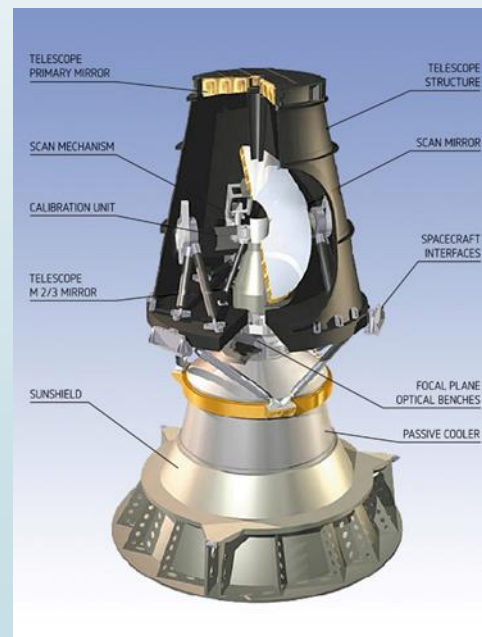
Временное разрешение – 6 часов.

Пространственное разрешение – 80 км.



1. Суточный ход ТПМ по данным SEVIRI

8



Сезонный и суточный ход ТПМ в Черном море за 2015 год

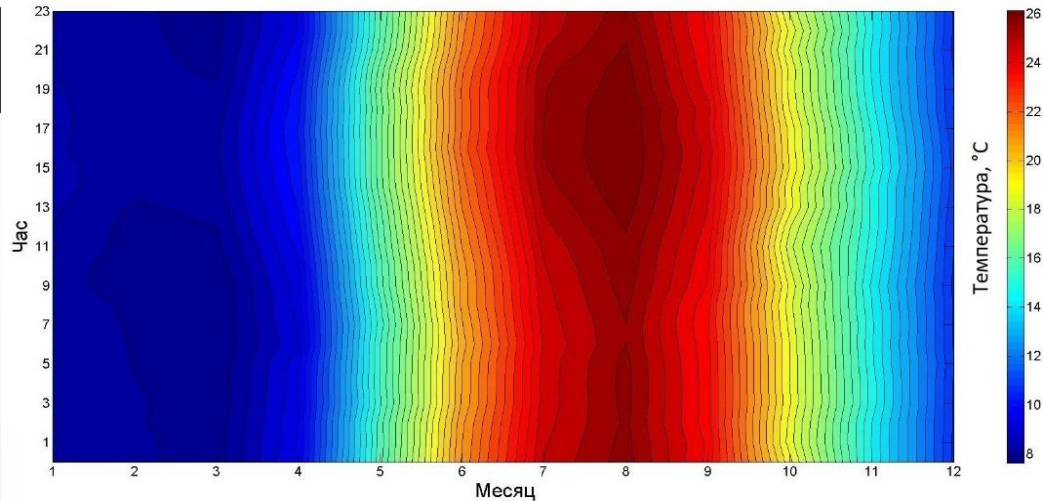


Диаграмма годичного распределения средней по бассейну ТПМ по часам суток и месяцам года.

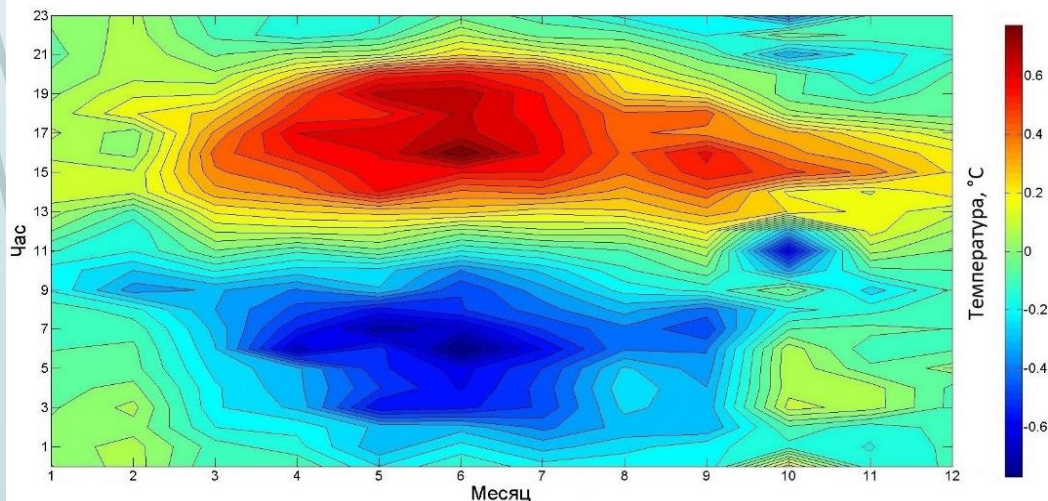


Диаграмма годичного распределения аномалий ТПМ отображает отклонение суточного хода ТПМ от среднего значения.

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.

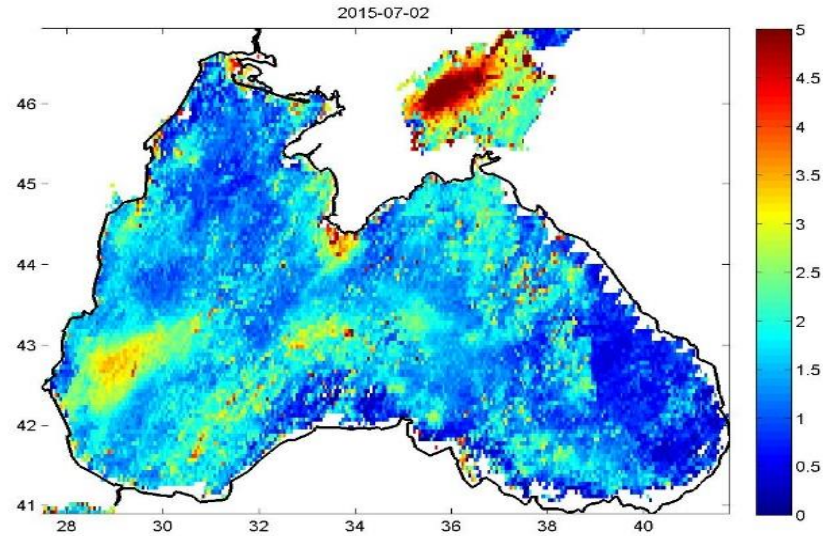
- Для того чтобы выделить суточный ход температуры из диаграммы годичного распределения ТПМ был вычтен средний сезонный ход ТПМ. Таким образом получена диаграмма аномалий ТПМ.
- Максимальные по модулю отрицательные аномалии ТПМ приходятся на время с 05.00 до 07.00, а максимальные положительные с 15.00 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

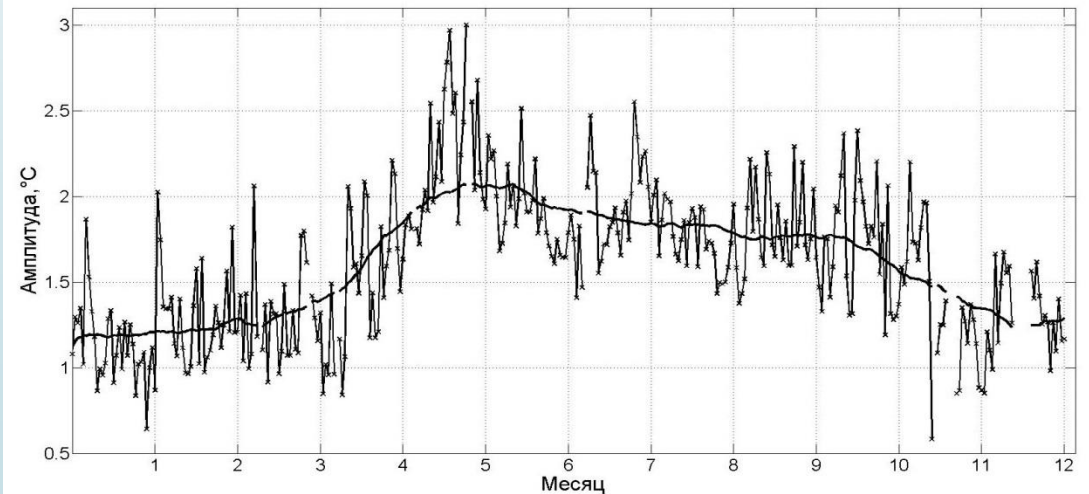
В каждой точке, где определялась температура, было найдено ее максимальное и минимальное значение за сутки, а также их разность — амплитуда суточного хода температуры (далее A).

- ✓ После чего рассчитан временной ход средних по бассейну значений A .
- ✓ 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.



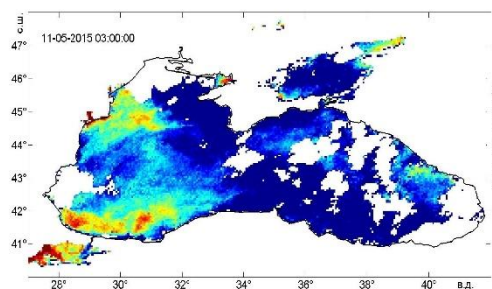
Анализ дневной прогресс на примере 11 мая 2015

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

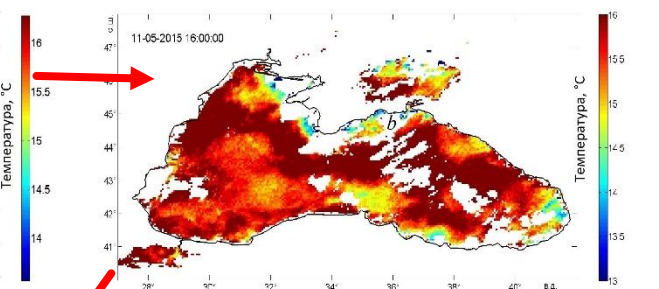
Случаи наибольшего перепада ТПМ для отдельных областей Черного моря зафиксирован 26.02, 11.04, **11.05**, 14.05, 17.05, 18.05, 25.05, 01.06, 13.06, 08.07, 24.07, 04.09.

Пример дневного прогресса 11.05.15 (один из наиболее ярких случаев)

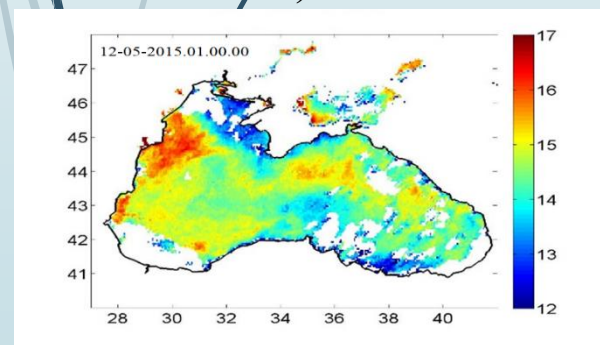
а)



б)



в)



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

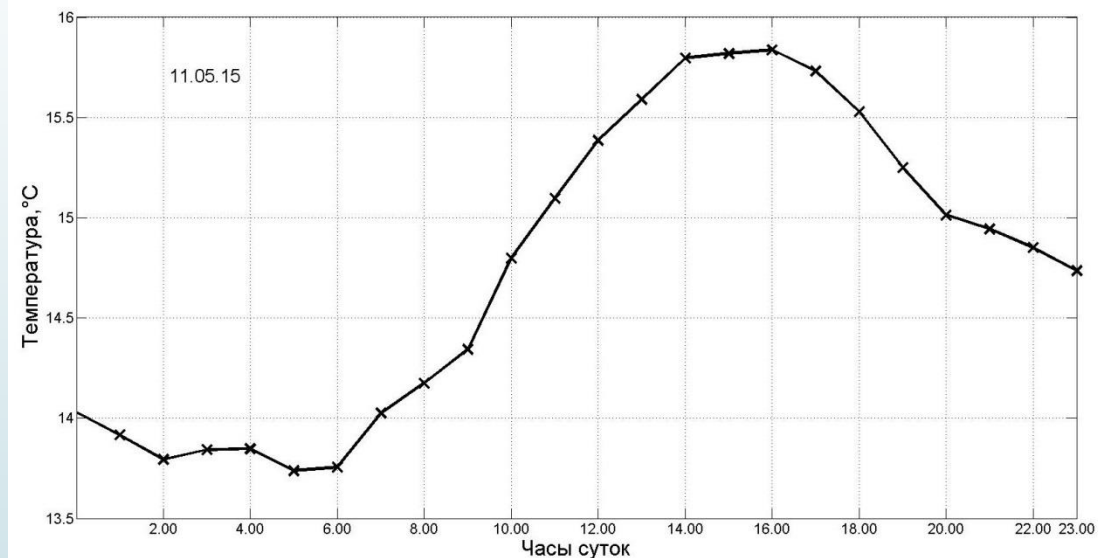


График изменения средней по площади ТПМ Черного моря за 11.05.15.

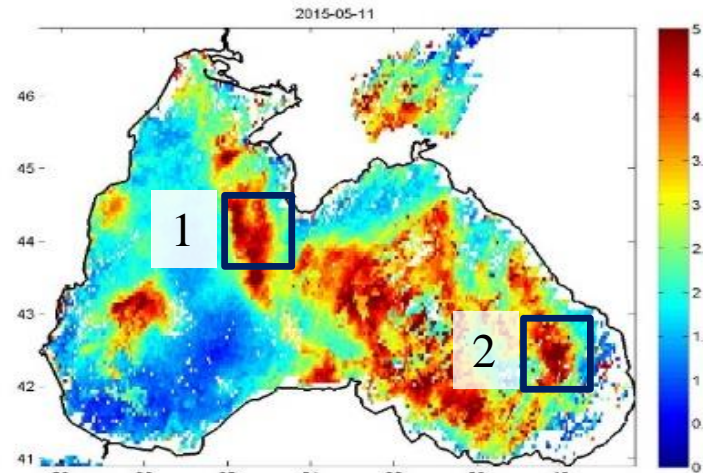
Анализ карт распределения ТПМ за 11.05 показывает, что наиболее интенсивное ее увеличение происходит с 9.00 до 14.00, с 14.00 до 16.00 ч. ТПМ практически не изменяется, далее происходит ее снижение. Амплитуда ТПМ составила 2 °C.

Анализ дневной прогресс на примере 11 мая 2015

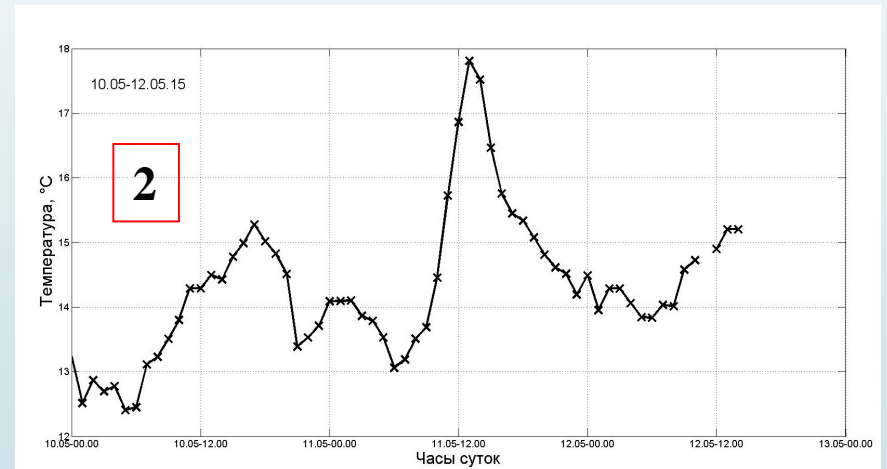
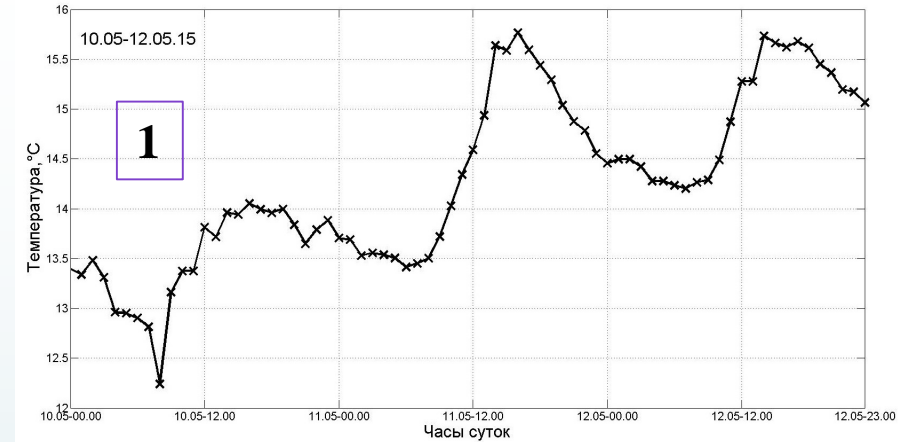
12

Анализ прогресса за 11.05.15 в отдельно взятых точках Черного моря.

- ✓ В точке 1 амплитуда суточного хода ТПМ составила 2.4°C .
- ✓ В точке 2 она достигла 5.5°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



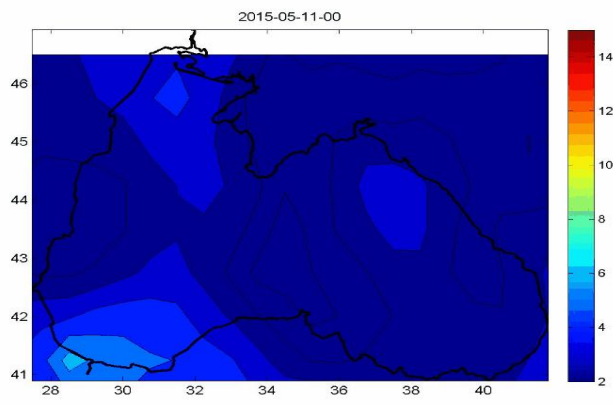
Графики изменения ТПМ для выбранных точек 1 и 2 Черного моря с 10.05.15 по 12.05.15.

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

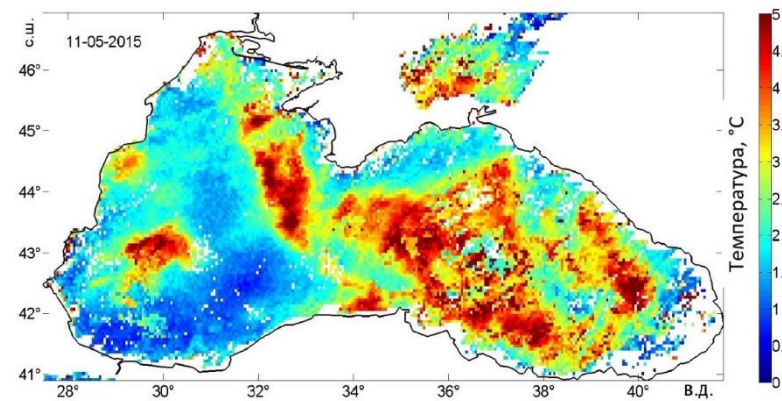
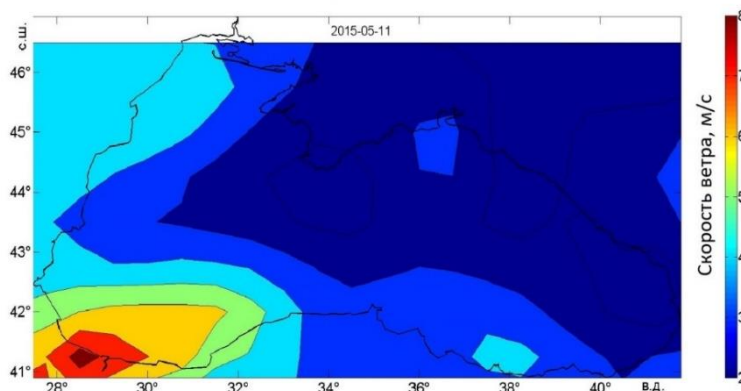
Влияние ветра на дневной прогрев

13

а)



б)



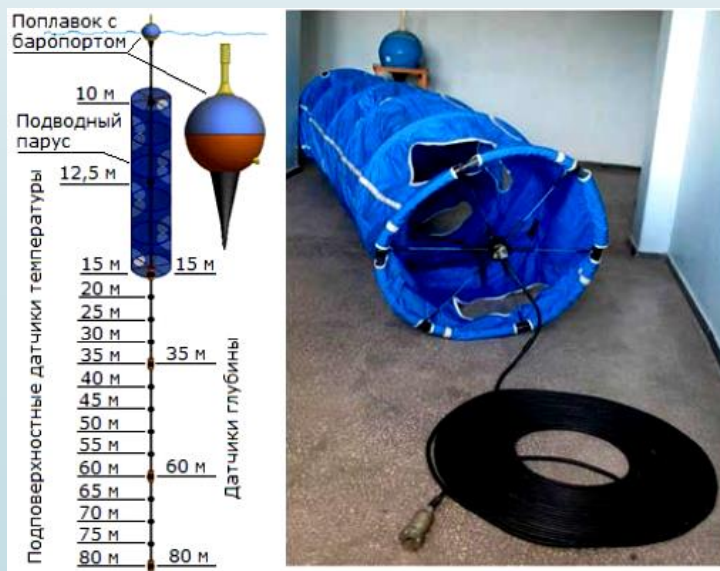
Карты распределения:

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 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

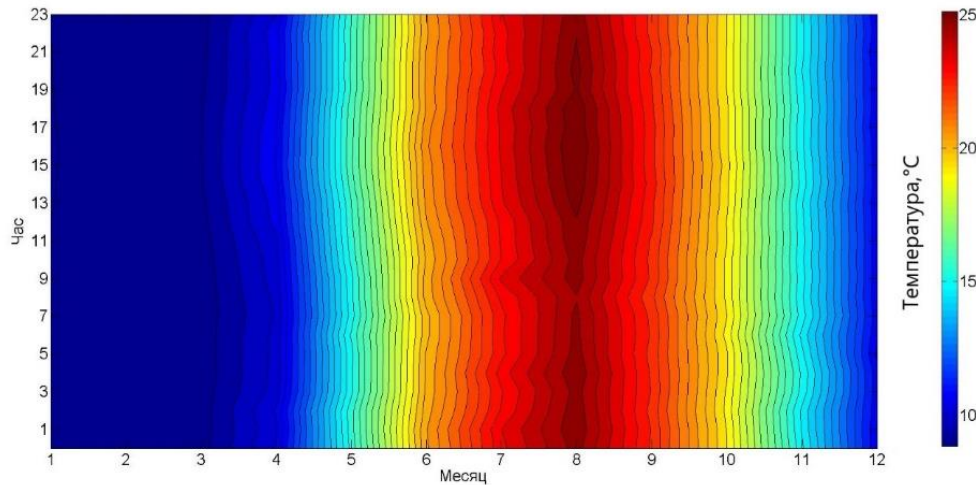


Диаграмма годичного распределения температуры на горизонте 0 м по часам суток и месяцам года.

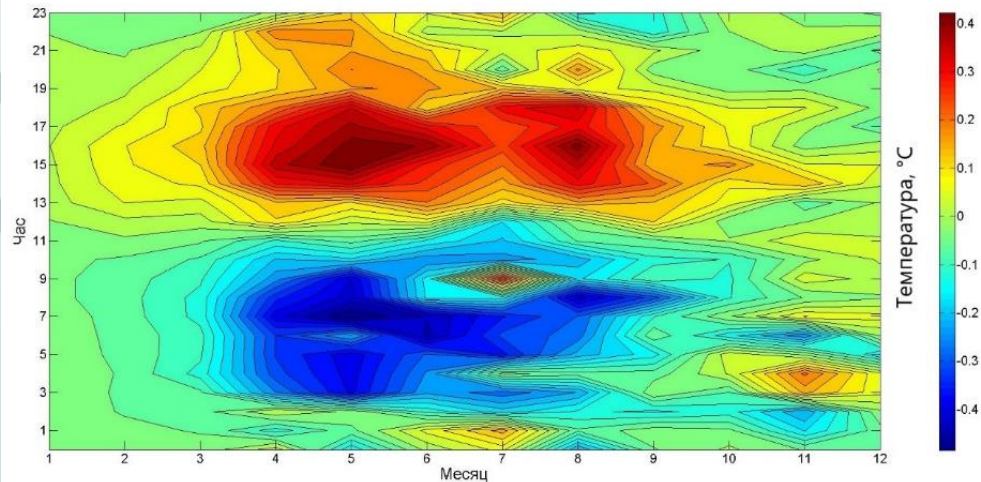


Диаграмма годичного распределения аномалий на горизонте 0 м отображает отклонение суточного хода температуры от среднего значения.

- ✓ 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

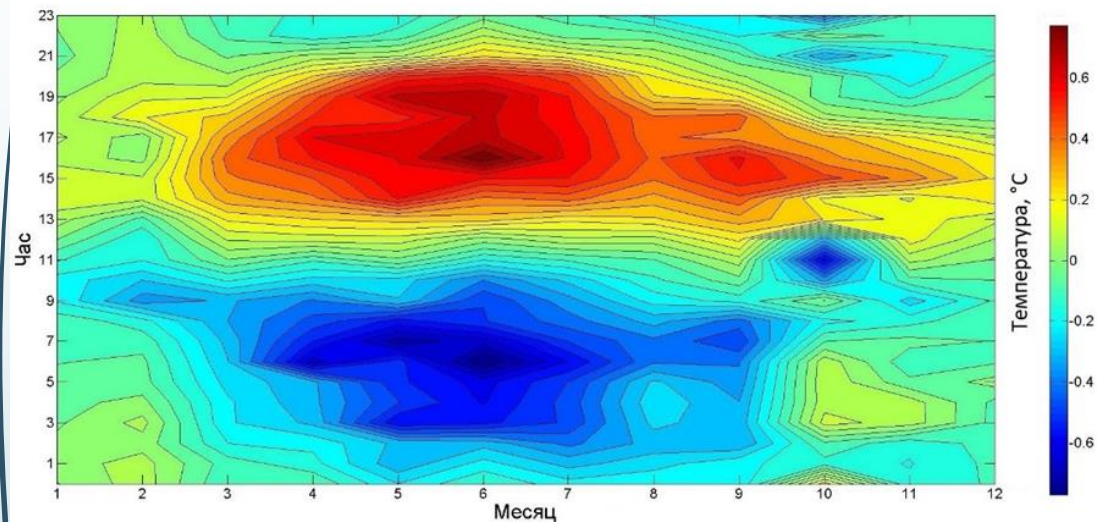


Диаграмма годичного распределения аномалий ТПМ

на 0 м по данным термодрифтеров

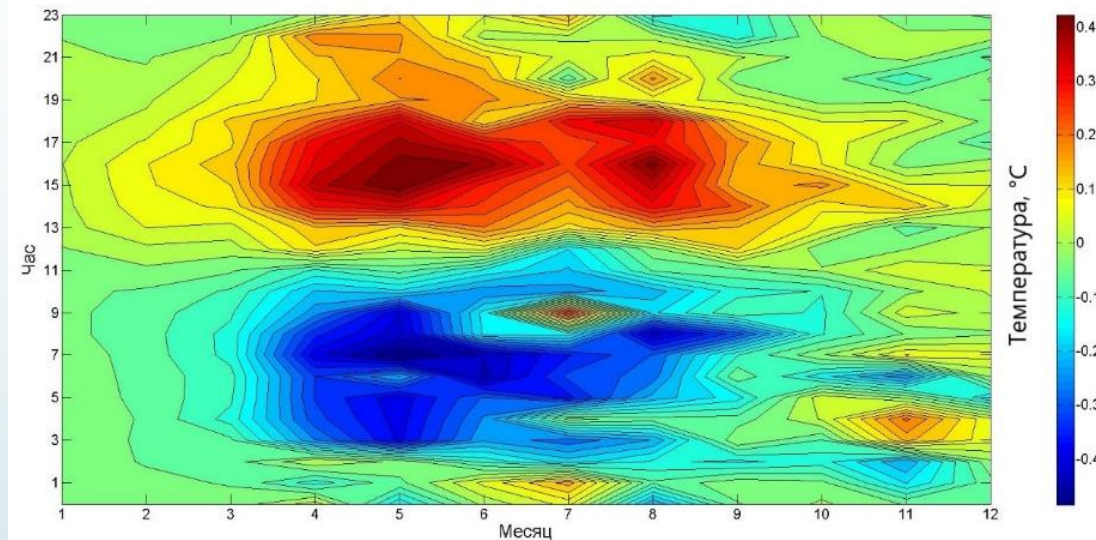
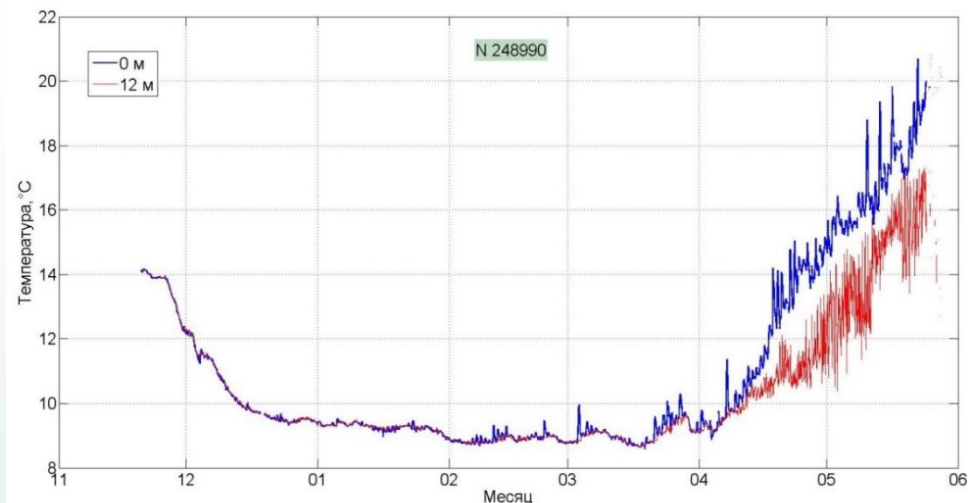
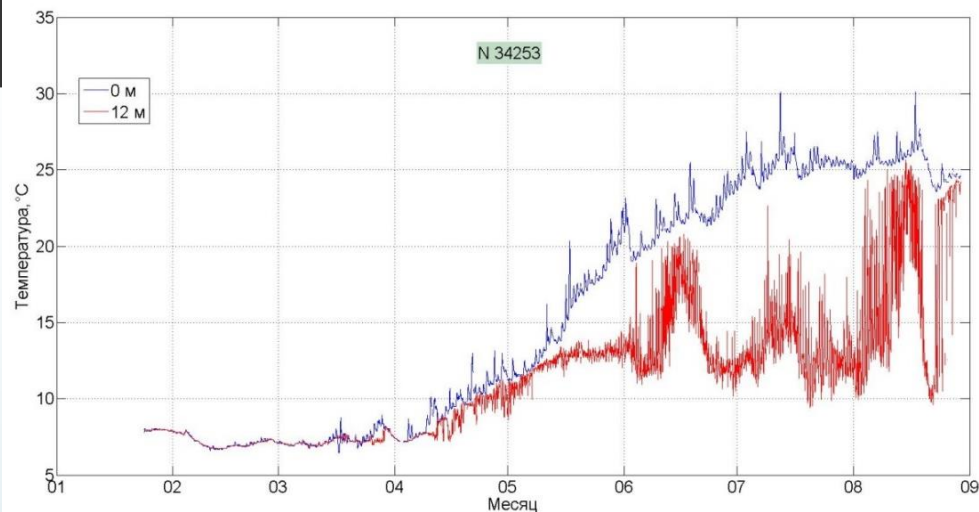


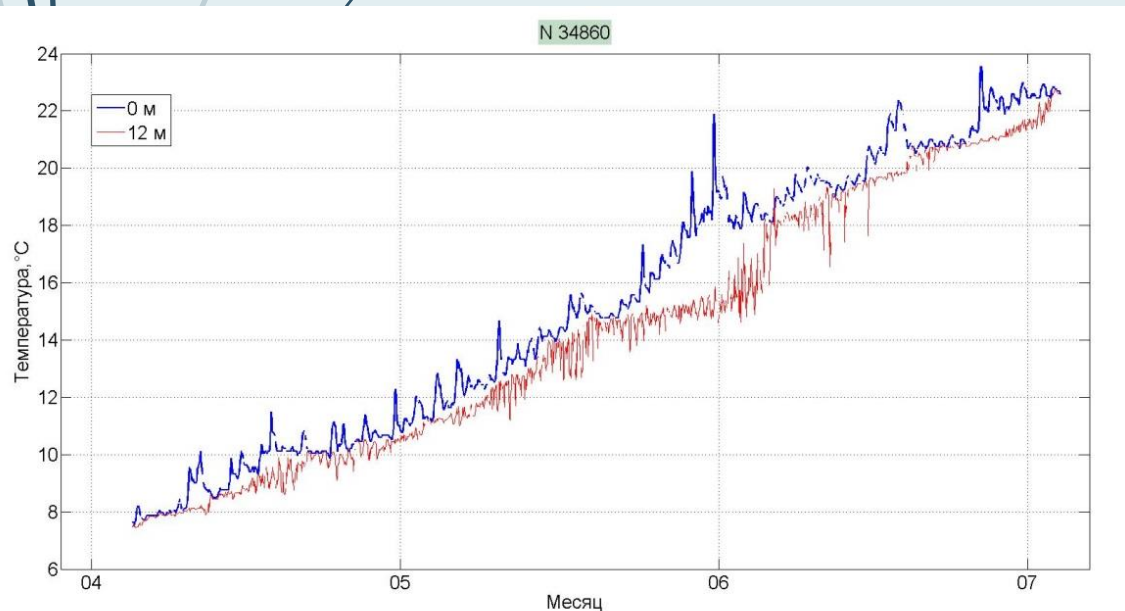
Диаграмма годичного распределения аномалий на горизонте 0 м

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

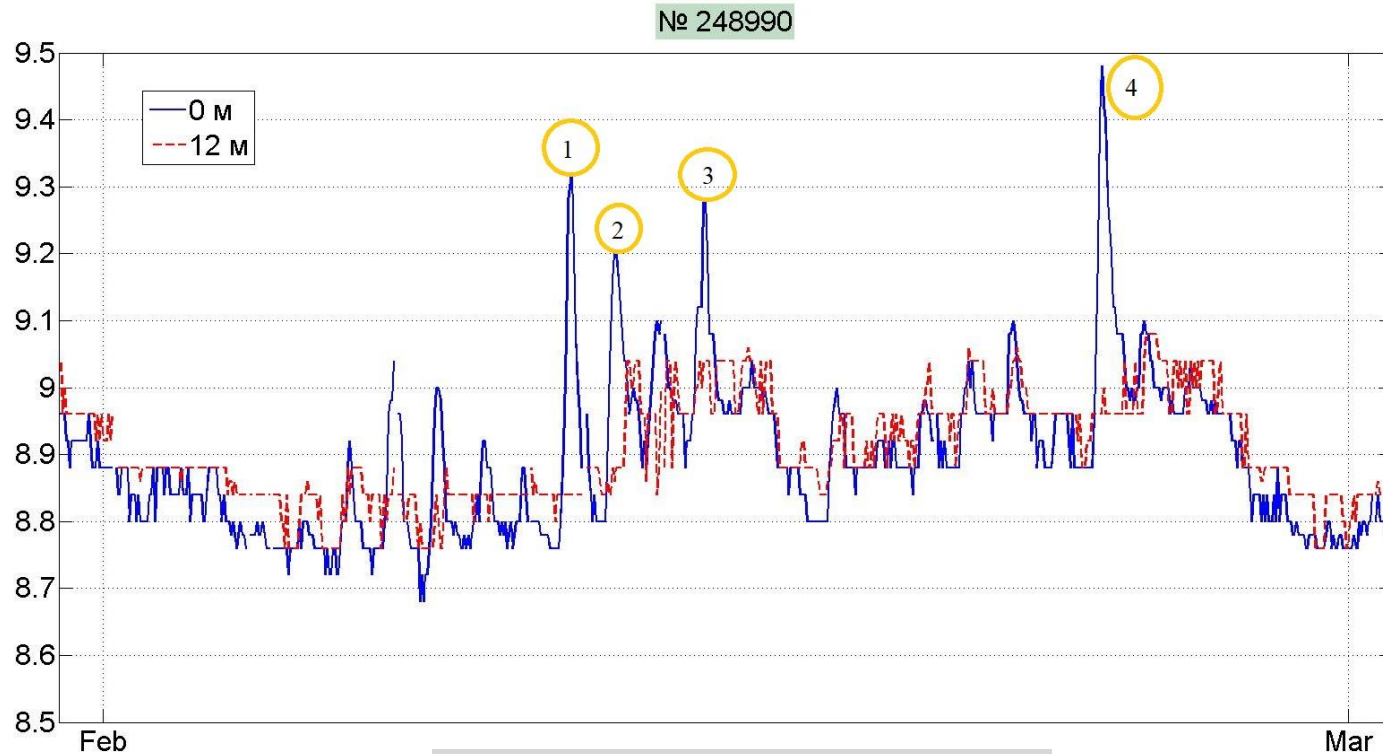
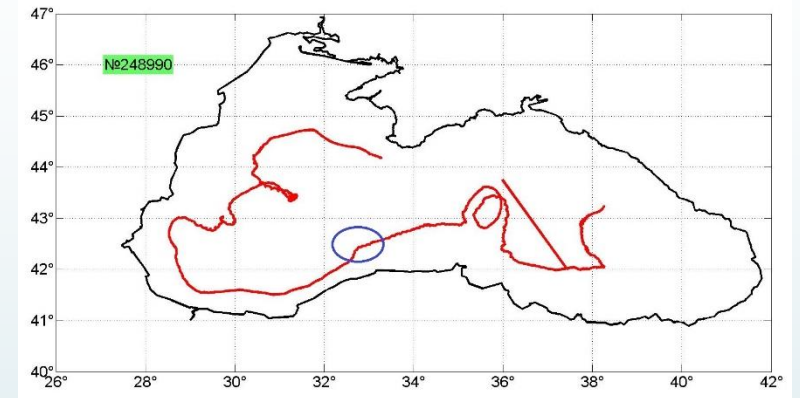


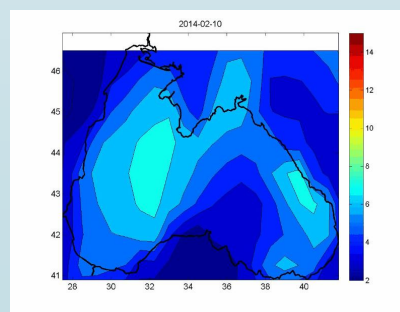
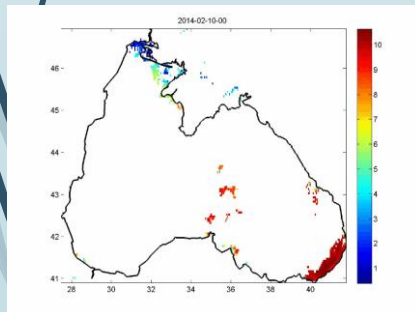
График изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м в феврале 2014 года

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

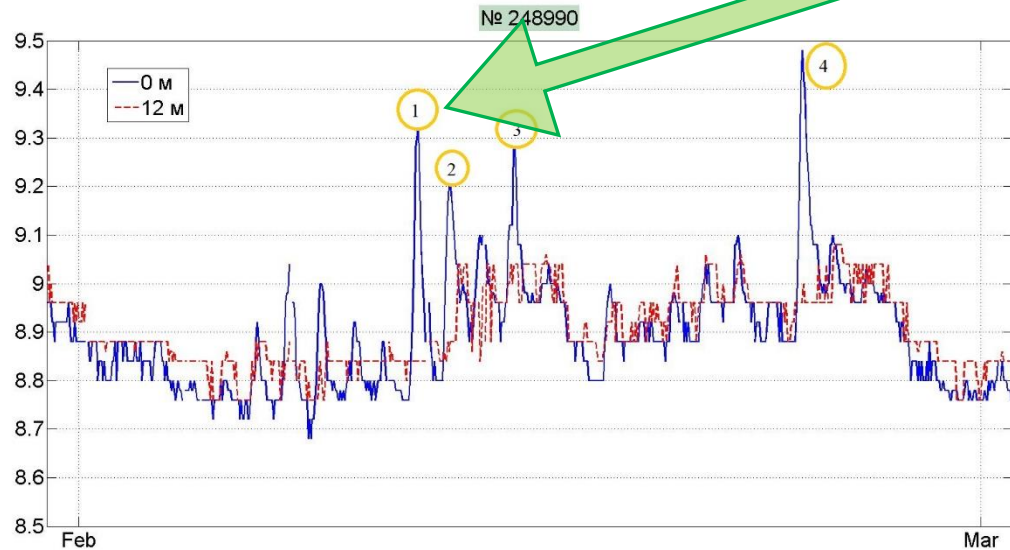
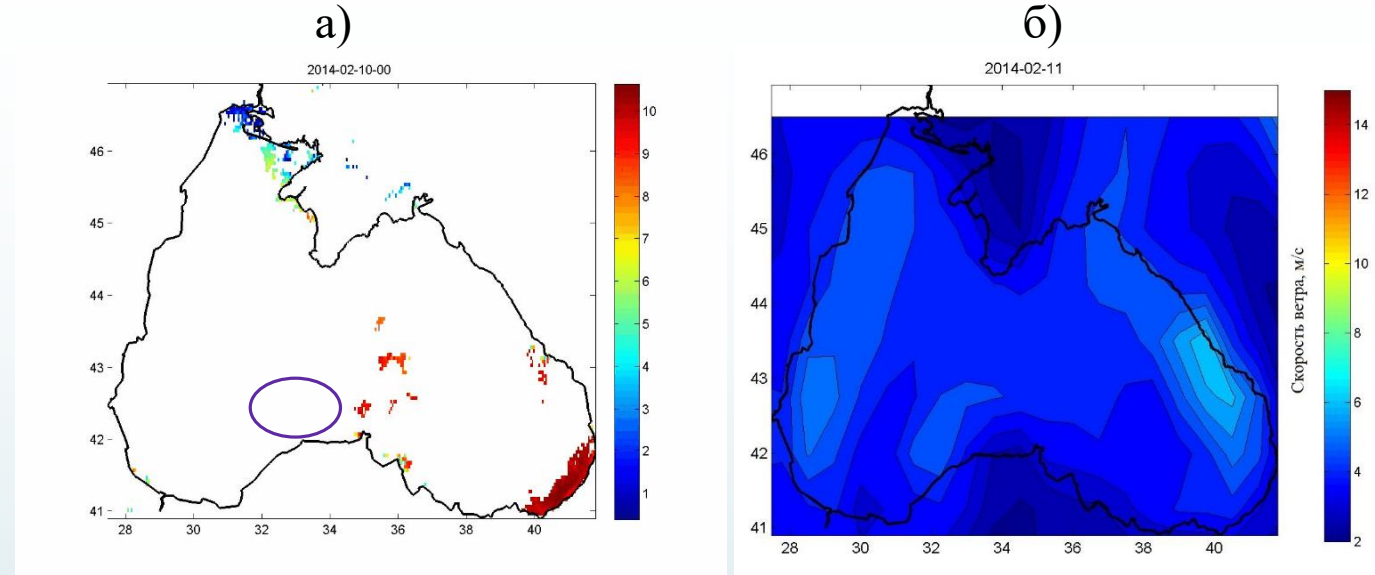


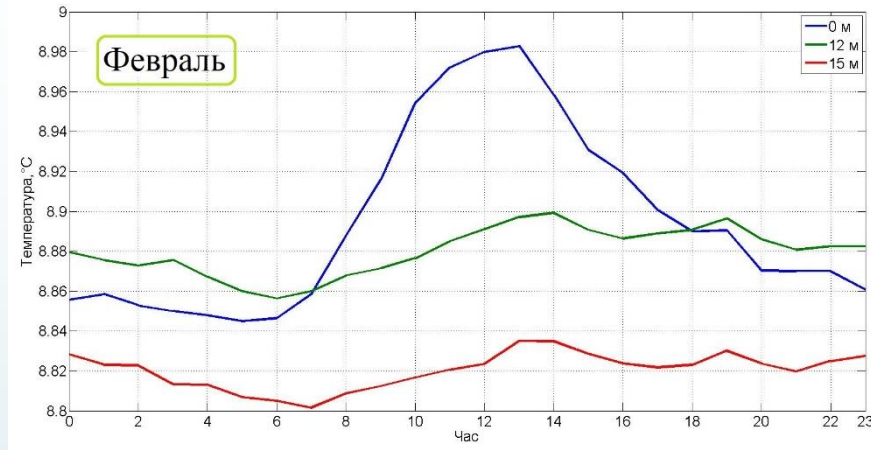
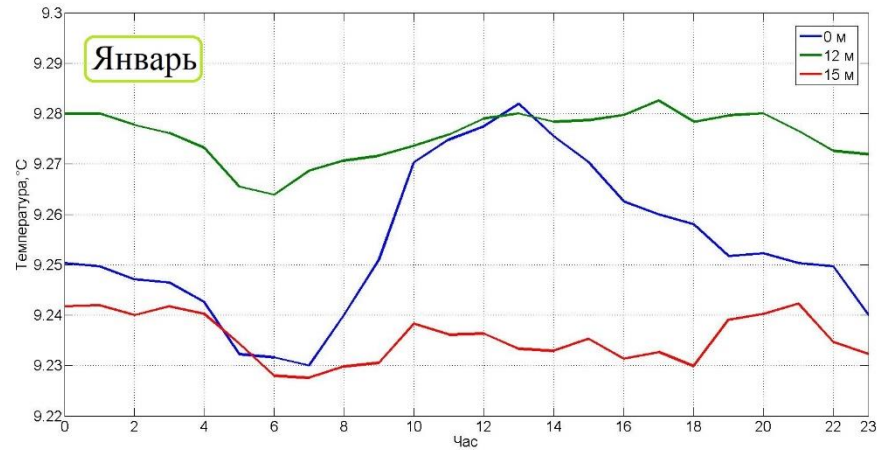
График изменения температуры на горизонтах 0 м и 12 м в феврале 2014 года



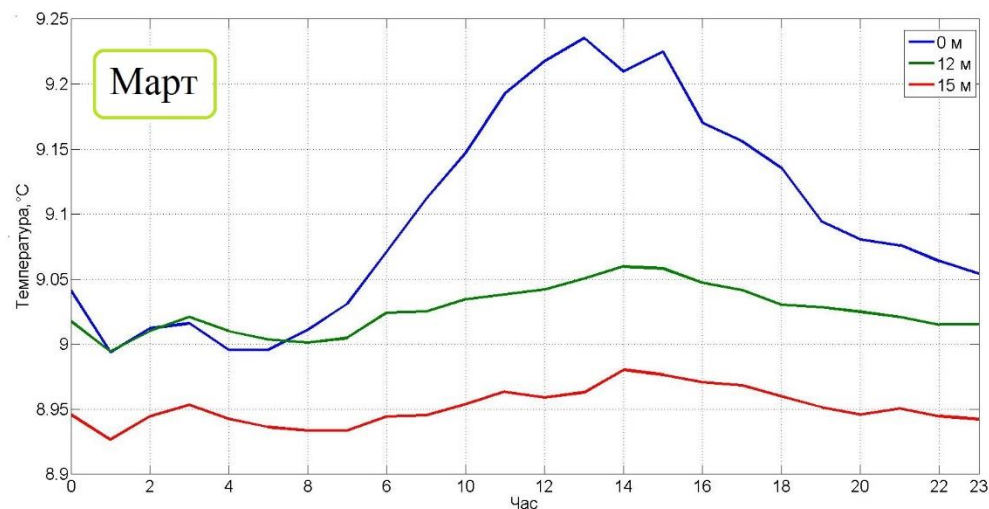
Карты распределения: а) суточного хода ТПМ за 10-11.02.14; б) среднего модуля скорости ветра за 11.02.14

- ✓ 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



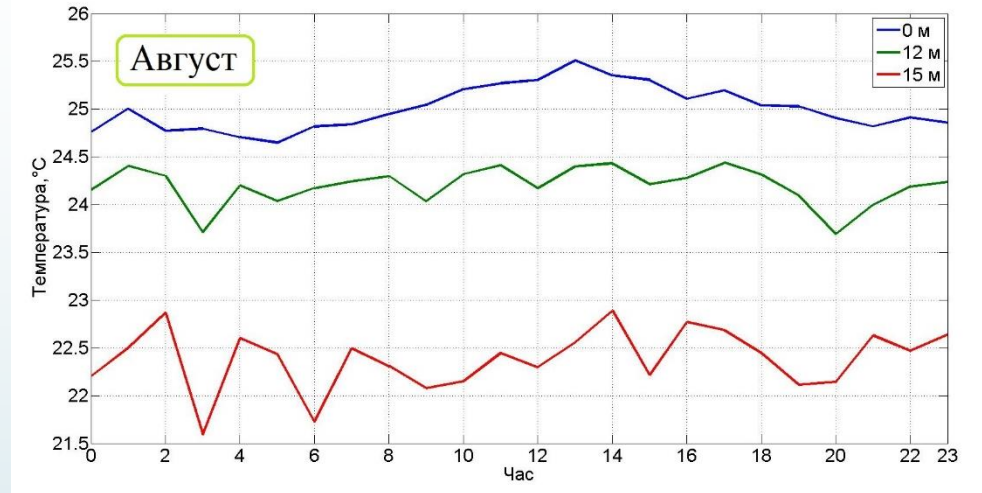
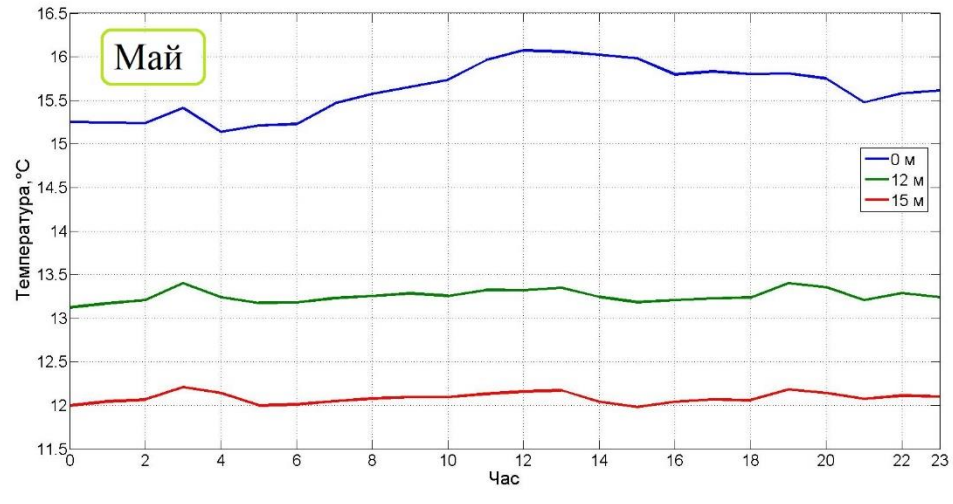
Графики температуры на горизонтах 0, 12 и 15 м



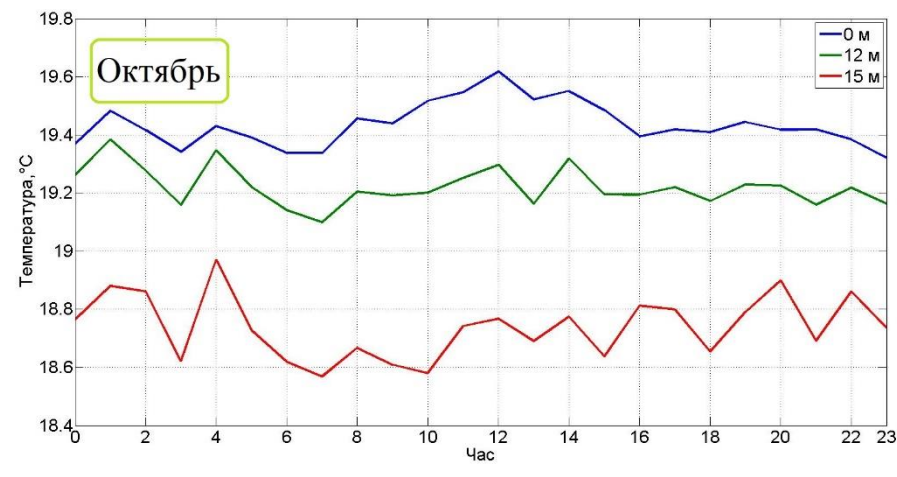
- ✓ **Январь** – температура на горизонте 0 м меньше, чем на горизонтах 12 м и 15 м.
- ✓ **Февраль-март** – днем поверхность нагревается сильнее, чем слои 12-15 м, а в период ночного охлаждения температура становится меньше, чем в этих слоях, что говорит о том, что ночью воды могут перемешиваться до 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 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 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 м : разность минимального и максимального значения температуры за сутки на горизонте 0 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 м меньше, чем в глубинных слоях (на горизонте 12 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 буюв // 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 буюв // 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 буюями в Черном море и других районах Мирового океана //Морской гидрофизический журнал. 2014. № 5. С. 9 – 32.