

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»

ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ МРАМОРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СКАНЕРОВ TIRS И TIR

Медведева А. В., Василенко Н. В., Станичный С. В.

2023

ВВЕДЕНИЕ



Движение поверхностных вод: Черное море → Мраморное море → Эгейское море

Движение глубинных вод: Эгейское море → Мраморное море → Черное море

Мраморное море – бассейн с двухслойной структурой вод

Верхний слой – преимущественно сформирован водами Черного моря. Подвержен влиянию сезонного хода.

Термоклин залегает на глубинах от 20 до 30 м (на протяжении всего года).

Нижний слой – преимущественно сформирован водами Эгейского моря. Не подвержен влиянию сезонного хода.

ТЕРМОХАЛИННАЯ СТРУКТУРА ВОД МРАМОРНОГО МОРЯ

5



В теплое время года температура верхнего слоя Мраморного моря возрастает до $27-28^{\circ}\text{C}$.

В холодное время года температура верхнего слоя Мраморного моря опускается до $7-9^{\circ}\text{C}$.

Температура нижнего слоя Мраморного моря квазипостоянна на протяжении всего года и примерно равна 14.6°C .

Таким образом,

летом верхний слой теплее, чем нижний

зимой верхний слой холоднее, чем нижний

СЕЗОННОСТЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД

7

ЛЕТО

ЗИМА



27-28 °C

7-9 °C



Контраст плотности вод
увеличивается



Контраст плотности вод
уменьшается



14.6 °C

14.6 °C

Дарданеллы

Босфор

Мраморное море

Период исследования: 2000-2022 гг.

Спутниковые данные:

TIRS Landsat 8 (100 m)

TIRS Landsat-9 (100 m)

TIR Landsat-7 (100 m)

Дополнительные данные:

Оптические данные среднего разрешения (MODIS Aqua, VIIRS Suomi-NPP, AVHRR NOAA)

MERRA-2 Model: Surface wind speed, time average (M2T1NXFLX v5.12.4)

Model ECMWF Global (service Ventusky)

Model ICON Global (service Ventusky)

GHR SST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1)

Методы:

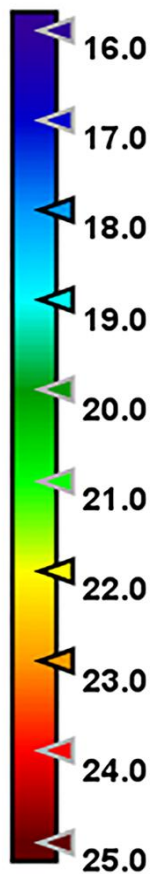
Восстановление температуры поверхности моря (для Landsat 8 и 9, ПО – Sentinel Application Platform):

$$\begin{aligned} & ((1321.0789/\log(774.8853/\text{thermal_infrared_}(tirs)_1'+1) - 273.15) * 1.8236) - \\ & ((1201.1442/\log(480.8883/\text{thermal_infrared_}(tirs)_2'+1) - 273.15) * 0.8018)+1.23 \end{aligned}$$

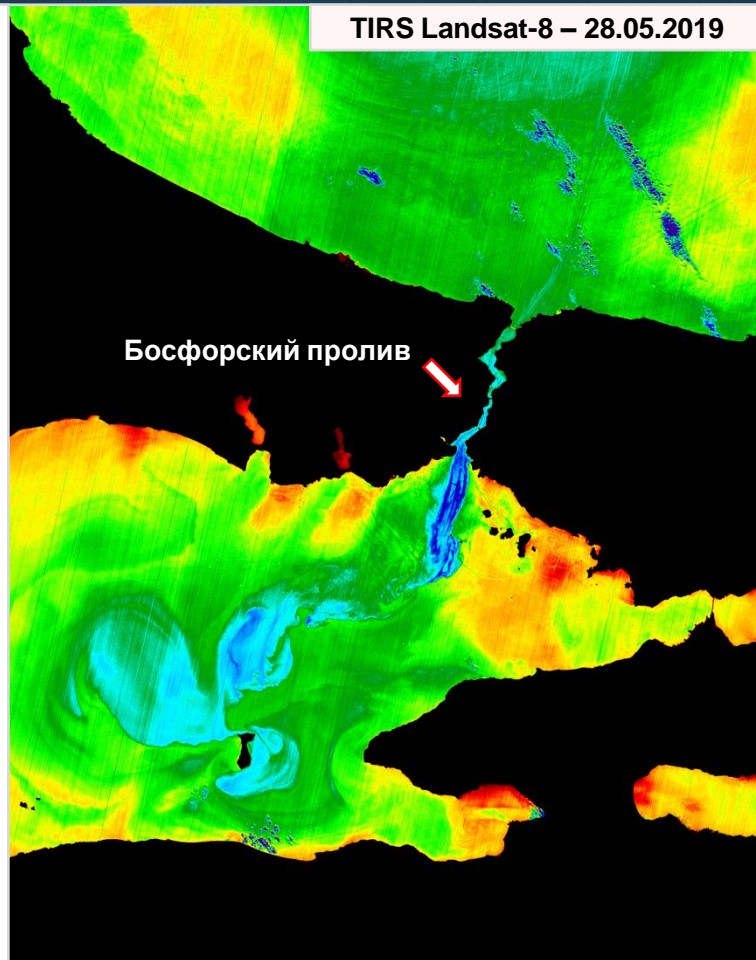
[Алескерова А. А., Кубряков А. А., Станичный С. В. Двухканальный метод восстановления температуры поверхности Черного моря по измерениям Landsat-8 //Исследование Земли из космоса. 2016. №. 4. С. 57-64]

БОСФОРСКАЯ СТРУЯ

T °C



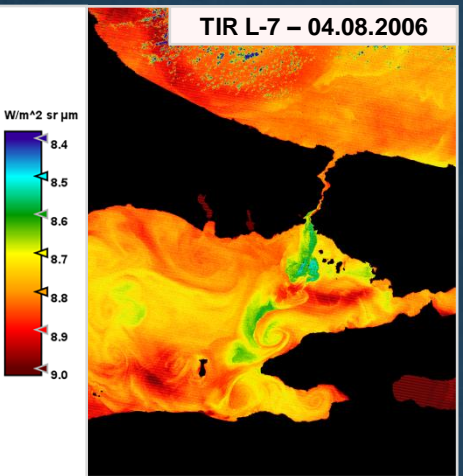
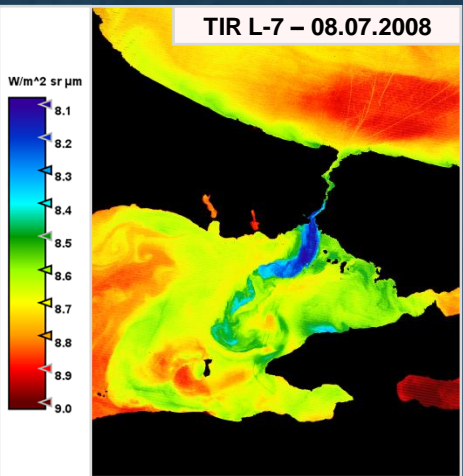
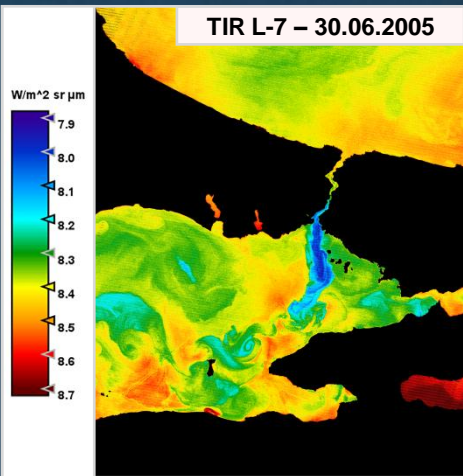
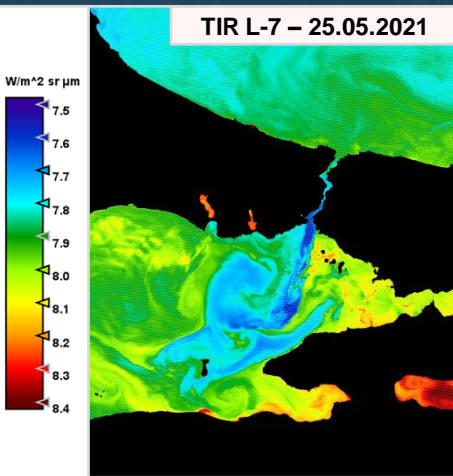
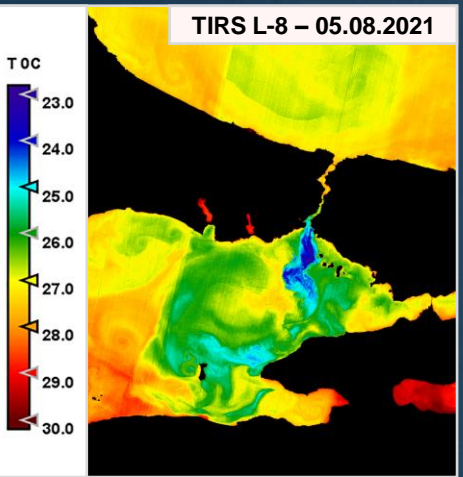
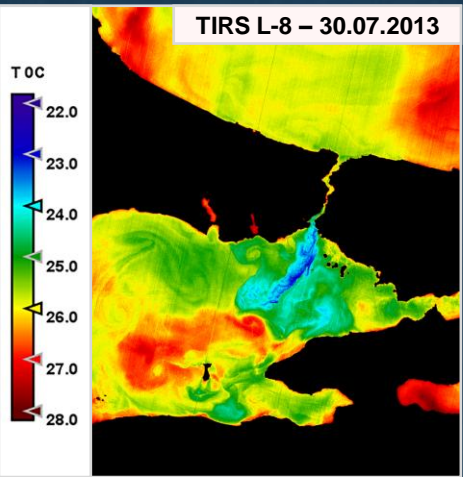
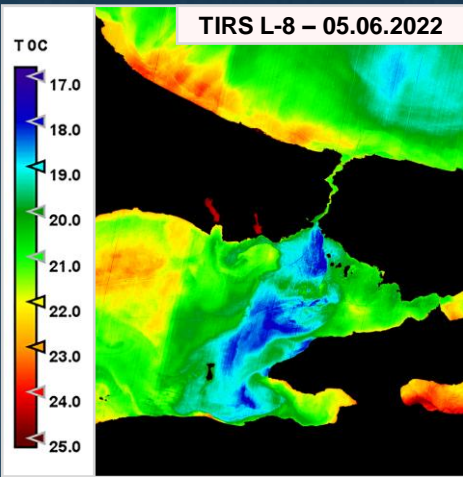
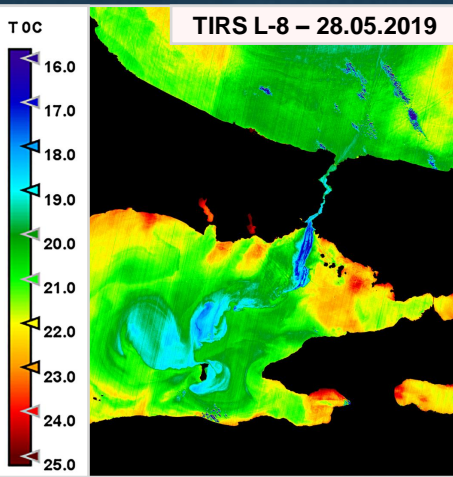
TIRS Landsat-8 – 28.05.2019

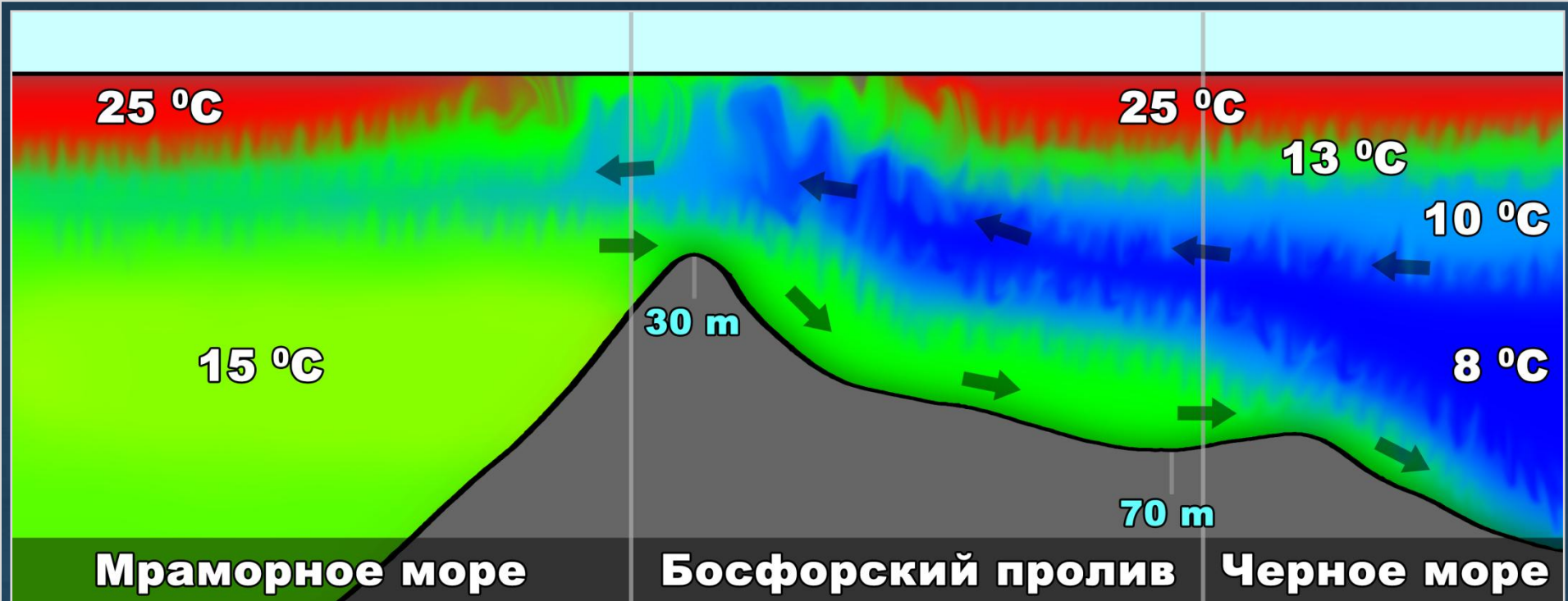


Ежегодно в период с мая-июня по август-сентябрь в Мраморном море на выходе из Босфорского пролива регистрируется проявление вод (Босфорской струи) с температурой ниже, чем температура окружающих вод. Контраст температур может варьировать от 2-3 до 9-10⁰ С.

Эти воды связаны с развитием сезонного термоклина в Черном море. Со стороны Черного моря Босфорский пролив имеет глубину около 70 м, со стороны Мраморного моря – порог на глубине 30 м. В Босфорский пролив поступают черноморские воды выше и ниже сезонного термоклина (вплоть до вод ХПС с температурой около 8⁰ С), которые интенсивно перемешиваются из-за порога. Так как воды Черного моря имеют меньшую соленость и плотность, чем воды Мраморного моря, то на выходе из Босфорского пролива они распространяются по поверхности.

ПРИМЕРЫ ПРОЯВЛЕНИЯ БОСФОРСКОЙ СТРУИ ЛЕТОМ

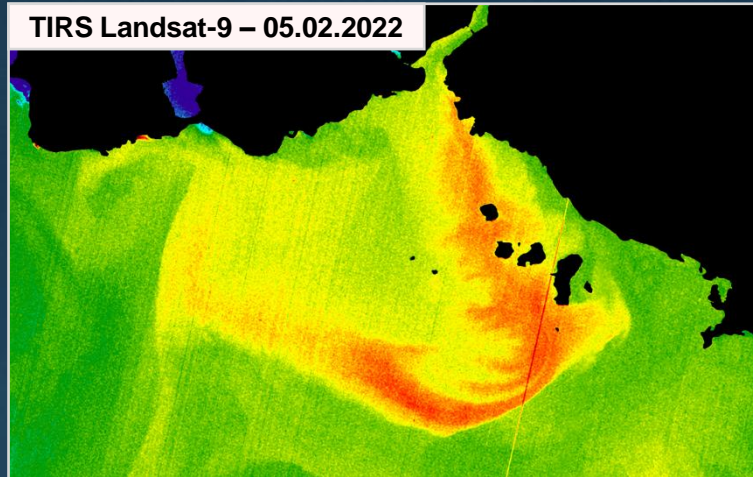




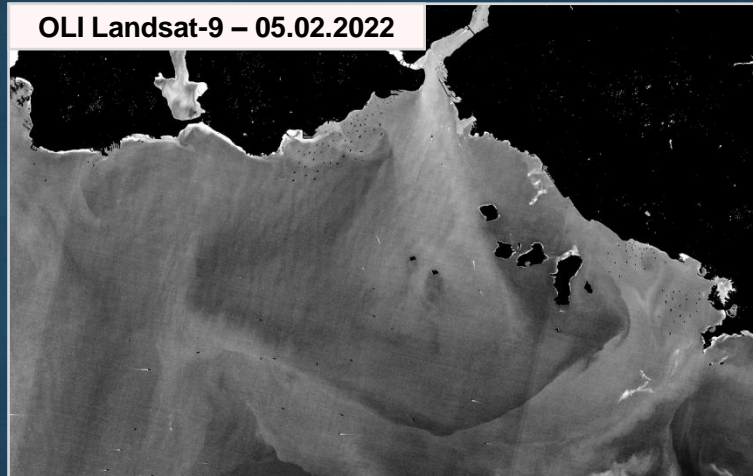
В Босфорский пролив из Черного моря могут поступать:

- воды выше термоклина ($h < 15-20$ м)
- воды собственно термоклина ($h \approx 15-20$ м)
- воды ниже термоклина ($h \approx$ от 15-20 до 40-50 м)
- воды холодного промежуточного слоя ($h > 40$ м)

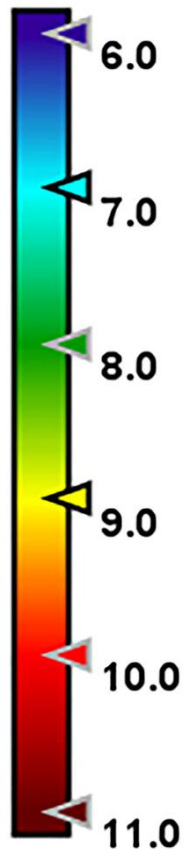
TIRS Landsat-9 – 05.02.2022



OLI Landsat-9 – 05.02.2022



Т 0С



В холодное время года Босфорская струя также может регистрироваться в температуре, но в виде более теплых вод.

В ноябре и декабре источником могут быть более теплые воды в юго-западной части Черного моря.

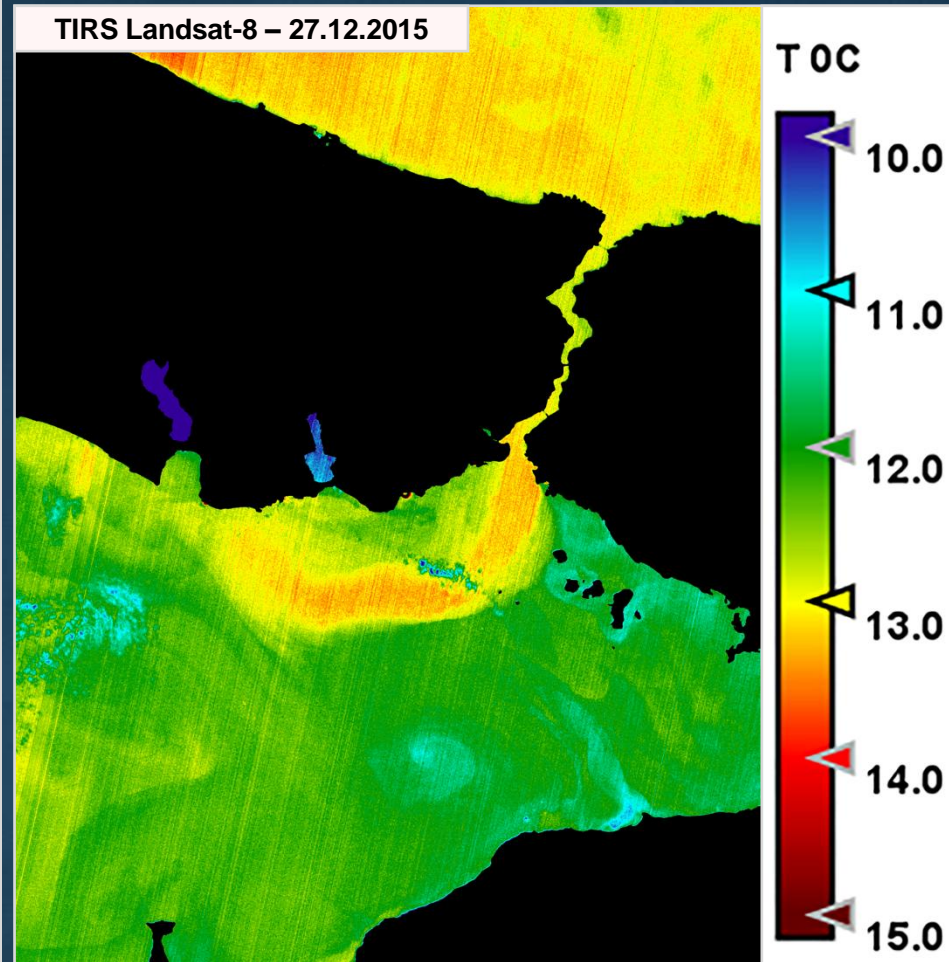
В декабре, январе и феврале проявление теплых вод может быть связано с вовлечением вод Нижнебосфорского течения (в том числе и из-за интенсивного перемешивания в области 30-метрового порога) или нижнего слоя Мраморного моря. Во втором случае воды нижнего слоя вовлекаются в дивергенции по восточной периферии Босфорской струи (рис. на слайде).

По данным Landsat 7, 8, 9 зимой уверенно распознаются 12 случаев.

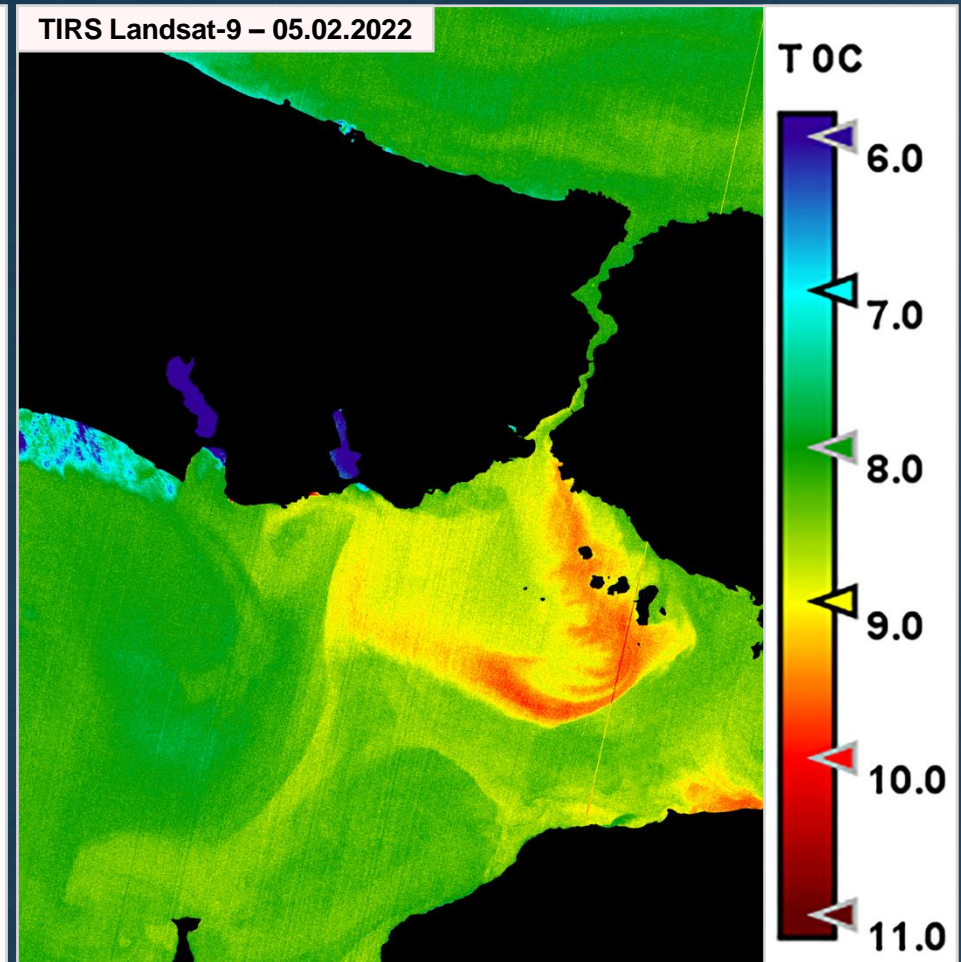
ПРИМЕРЫ ПРОЯВЛЕНИЯ БОСФОРСКОЙ СТРУИ ЗИМОЙ

14

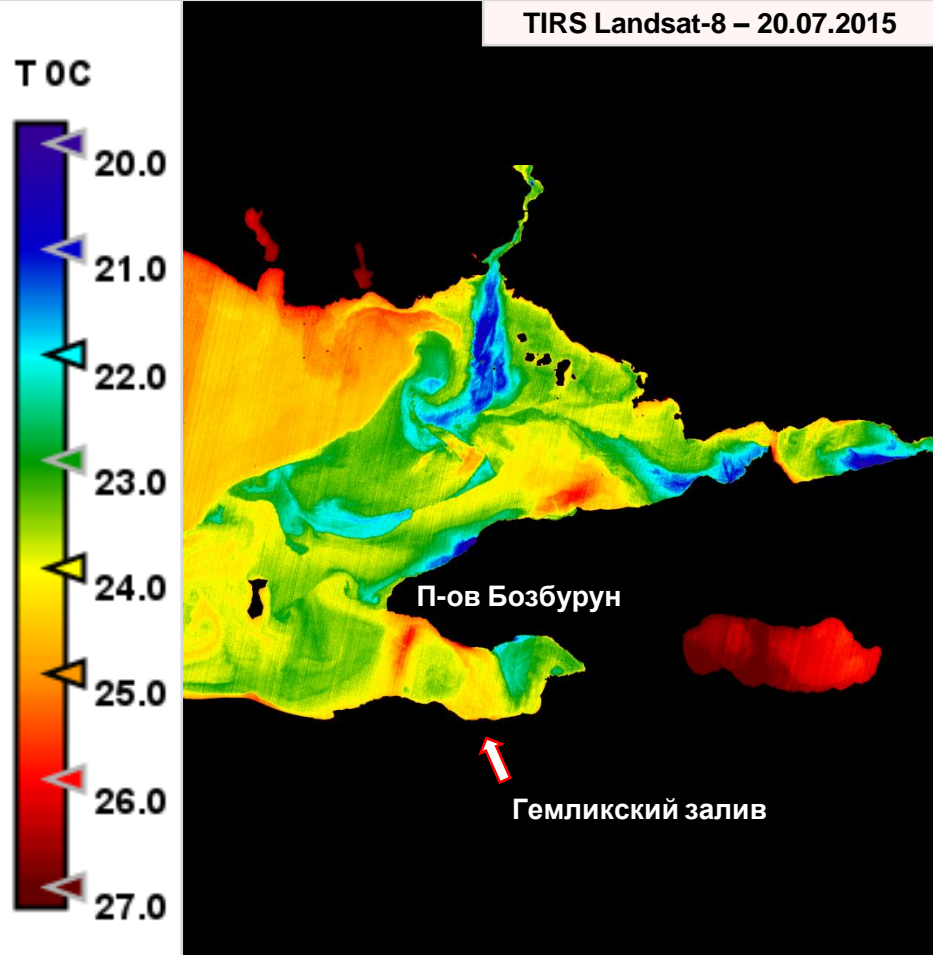
TIRS Landsat-8 – 27.12.2015



TIRS Landsat-9 – 05.02.2022



АПВЕЛЛИНГ



Развитие летнего апвеллинга в Мраморном море

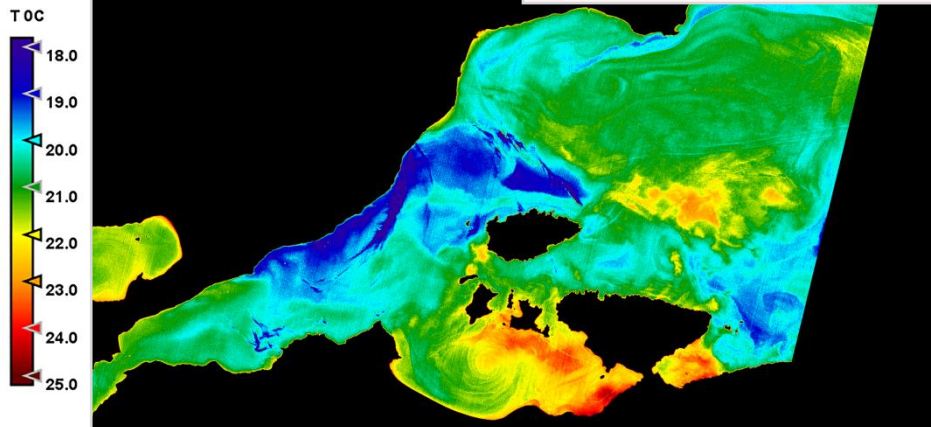
Период: с мая по сентябрь.

Районы: преимущественно в восточной части моря (северное, северо-западное побережье полуострова Бозбурун, в Гемликском заливе), реже в западной части.

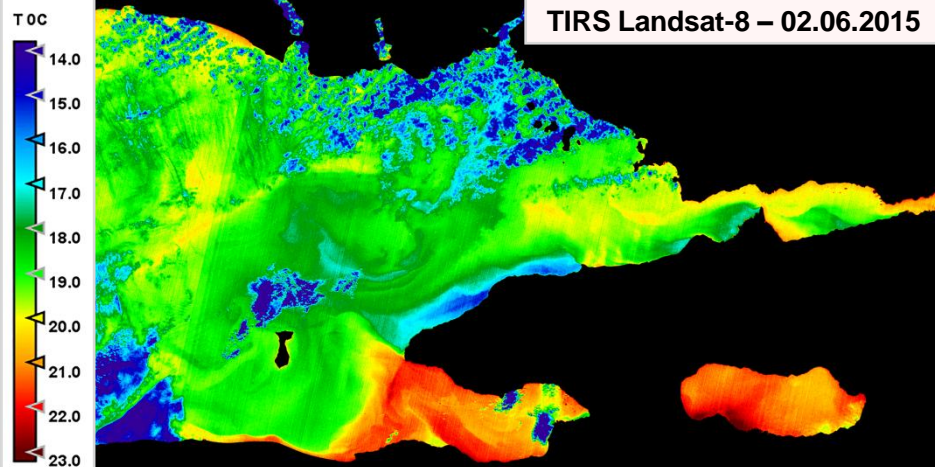
Условия: преимущественно на фоне или после продолжительного воздействия вдольберегового ветра (северо-восточного) высоких скоростей (от 6-8 м/с).

Температура: контраст температур ядра апвеллинга и окружающих вод обычно не превышает 3-4 °С. Термическая структура вод Мраморного моря позволяет предположить, что температура апвеллинговых вод не ниже 14,6 °С.

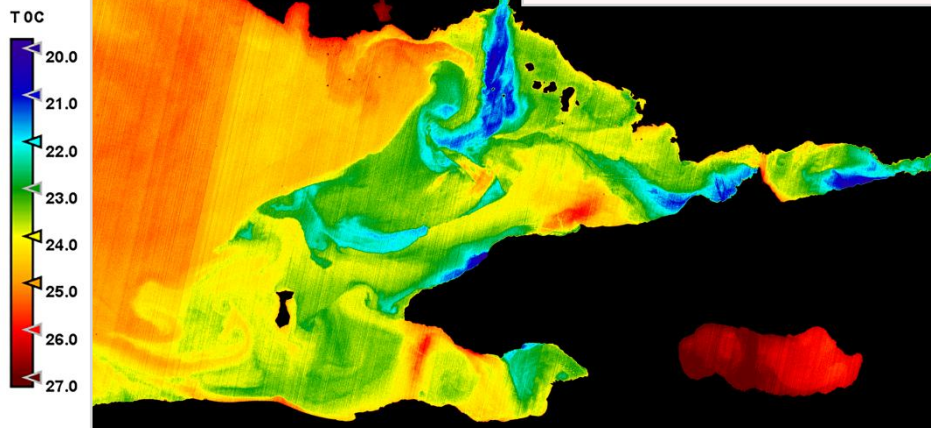
TIRS Landsat-8 – 18.05.2013



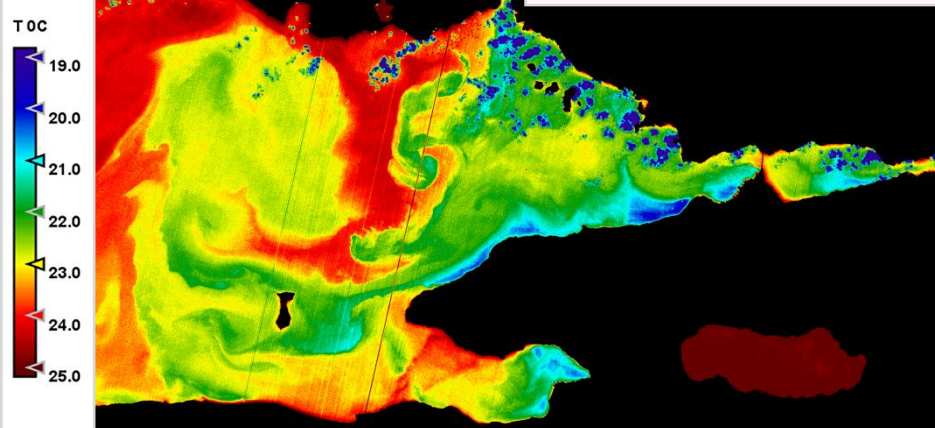
TIRS Landsat-8 – 02.06.2015

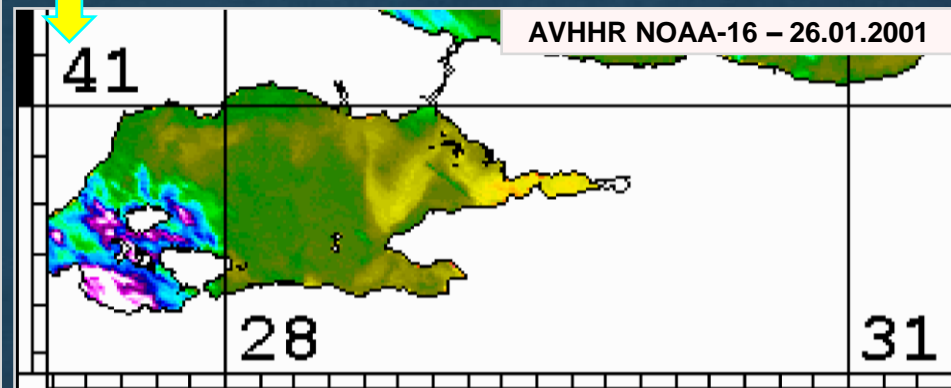
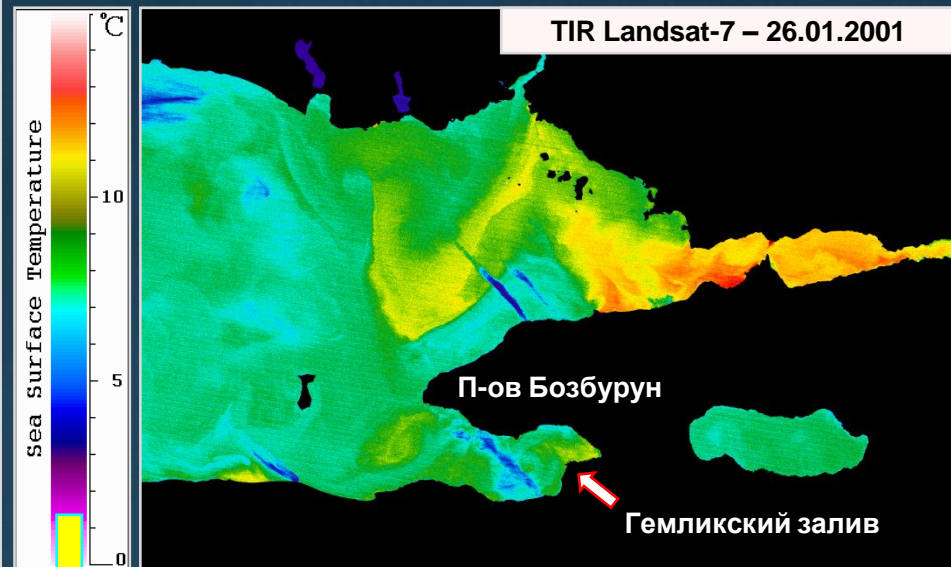


TIRS Landsat-8 – 02.07.2015



TIRS Landsat-9 – 15.07.2022





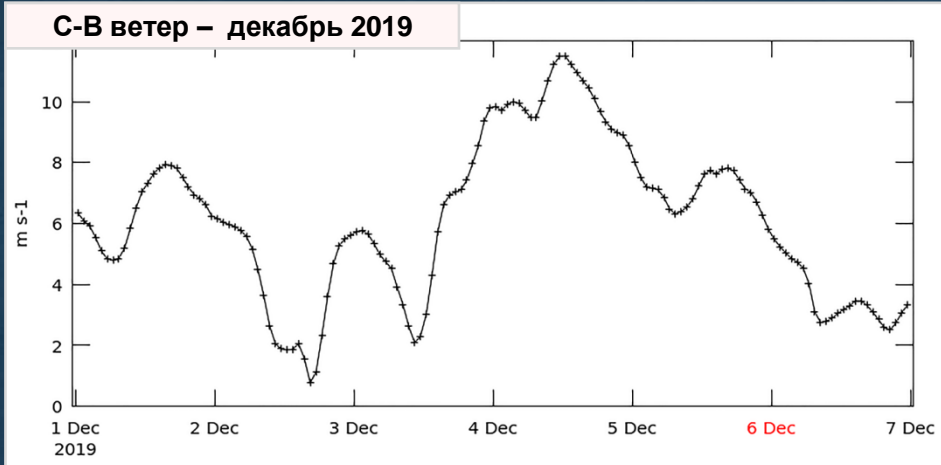
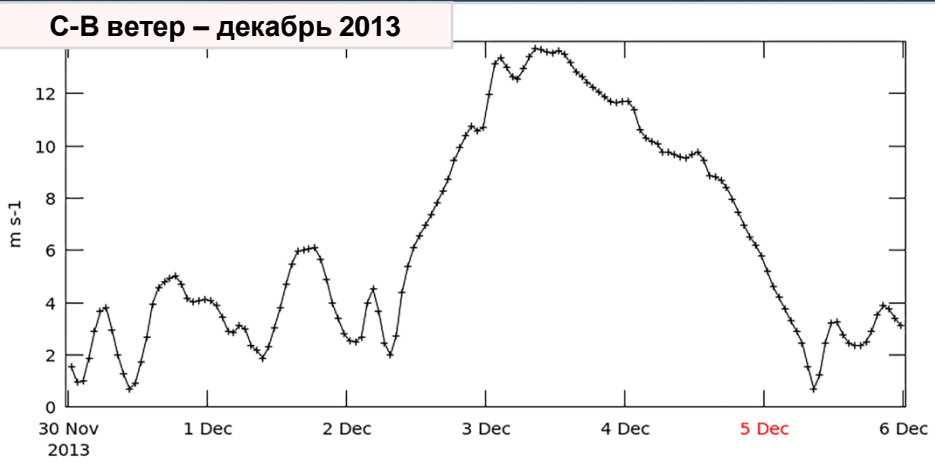
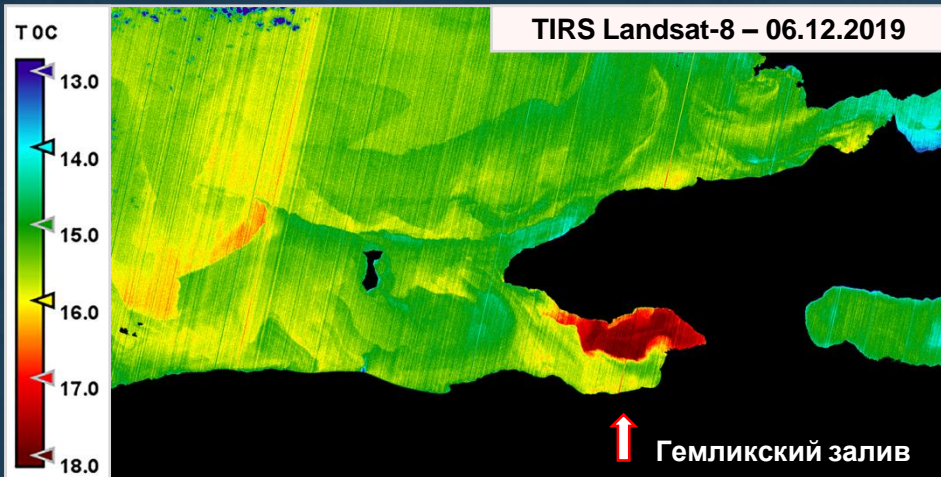
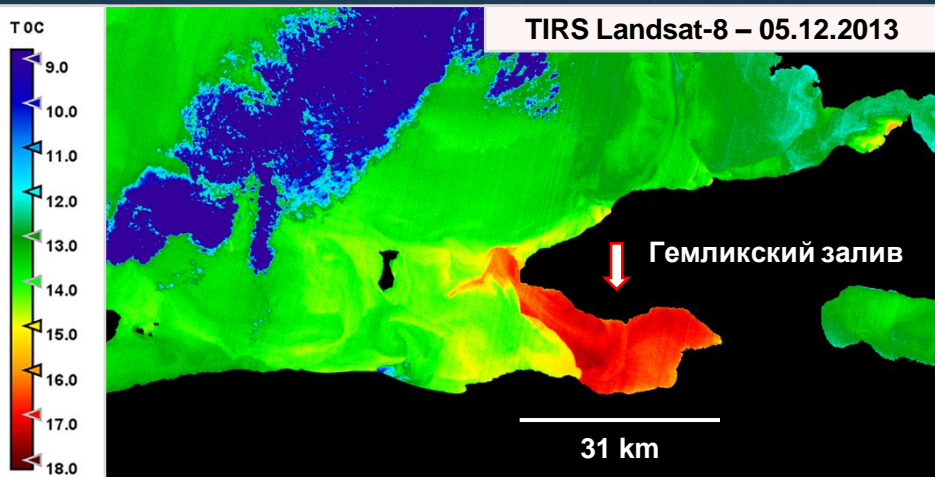
Развитие зимнего апвеллинга в Мраморном море

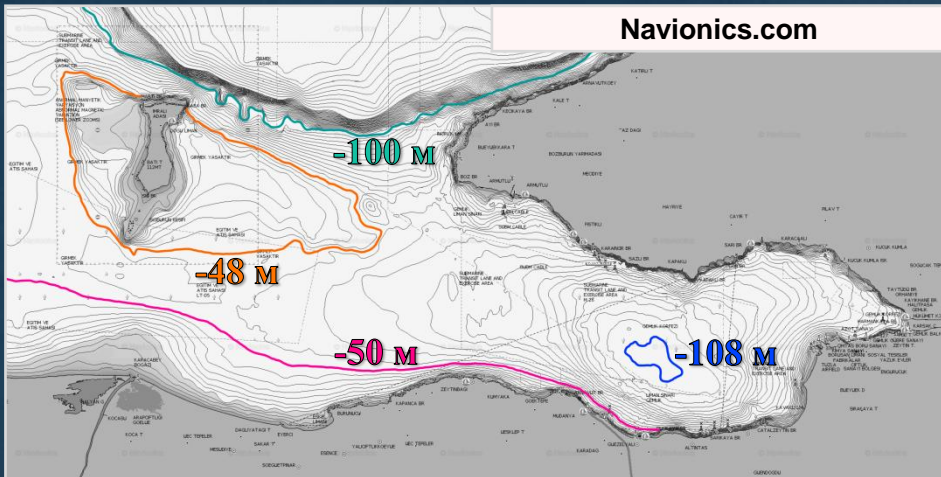
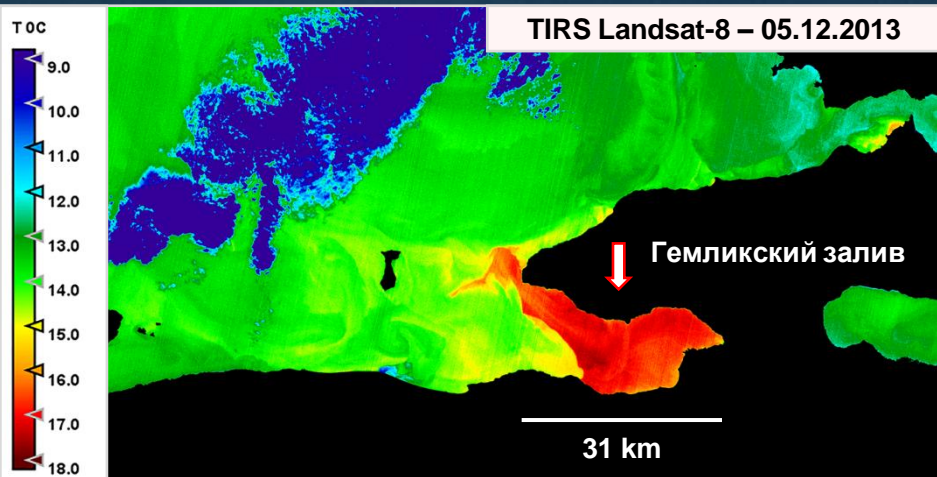
Период: с декабря по март.

Районы: в восточной части моря (северное, северо-западное побережье полуострова Бозбурун, в Гемликском заливе).

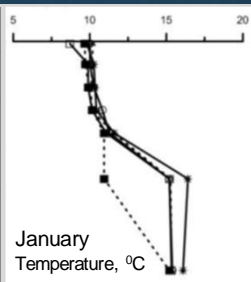
Условия: преимущественно на фоне или после продолжительного воздействия вдольберегового ветра (северо-восточного) высоких скоростей (от 6-8 м/с).

Температура: контраст температур ядра апвеллинга и окружающих вод обычно не превышает 3-4 °C. Термическая структура вод Мраморного моря позволяет предположить, что температура апвеллинговых вод не выше 14,6 °C.





Period	Temperature (°C)		
	Min	Max	Mean±SD
July 2010	14,00	25,60	19,48±4,10
October 2010	15,35	19,37	17,31±0,95
January 2011	8,70	16,41	11,64±2,37
April 2011	9,18	15,23	10,88±1,93



В Гемликском заливе в зимнее время регистрируется температура вод выше 14,6 °С.

Предполагается, что это связано с:

- рельефом дна в районе Гемликского залива и в, вероятно, ослабленном водообмене с открытой частью моря;
- интенсивным прогревом Гемликского залива в теплое время года.

Balci M., Durmuş T., Balkis N. Seasonal variations in the environmental parameters and water quality status of the Gulf of Gemlik in the Marmara Sea (Turkey) //Fresenius Environmental Bulletin. – 2012. – Т. 21. – №. 10a. – С. 3059-3068.

В Мраморном море регистрируется ряд явлений, развитие которых обуславливается его географическим положением (водообмен с сообщаемися акваториями) и термохалинной структурой вод этого бассейна.

Проявление Босфорской струи в температуре в летний сезон связано с развитием сезонного термоклина в Черном море, геоморфологическим строением Босфорского пролива и с разницей в солености черноморских и мраморноморских вод.

Проявление Босфорской струи в температуре в зимний сезон и развитие зимних апвеллингов обуславливается тем, что нижний квазипостоянный по значениям слой Мраморного вода в холодное время года теплее верхнего.

Развитие летних апвеллингов имеет типичные механизмы, но характерной особенностью для апвеллингов в Мраморном море является то, что температура ядра не должна быть ниже 14.6°C .

Исследование выполнено при финансовой поддержке
гранта РФФ 23-27-00421

«Развитие методов спутникового мониторинга аномальных процессов в морских экосистемах на основе многоспектрального подхода»