



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Морской гидрофизический институт РАН»
г. Севастополь, Россия

Наблюдения за апвеллингами в районе Южного берега Крыма
по данным сканера SEVIRI и контактным измерениям
в 2021-2023 гг.

Ю.В. Симонова
В.А. Рубакина
С.В. Станичный
П.В. Гайский

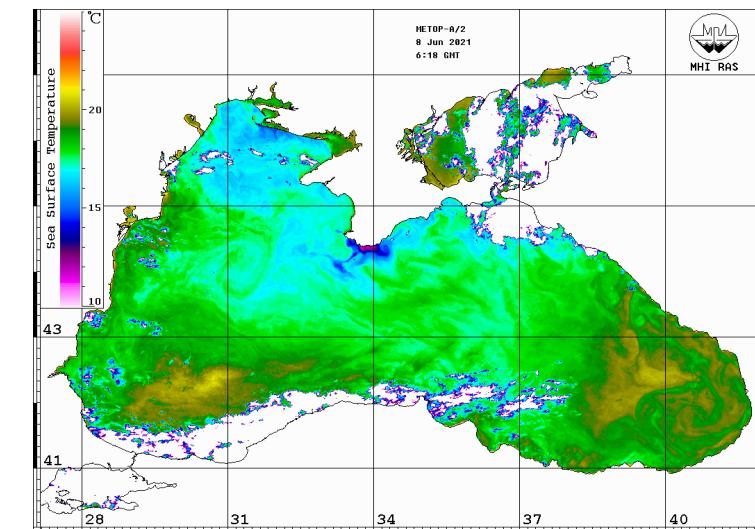
Двадцать третья международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
ИКИ РАН, г. Москва, 2025

Актуальность исследования

Акватория около Южного берега Крыма, как известно, является одной из активных зон проявления апвеллинга в Черном море. Так как крупных рек в этом районе нет, то обогащение поверхностных вод биогенными элементами здесь происходит преимущественно за счет их поступления из глубоких слоев моря, где их концентрация более высокая. Поэтому береговой апвеллинг является важным фактором, обеспечивающим подъем таких глубинных вод к поверхности.

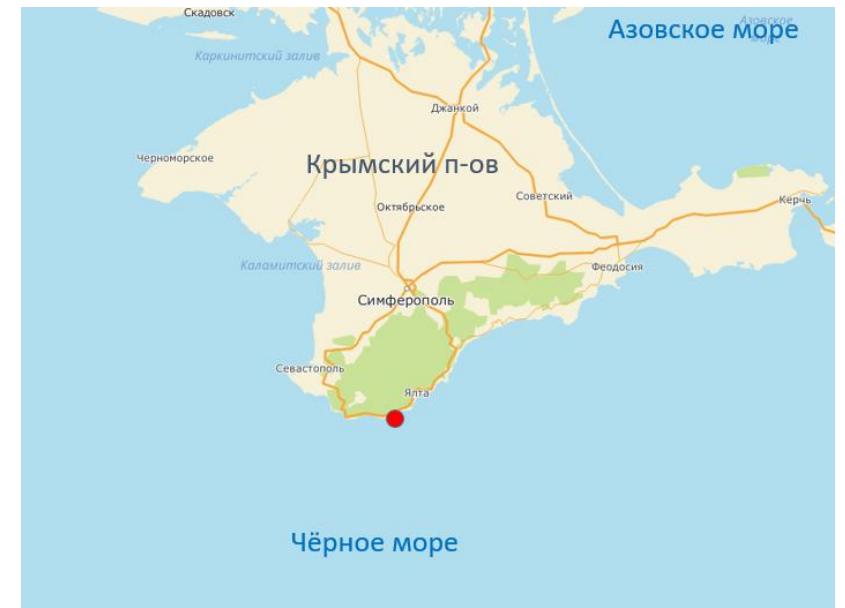
Также Южный берег Крыма является популярной курортной зоной, поэтому знание связанных с апвеллингом особенностей и интенсивности изменений температуры морской воды также представляет интерес для исследований.

Целью работы является изучение прибрежного апвеллинга в акватории Чёрного моря в районе Южного берега Крыма в 2021-2023 гг. с использованием контактных измерений и спутниковых данных с высоким временным разрешением.



В работе использованы:

- данные за исследуемый период сканера SEVIRI ((Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) по ТПМ в ИК-диапазоне спутника Meteosat второго поколения (MSG) на геостационарной орбите. Временное разрешение данных – 1 час, пространственное разрешение – 5 км. Источник данных: <https://osi-saf.eumetsat.int>.
- инструментальные контактные измерения температуры морской воды около берега на глубине около 1 м в районе мыса Кикенеиз на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института (ЧГПП МГИ) в пгт. Кацивели
- данные термопрофилемера, установленного на стационарной океанографической платформе на базе ЧГПП МГИ
- данные о скорости и направлении ветра по контактным измерениям ЧГПП МГИ
- спутниковые карты ТПМ и ветровых полей по данным Морского портала МГИ РАН (dvs.net.ru)



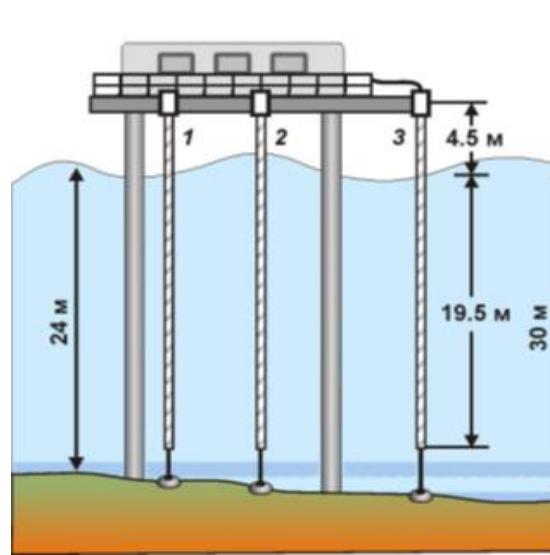
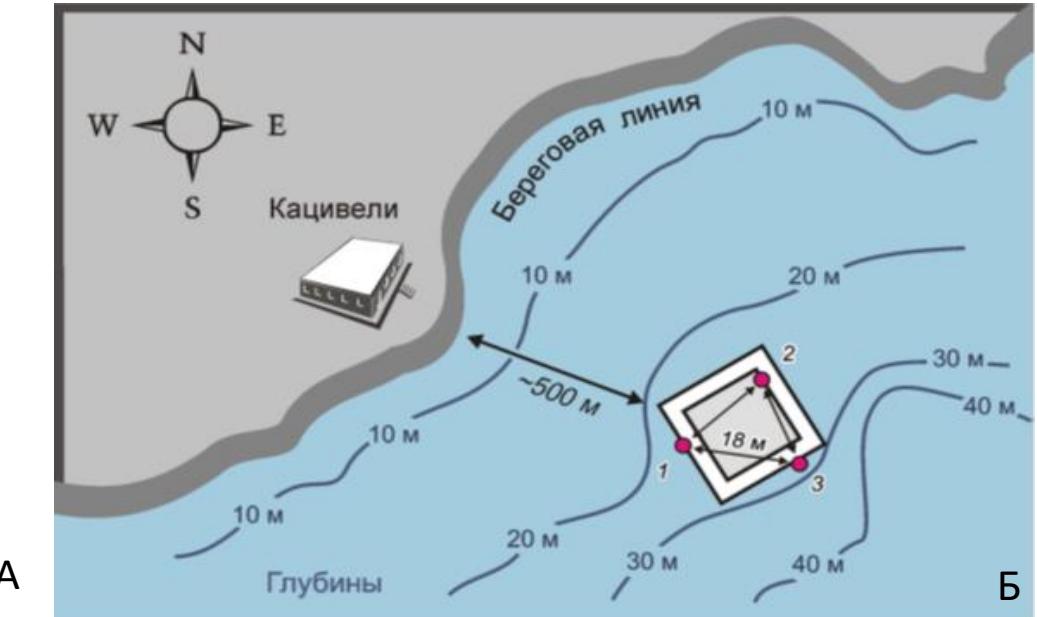
Расположение точки сбора данных контактных наблюдений на ЧГПП МГИ пгт. Кацивели ($44^{\circ} 23'$ с.ш., $33^{\circ} 59'$ в.д.).

Стационарная океанографическая платформа на базе ЧГПП МГИ расположена в прибрежной зоне Черного моря в Кацивели на расстоянии ~ 500 м от берега. Глубина постановки составляет ~ 30 м.

Термопрофилемер на платформе работал в период 24.08.2021-26.11.2023 гг.

Временное разрешение – 0,5 с.

Данные получены на 13 горизонтах (0,75-18,75 м).



А. Схема установки системы из трех термопрофилемеров у океанографической платформы. Красными кружками обозначены установленные датчики. Цифры 1–3 – номер профилемера.

Б. Профиль глубин в месте установки системы и вертикальное расположение термопрофилемеров (1–3).

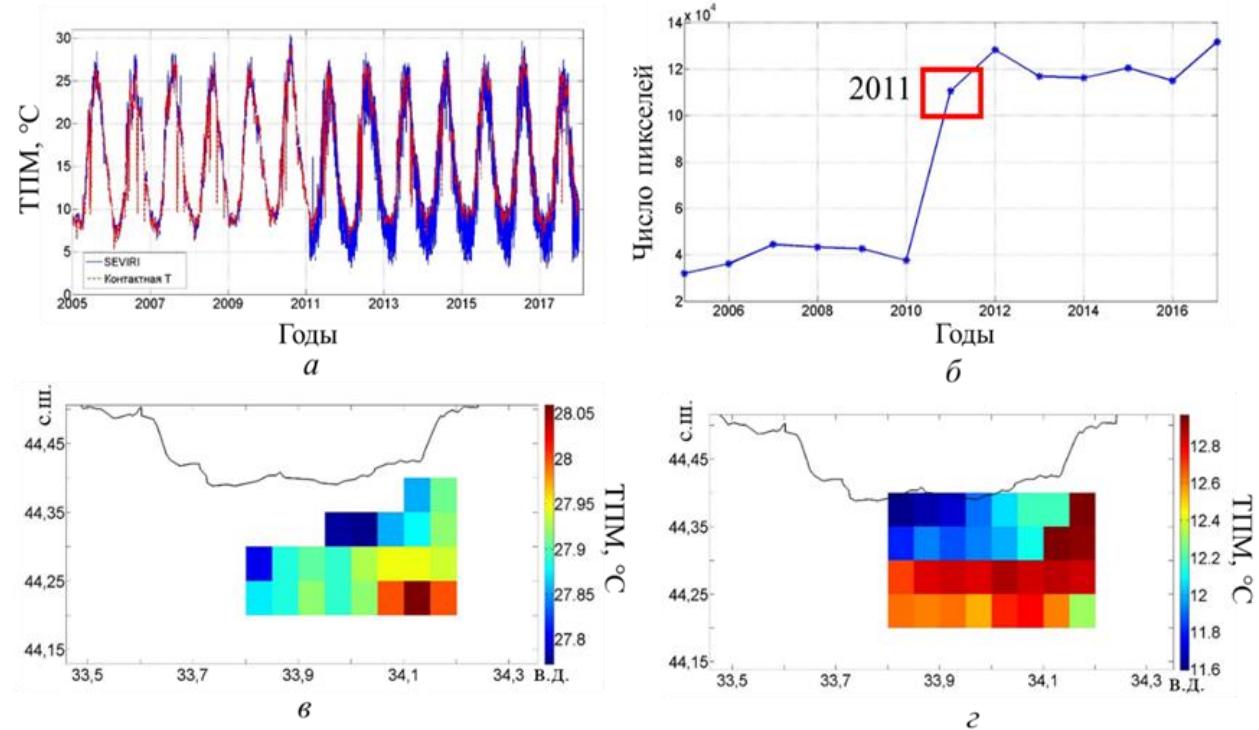
Подробнее описание:

Гайский П.В. Стационарная измерительная система на базе термопрофилемеров на океанографической платформе для определения параметров внутренних волн: результаты испытаний // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 1. С. 98–112. EDN TSHDME.

Для сравнительного анализа контактных и спутниковых данных из массива данных SEVIRI изначально были выделены районы с координатами от $33,8^{\circ}$ до $34,2^{\circ}$ в.д., с $44,2^{\circ}$ по $44,4^{\circ}$ с.ш. Для них производилось осреднение ТПМ по площади.

Выявлено, что временной ряд спутниковых данных SEVIRI с 2011 года стал в целом более полным на протяжении круглого года. Это особенно заметно в осенне-зимний период, когда разность значений ТПМ по спутниковым и контактным измерениям максимальна. Число пикселей с данными о ТПМ резко возросло практически в три раза. Такое изменение в качестве данных, по-видимому, связано с изменением координатной сетки и изменением алгоритмов обработки данных сканера SEVIRI.

В результате с 2011 г. в прибрежной зоне для всего Чёрного моря данные о ТПМ определены вдоль всей границы с берегом. Наличие «рабочих» пикселей в прибрежной зоне расширило возможности исследования таких процессов, как апвеллинги.



Временной ход ТПМ за 2005–2017 гг. по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI (синяя линия) для района ЮБК (а); число пикселей, в которых есть данные о ТПМ в районе осреднения данных SEVIRI (координаты) для 2005–2017 гг. (б); среднемесячные карты ТПМ района исследования для 2010 г (в) и 2011 г (г)

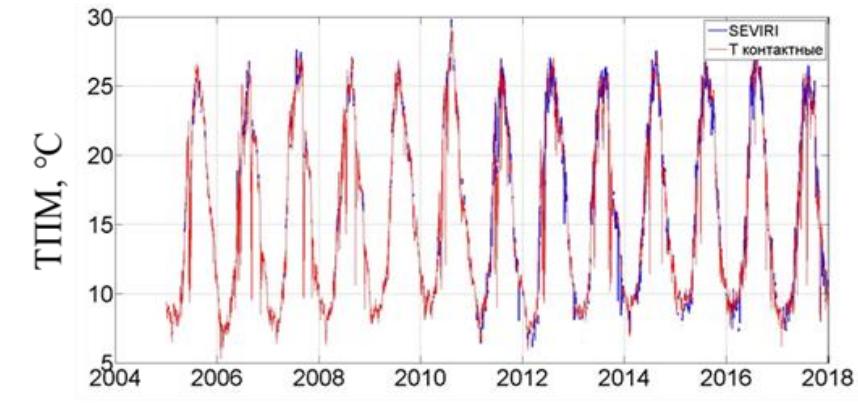
Но массив стал содержать больше «бракованных» пикселей, что связано с недостаточной фильтрацией данных на границе с зоной облачности и возможным попаданием суши в эти элементы разрешения.

В связи с этим для сравнения данных и анализа многолетней изменчивости ТПМ была уменьшена анализируемая область (координаты нового района: от 33,92 до 34,06° в. д., с 44,31 по 44,39° с. ш.) и выполнено осреднение ТПМ по пространству в этой области, а также проведена дополнительная фильтрация с помощью фильтра Савицкого – Голея.

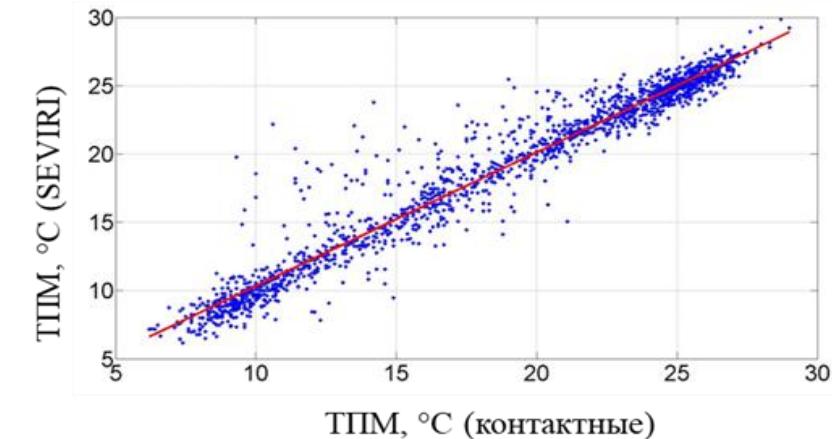
Такая коррекция данных позволила добиться минимальной разности между дистанционными и контактными измерениями даже для холодного периода года, что хорошо видно как на графике на рис. а, так и на диаграмме рассеяния, представленной на рис. б. При этом основные особенности картины распределения ТПМ остались неизменными. Коэффициент детерминации составляет 0,95.

Подробнее:

Рубакина В.А. Симонова Ю.В. Изменчивость температуры поверхности моря в районе Южного берега Крыма по данным сканера SEVIRI и контактных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, №3. – С. 244-253. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-244-253



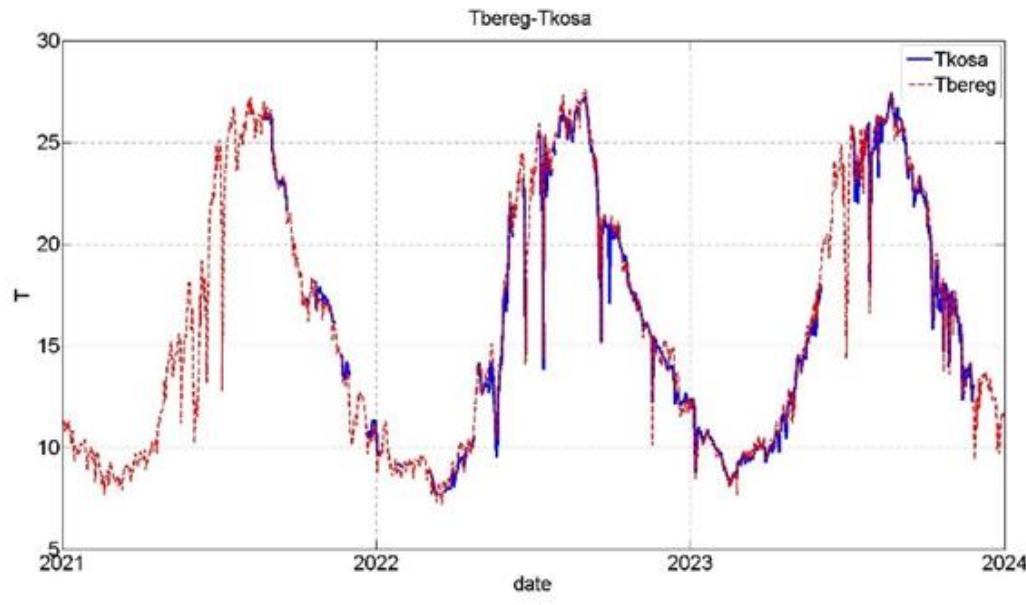
а



б

Временной ход ТПМ за 2005–2017 гг. по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI после коррекции (синяя линия) для района ЮБК (а); диаграмма рассеяния дистанционных и контактных измерений (красная линия – линия регрессии) (б)

Данные контактных наблюдений



Временной ход температуры моря за 2021-2023 гг. по данным контактных наблюдений: береговые измерения (красная линия) и данные термопрофилемера на горизонте -0,75 м (синяя линия) для района ЮБК

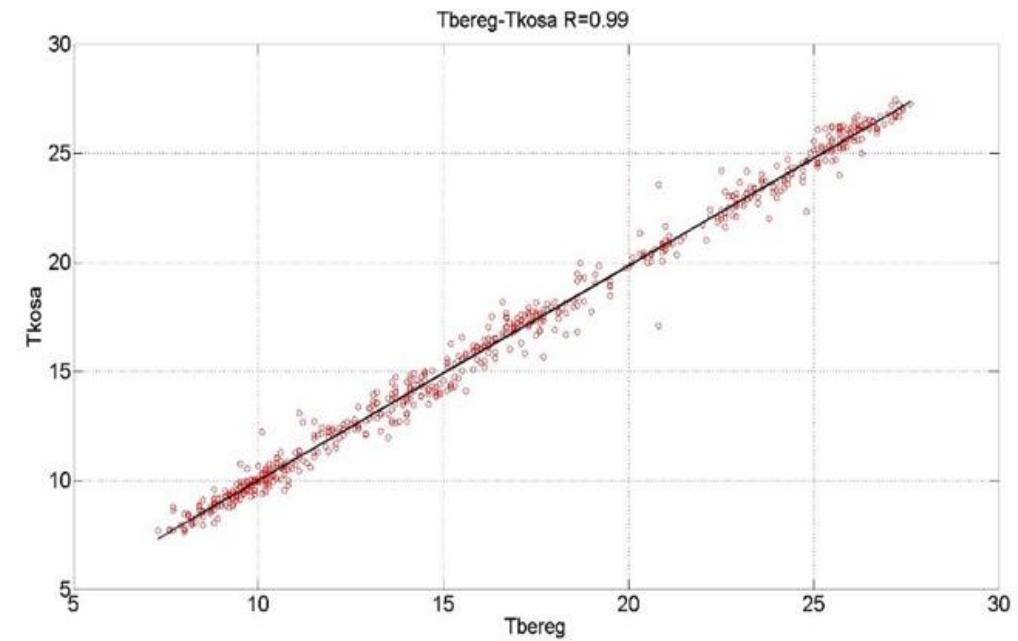


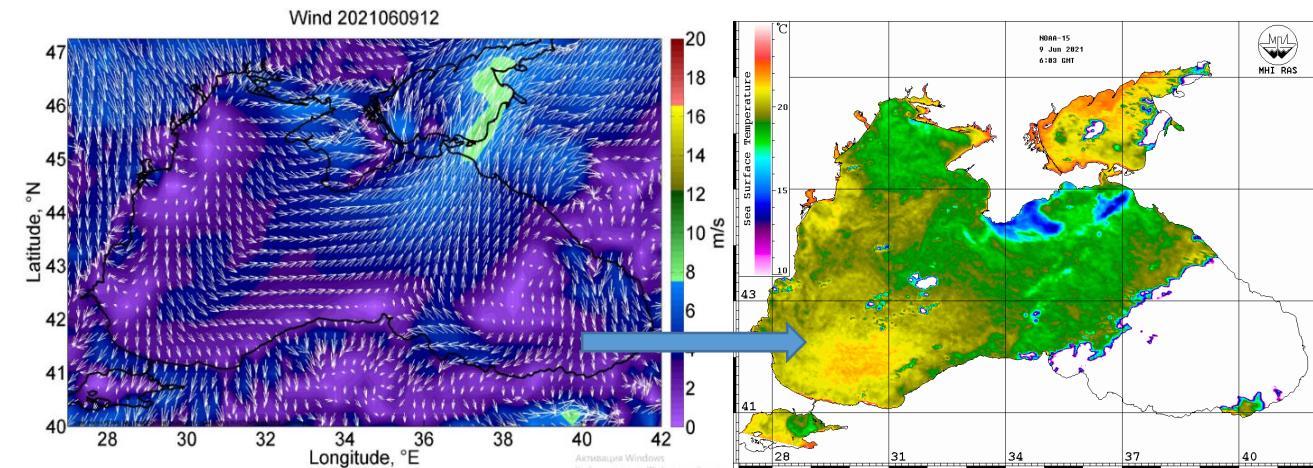
Диаграмма рассеяния данных термопрофилемера и береговых измерений
(чёрная линия — линия регрессии)

Рассмотрены ситуации апвеллингов в районе ЮБК за 2021-2023 гг.

Критерием выделения **апвеллинга** принималось быстрое понижение температуры поверхности моря на 5°C и более, менее, чем за 12 часов, что соответствует общепринятому критерию определения события.

Сопоставление случаев появления апвеллингов по данным о температуре морской воды с направлением ветра показывает, что апвеллинги в районе Южного берега Крыма в основном вызываются синоптическими ситуациями с ветрами западных направлений.

Устойчивые ветры западных направлений могут поддерживать продолжительные апвеллинги (Shokurova et al., 2023)



За исследуемый период выделено 10 случаев полных апвеллингов в районе Кацивели:

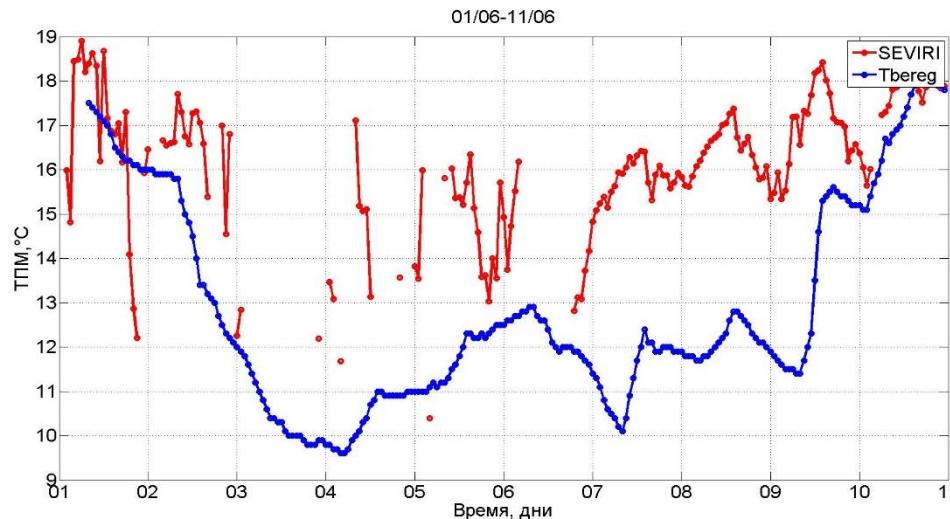
02-09.06.2021, 17-18.06.2021, 06.07.2021, 23-24.06.2022, 14.07.2022, 19.09.2022, 18.11.2022, 13-14.12.2022, 01-02.07.2023, 28-29.07.2023.

Апвейнги в теплый
период года

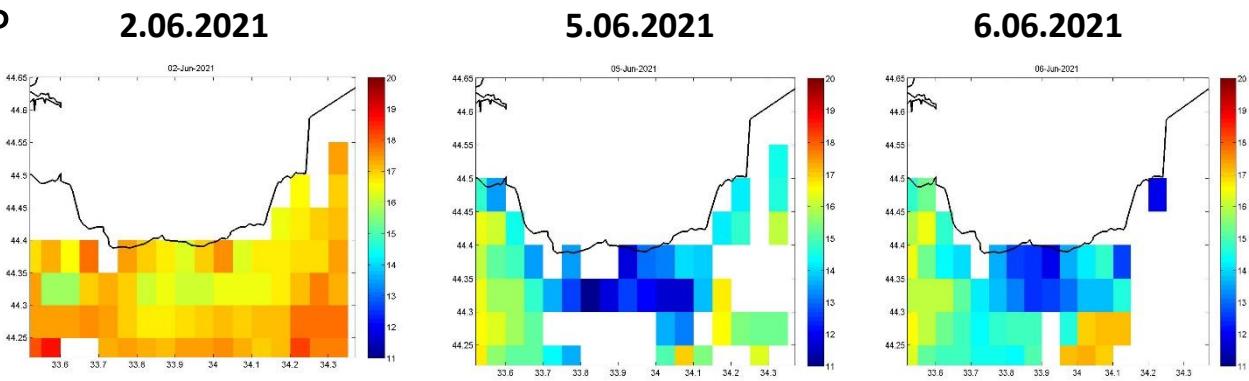
02-09.06.2021 г.

Самый продолжительный апвеллинг за исследуемый период - 8 суток

A



Б



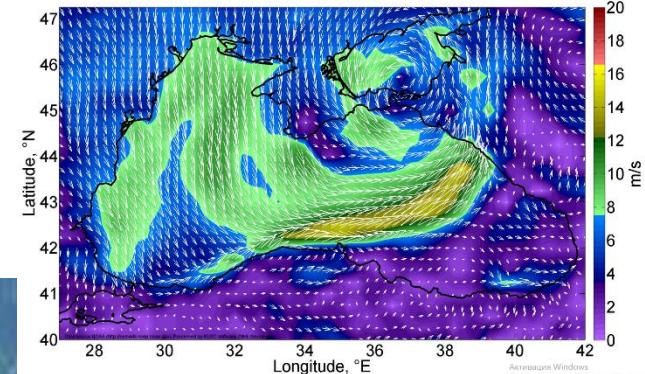
А) Ход ТПМ по контактным (синяя линия) и спутниковым (красная линия) наблюдениям; Б) суточные карты SEVIRI

По береговым
наблюдениям:

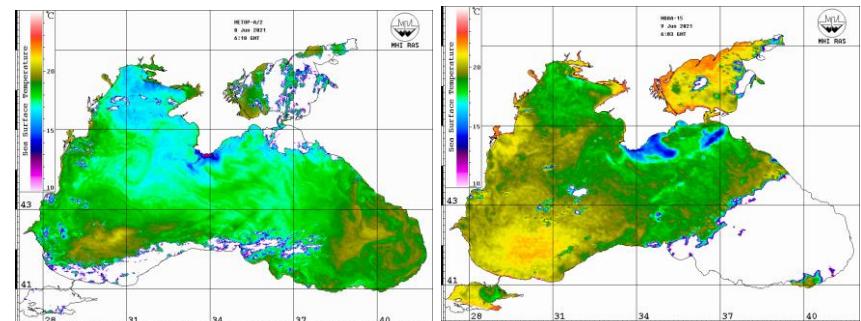
$$\begin{aligned} T_{\max} &= 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{\min} &= 9,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$



Wind 2021060406

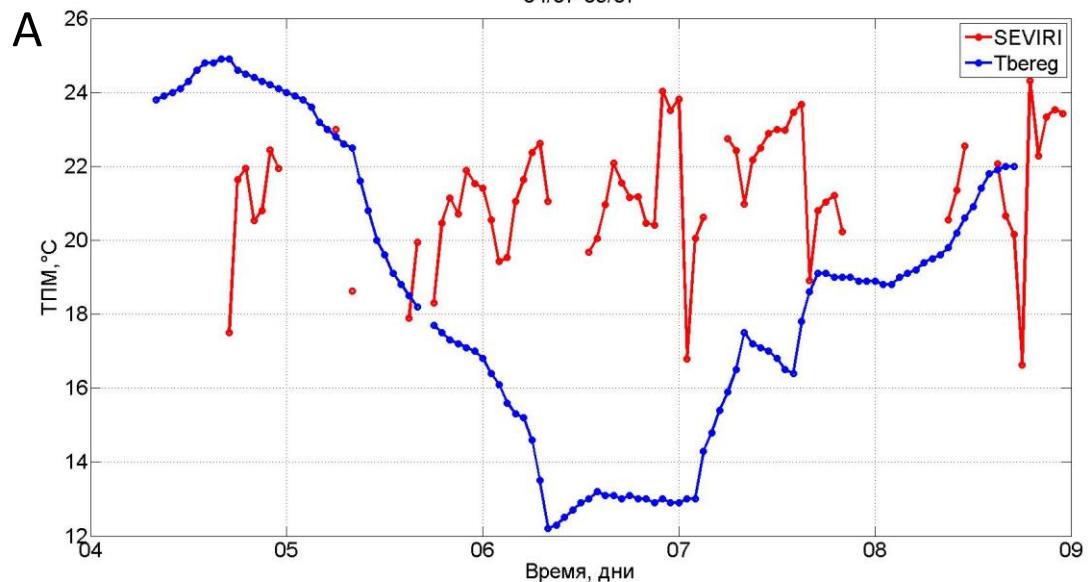


Ветер по берегу:
240-280°
Vср = 2-3 м/с

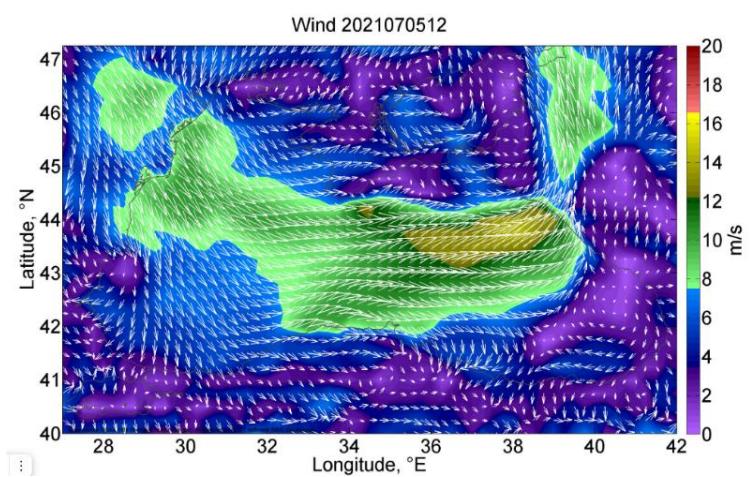


ТПМ за 8-9.06.2021 (dvs.net.ru)

06.07.2021

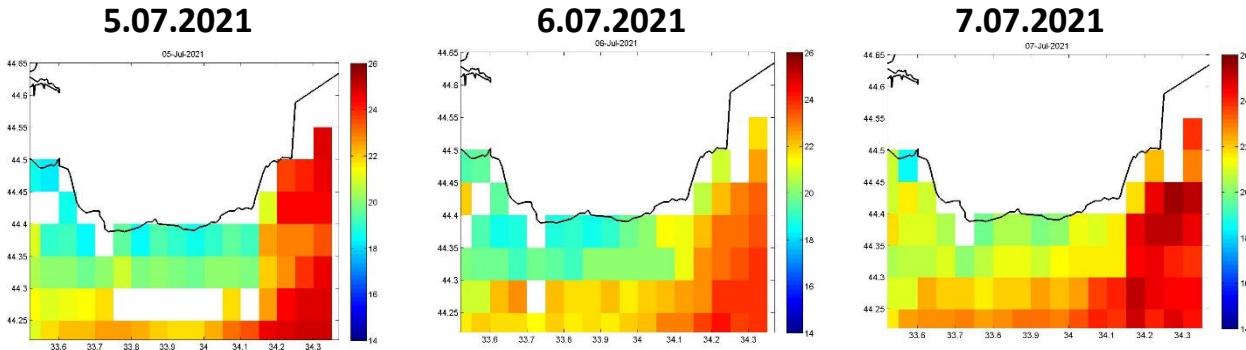


По береговым
наблюдениям:
T max=24,9 °C
T min=12,2 °C

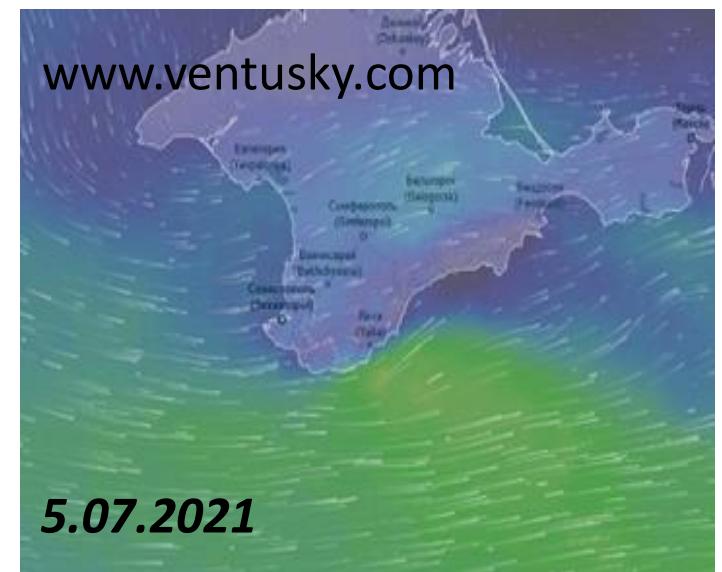


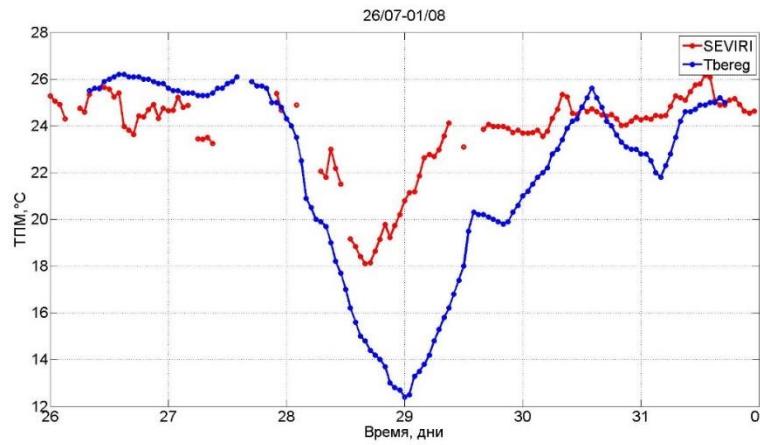
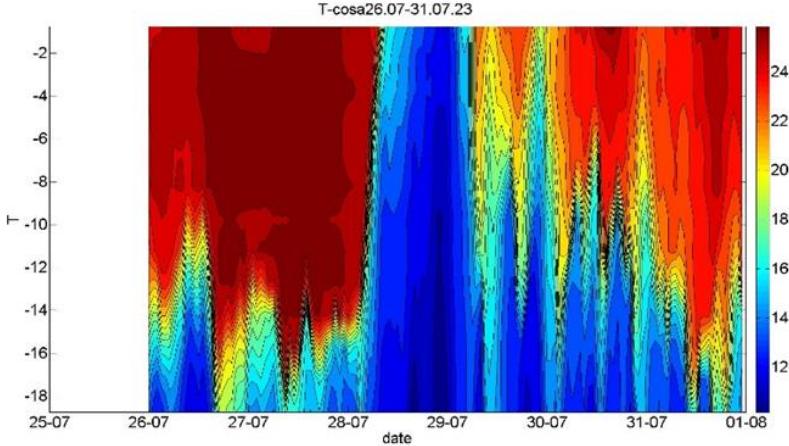
Ветер: 260-290°
Vср = 3-4 м/с

Б



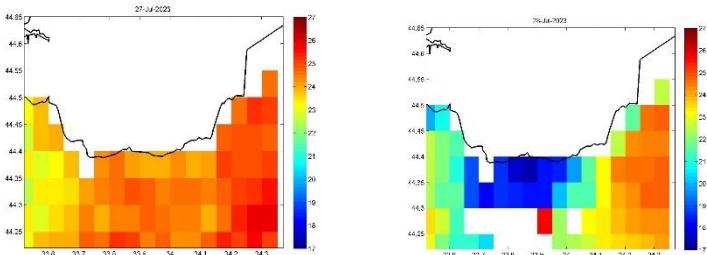
А) Ход ТПМ по контактным (синяя линия) и спутниковым (красная линия) наблюдениям; Б)
суточные карты SEVIRI



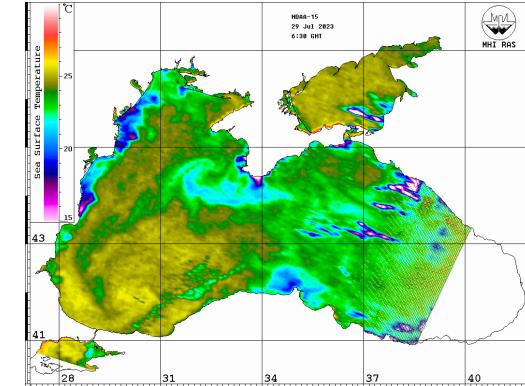
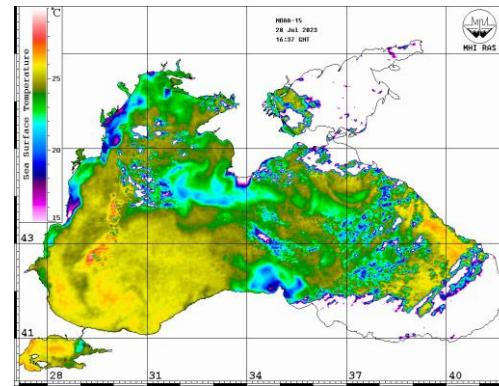
A**Б****В**

27.07.2023

28.07.2023

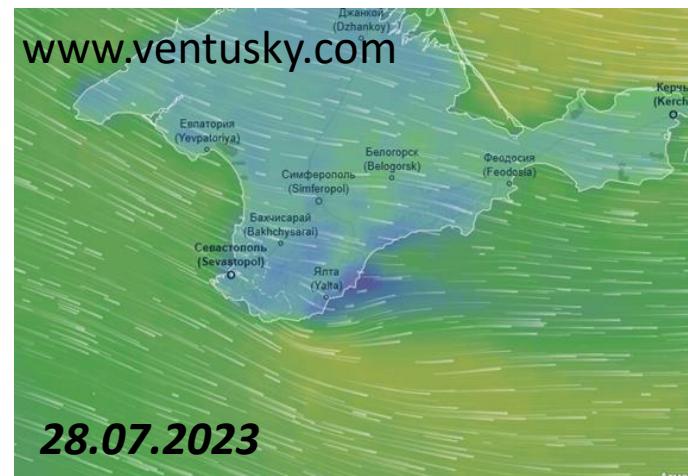
**28-29.07.2023**

По береговым
наблюдениям :
T max = 26, 1 °C
T min = 12,4 °C



TПМ за 28-29.07.2023 (dvs.net.ru)

*А) Ход ТПМ по
контактным (синяя
линия) и спутниковым
(красная линия)
наблюдениям;
Б) диаграмма
вертикального
распределения
температуры по
данным
термопрофилемера;
В) суточные карты
SEVIRI*

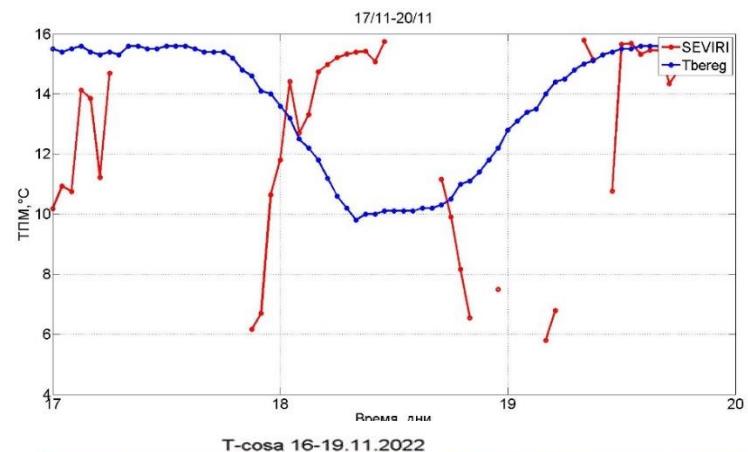


Ветер:
230-280 ° Vср= 3,5-4 м/с

**Апвенинги в холодный
период года**

В холодное время года, когда еще не произошло активное перемешивание и заглубление ВКС, ситуации апвеллингов также идентифицируются по ТПМ

A



18.11.2022

По данным
термокосы:

$$T_{\max}=15.8^{\circ}\text{C}$$

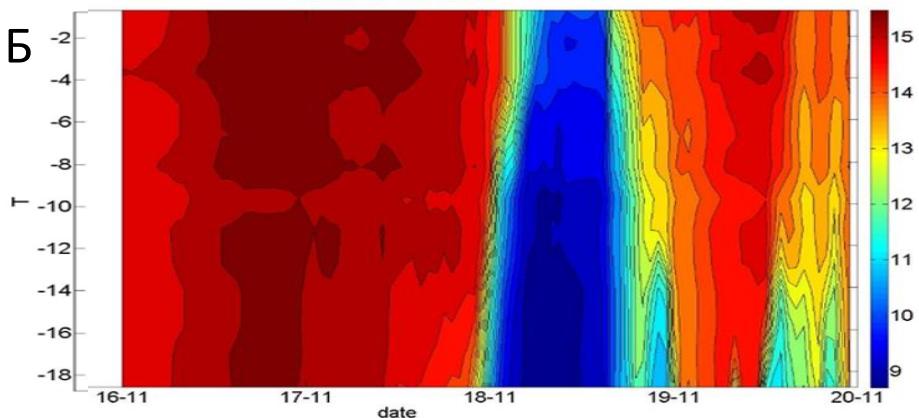
$$T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$$

По береговым
наблюдениям:

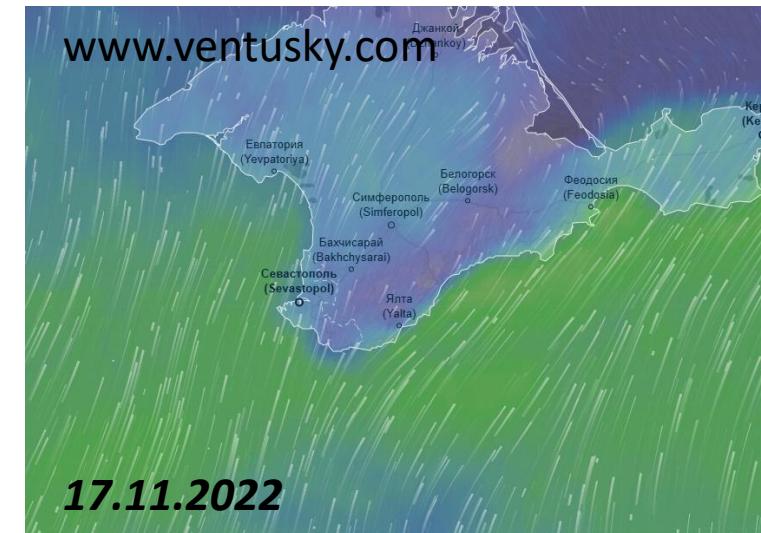
$$T_{\max}=15,6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min}=9,8^{\circ}\text{C}$$

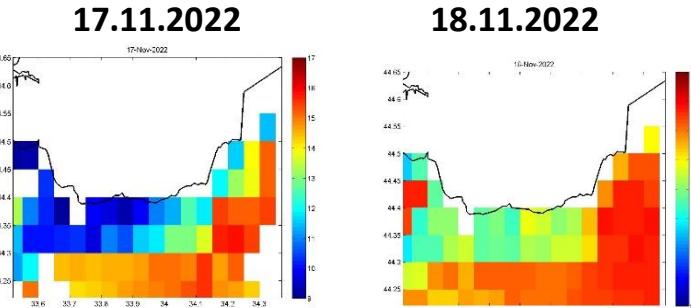
B



A) Ход ТПМ по контактным (синяя линия) и спутниковым (красная линия) наблюдениям;
Б) диаграмма вертикального распределения температуры по данным термопрофилемера;
В) суточные карты SEVIRI



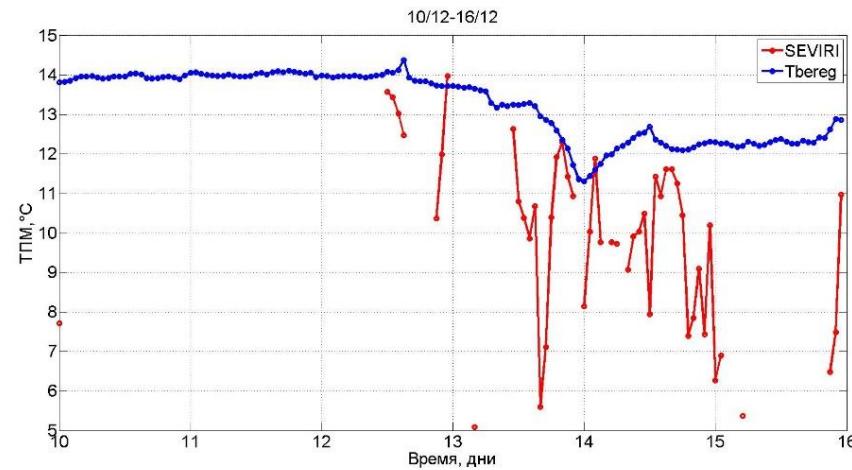
B



Ветер:
 $230-280^{\circ}$ V cp = 2-3 м/с

Также выделено одно событие апвеллинга в холодное время года, не зафиксированное береговыми измерениями (сбой в регистрации), но проявившееся по данным термопрофилемера и спутникового мониторинга.

A

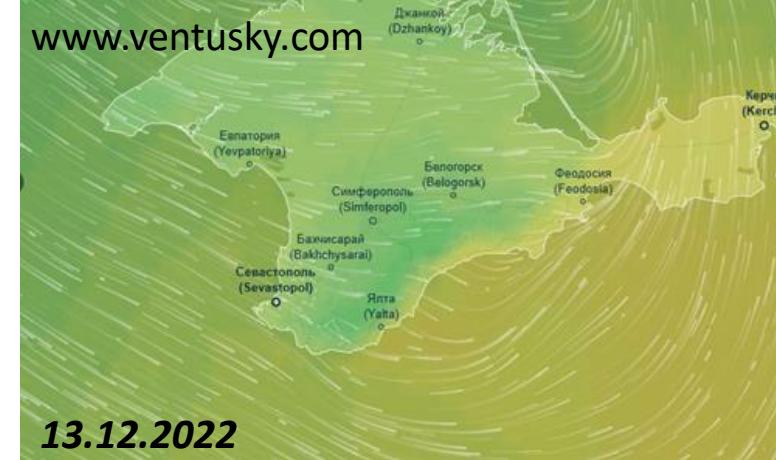
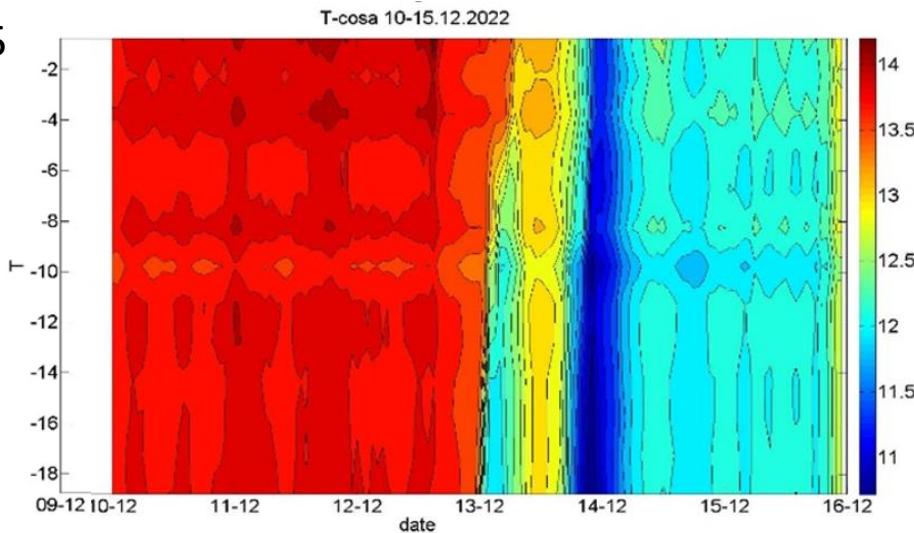


13-14.12.2022

По данным термокосы:

$$\begin{aligned} T_{\max} &= 14.4^{\circ}\text{C} \\ T_{\min} &= 11.3^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

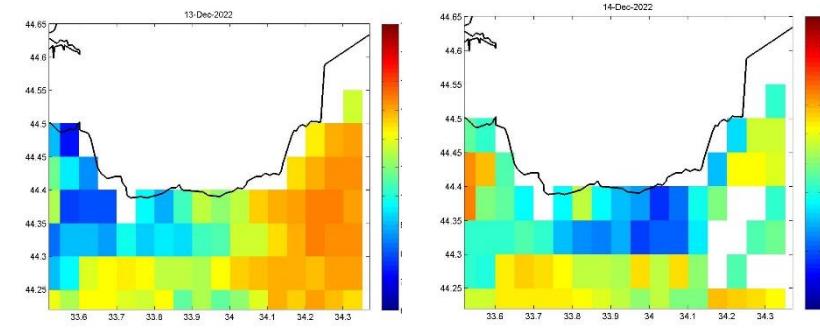
Б



B

13.12.2022

14.12.2022



Ветер:

$$270-330^{\circ} \text{ V } cp = 4 \text{ м/с}$$

А) Ход ТПМ по контактным (синяя линия) и спутниковым (красная линия) наблюдениям;

Б) диаграмма вертикального распределения температуры по данным термопрофилемера;
В) суточные карты SEVIRI

Выводы

1. В работе продемонстрирована возможность использования данных сканера SEVIRI для исследования термических процессов и явлений в прибрежной зоне Чёрного моря в районе Южного берега Крыма (ЮБК).
2. За рассмотренный период (2021-2023 гг.) выделено 10 событий полного апвеллинга. Из них в теплый период – 8 событий с амплитудами до 13.7°C ; в холодный период – 2 события апвеллинга с амплитудами до 5.8°C .
3. Все события апвеллингов происходили при ветрах западных направлений, что характерно для района исследований.
4. По спутниковым данным наглядно видно пространственное распределение и распространение апвеллингов, они показывают наличие понижения ТПМ. Отметим, что в теплый период года (с апреля по октябрь) апвеллинги легче идентифицируются по наибольшей разнице ТПМ между холодными поднятыми и прогретыми окружающими водами.
5. Необходимо учитывать, что в основе контактных и спутниковых измерений лежат различные физические принципы и различные горизонты измерения, что необходимо учитывать при сопоставлении этих данных.
6. Несмотря на неоспоримые достоинства данных сканера SEVIRI, такие как достаточно длительный временной ряд, круглосуточность наблюдений и высокое временное разрешение, эти данные имеют ряд недостатков. Они сильно «зашумлены», а также существует проблема обработки этих данных в прибрежных районах и на границе зоны облачности. Небольшое количество данных в зимний период из-за продолжительного сплошного облачного покрова также является недостатком спутникового мониторинга.
7. Показано, что данные сканера SEVIRI могут быть успешно использованы для мониторинга высокочастотной изменчивости температуры моря в зоне ЮБК. Ход ТПМ по спутниковым данным после коррекции достаточно хорошо согласуется с контактными измерениями температуры моря.

Публикации по теме:

1. Рубакина В.А. Симонова Ю.В. Изменчивость температуры поверхности моря в районе Южного берега Крыма по данным сканера SEVIRI и контактных наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, №3. – С. 244-253. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-244-253
2. Rubakina V. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Seasonal variability of the diurnal cycle of the Black Sea surface temperature from the SEVIRI satellite measurements // Physical Oceanography. 2019. V. 26. No 2. P. 157-169. DOI: 10.22449/1573-160X-2019-2-157-169.
3. Shokurova I.G., Plastun T.V., Kasianenko T.E., Stanichnaya R.R., Krasheninnikova S.B. and Simonova Yu.V. Winds Favorable for Upwellings near the Southern Coast of Crimea // Physical Oceanography, 2023. V. 30. No 4. P. 398-409.
4. Гайский П.В. Стационарная измерительная система на базе термопрофилемеров на океанографической платформе для определения параметров внутренних волн: результаты испытаний // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2024. № 1. С. 98–112. EDN TSHDME.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ
по темам № FNNN-2024-0016 и № FNNN-2024-0012



Спасибо за внимание!

