

Изменчивость температуры поверхности моря в районе Южного берега Крыма по данным сканера SEVIRI и контактных наблюдений

В. А. Рубакина, Ю. В. Симонова

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия

E-mail: valenru93@mail.ru

Рассмотрены возможности использования данных сканера с высоким временным разрешением SEVIRI (*англ.* Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) для исследования изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) в прибрежной зоне на примере района Южного берега Крыма (ЮБК). На основе комплексного использования данных контактных наблюдений, проводимых на базе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института (пгт. Кацивели), и спутниковых данных выполнен анализ межгодовой изменчивости ТПМ за 2005–2017 гг. Определено, что 2010 г. является самым тёплым в рассматриваемом тринадцатилетнем временном интервале и по спутниковым, и по контактным данным. Напротив, 2006 и 2011 гг. определены как самые холодные по значениям ТПМ не только для района ЮБК, но и для всего Чёрного моря. Также выделены и проанализированы события полных прибрежных апвеллингов. По контактным данным получено 26 случаев полного апвеллинга в тёплое время года (май–октябрь) за период 2013–2017 гг. Анализ этих событий показал, что данные SEVIRI также отображают видимые понижения ТПМ в эти периоды. Следует отметить, что величина амплитуды ТПМ, зафиксированной по спутниковым данным, зачастую недостаточна для определения событий понижения температуры как ситуации апвеллинга.

Ключевые слова: спутниковые данные, SEVIRI, Чёрное море, температура поверхности моря, контактные измерения

Одобрена к печати: 24.04.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-244-253

Введение

Прибрежные зоны моря, в частности, прилегающие к Южному берегу Крыма (ЮБК), характеризуются большой изменчивостью гидрофизических, гидрохимических и биологических параметров. Мониторинг состояния таких зон важен для понимания и прогнозирования происходящих в них процессов и явлений, их влияния на окружающую среду. В частности, температура поверхности (ТПМ) Чёрного моря оказывает значительное влияние на климат прибрежных территорий. Для разностороннего исследования термических процессов, наряду с данными регулярных контактных прибрежных наблюдений, важно использовать также данные спутникового мониторинга. Это позволяет получить более полную картину возникновения различных ситуаций (Бабий и др., 2005; Станичный и др., 2024; Ginzburg et al., 2004).

В работе продемонстрирована потенциальная возможность использования данных сканера SEVIRI (*англ.* Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) для исследования термических процессов и явлений в прибрежной зоне Чёрного моря в районе ЮБК. На основе совместного анализа контактных и спутниковых данных проанализирована изменчивость ТПМ в этом районе, выделен ряд особенностей этой изменчивости на различных временных масштабах. Изучены ситуации длительного аномального повышения и понижения ТПМ во внутригодовом и межгодовом ходе.

В рамках исследования суточной изменчивости ТПМ для изучаемого района выделены события апвеллингов за период 2013–2017 гг., установлены причины их возникновения. Известно, что апвеллинг играет важную роль в процессах взаимодействия между различными компонентами морской экосистемы, в вертикальном и горизонтальном водообмене. Изучению апвеллингов различными методами в Чёрном море посвящено достаточно

большое количество публикаций, например, (Горячкин, 2018; Зацепин и др., 2016; Иванов, Михайлова, 2008; Сильвестрова и др., 2017; Станичная, Станичный, 2021; Тужилкин, Новиков, 2011), но использование данных спутникового мониторинга для акватории ЮБК в работах ограничено (Симонова и др., 2024). Данные сканера SEVIRI успешно используются для изучения акватории Чёрного моря (Рубакина и др., 2019; Rubakina et al., 2019), но для района ЮБК применяются впервые.

Используемые данные

В работе использованы данные сканера SEVIRI в инфракрасном диапазоне спутника Meteosat второго поколения на геостационарной орбите. Временное разрешение данных — 1 ч, пространственное разрешение — 5 км. Массивы спутниковых данных сопоставлялись с данными контактных измерений температуры приповерхностного слоя воды за одинаковые временные периоды. Контактные данные получены инструментальными измерениями вблизи берега на глубине около 1 м в районе м. Кикенеиз. Измерения температуры моря являются частью многолетних ежедневных гидрометеорологических наблюдений, проводимых три раза в сутки (08:00, 14:00 и 17:00 местного времени), на базе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института (ЧГПП МГИ) (пгт. Кацивели, Ялтинский р-н). Ночные измерения отсутствуют. Для каждого дня бралось среднее значение температуры морской воды по этим трём измерениям. Данные успешно использованы в ряде работ, в частности, в публикациях (Симонова и др., 2024; Shokurova et al., 2023).

К анализу ситуаций были привлечены спутниковые карты из архива данных по Чёрному морю Морского портала МГИ (dvs.net). Исследование дополнялось картами ветровой обстановки по данным реанализа ERA5.

Для сравнительного анализа контактных и спутниковых данных из массива данных SEVIRI были выделены районы с координатами от 33,8 до 34,2° в.д., с 44,2 по 44,4° с.ш., а также от 33,92 до 34,06° в.д., с 44,31 по 44,39° с.ш. Для них производилось осреднение ТПМ по площади.

Результаты

Многолетняя изменчивость температуры вод приповерхностного слоя

Сравнительный анализ многолетней изменчивости ТПМ и температуры приповерхностного слоя воды показал, что массивы данных сканера SEVIRI и контактных измерений хорошо согласуются между собой и отображают изменчивость температуры во внутригодовом и междогодовом ходе (рис. 1а, см. с. 246).

Следует отметить, что, несмотря на неоспоримые достоинства данных SEVIRI, прежде всего, высокое временное разрешение, доступный достаточно длительный временной ряд и круглосуточность наблюдений, они имеют ряд недостатков. Эти данные сильно «зашумлены», а также существует проблема их обработки в прибрежных районах и на границе зоны облачности. Другой проблемой является малое количество данных в зимний период из-за продолжительного сплошного облачного покрова. Кроме того, необходимо отметить, что в основе контактных и спутниковых измерений лежат разные физические принципы и различные горизонты измерения.

В холодный период года ТПМ по данным дистанционного зондирования имеет меньшие значения, чем температура по данным прибрежных измерений. Особенно эта разница заметна начиная с 2011 г. Хорошо видно, что в этот период временной ряд спутниковых данных стал в целом более полным на протяжении круглого года, но это особенно заметно в осенне-зимний период, когда разность значений ТПМ по спутниковым и по контактным

измерениям максимальна (см. *рис. 1а*). Такое изменение в качестве данных, по-видимому, связано с изменением координатной сетки и изменением алгоритмов обработки данных сканера SEVIRI. На *рис. 1в* и *г* представлены фрагменты среднемесячных карт с исследуемой областью, с координатами от 33,8 до 34,2° в.д., с 44,2 по 44,4° с.ш., для 2010 и 2011 гг., для которых было посчитано число пикселей, содержащих данные о ТПМ, суммарное для каждого года в рассматриваемом периоде (см. *рис. 1б*). Хорошо видно, что число таких пикселей резко возросло с 37 565 в 2010 г. до 110 572 в 2011 г., т.е. практически в три раза. В 2011 г. в прибрежной зоне для всего Чёрного моря данные о ТПМ определены вдоль всей границы с берегом, чего нельзя сказать о данных для 2010 г. Наличие «рабочих» пикселей в прибрежной зоне расширило возможности исследования таких процессов, как апвеллинги. Однако, с другой стороны, 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.

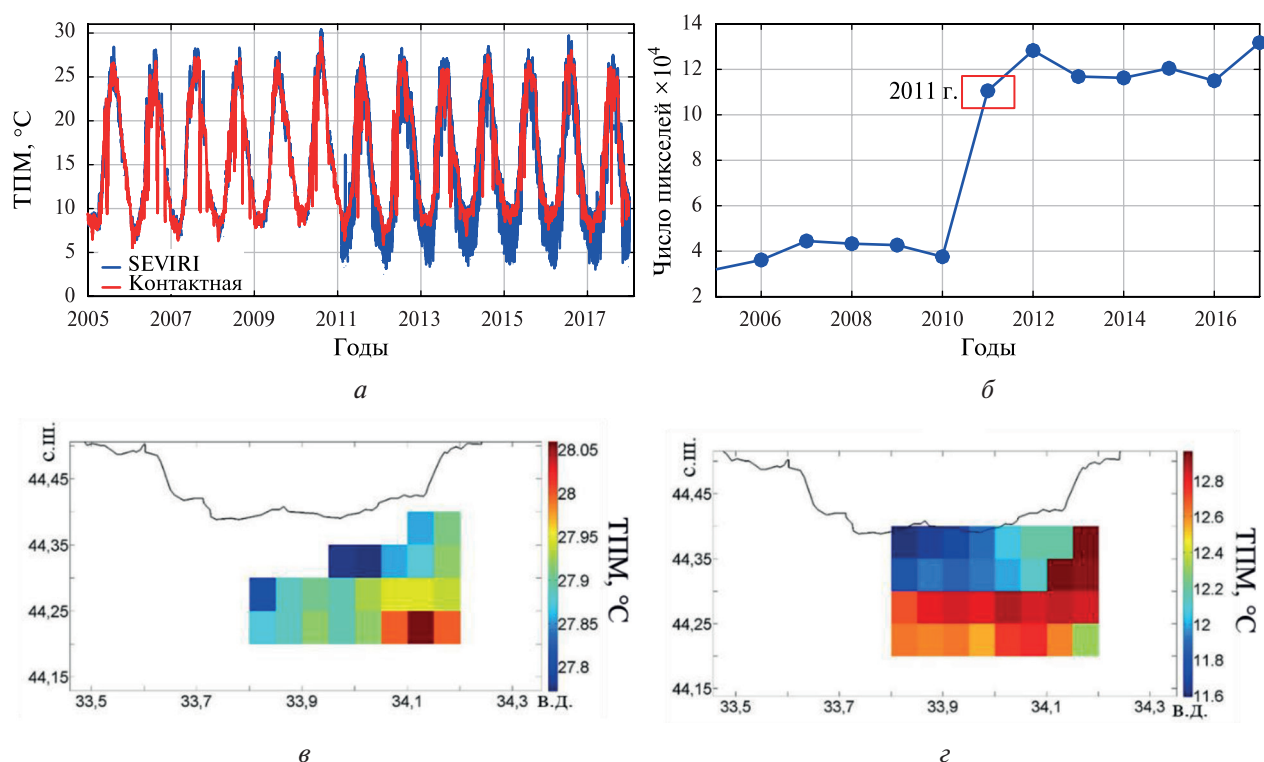


Рис. 1. Временной ход ТПМ за 2005–2017 гг. по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI (синяя линия) для района ЮБК (*а*); число пикселей, в которых есть данные о ТПМ в районе осреднения данных SEVIRI (координаты) для 2005–2017 гг. (*б*); среднемесячные карты ТПМ района исследования для 2010 г. (*в*) и 2011 г. (*г*)

Определено, что качество данных изменилось не только в прибрежной зоне. Аналогичный подсчёт рабочих пикселей был проведён для участка в глубоководной части Чёрного моря. Число пикселей, в которых есть данные о ТПМ, суммарное для каждого года, также возросло, хотя и не столь существенно, как для прибрежного района. В связи с этим можно заключить, что изменились алгоритмы обработки данных не только в прибрежной зоне, но и, вероятно, на границе с зонами облачности.

Для прибрежных районов, особенно в холодный период года, такие изменения привели в отдельных случаях к увеличению погрешности в измерениях. Это видно как на среднемесячных картах ТПМ в рамках месяца одного года, так и для среднемесячных карт за период с 2005 по 2017 г. («лесенка» в распределении ТПМ с её более низкими значениями возле берега).

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 (рис. 2а). Это сглаживающий цифровой фильтр, основанный на аппроксимации окрестности каждого измерения степенным полиномом второго и большего порядка. Фильтр является развитием метода скользящего среднего и также является одним из видов свёртки. 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. 2а, так и на диаграмме рассеяния, представленной на рис. 2б. При этом основные особенности картины распределения ТПМ остались неизменными. Коэффициент детерминации составляет 0,95. Отдельные положительные «выбросы» на диаграмме рассеяния для спутниковых данных (значения ТПМ, расположенные выше «основного» облака точек и линии регрессии) могут идентифицироваться как недостаточно хорошо определённые по данным SEVIRI события небольших по площади апвеллингов, для которых значения температуры по контактными измерениям оказались существенно ниже, чем температура, зафиксированная по данным сканера. Идентификация апвеллингов по данным SEVIRI рассмотрена в настоящей работе далее.

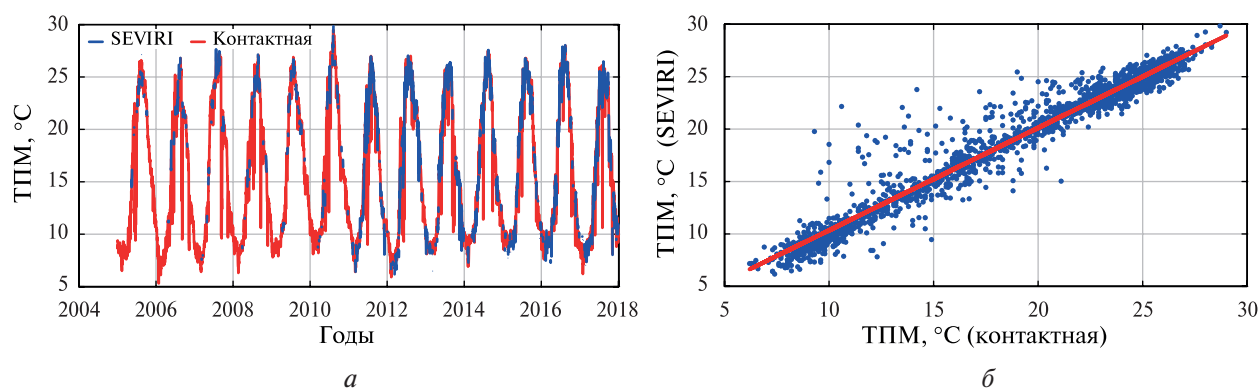


Рис. 2. Временной ход ТПМ за 2005–2017 гг. по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI после коррекции (синяя линия) для района ЮБК (а); диаграмма рассеяния дистанционных и контактных измерений (б) (красная линия — линия регрессии)

Особенности межгодовой изменчивости температуры по спутниковым и контактными данным

В рассматриваемом временном интервале выделяется 2010 г. Он является самым тёплым годом со среднегодовой температурой, по контактными измерениям равной 16,56 °C, что на 0,9 °C выше среднего значения за данный 13-летний период для изучаемого района. Максимальная температура приповерхностного слоя воды по данным прибрежных наблюдений зафиксирована 6 августа 2010 г. и составила 30,4 °C.

По данным SEVIRI также выделяется начало августа: 6 августа ТПМ достигла 30,2 °C, а 8 августа — 30,4 °C. Высокие значения ТПМ сохранялись весь месяц (рис. 3а, см. с. 248). По среднемесячным картам распределения ТПМ за август 2010 г. (см. рис. 3в) и среднемесячным картам за август для всего рассматриваемого периода (см. рис. 3д) в свою очередь хорошо видно, что в 2010 г. значения ТПМ были аномально высокими для всего Азово-Черноморского бассейна (в среднем на 2–4 °C). Эти аномалии температуры 2010 г. отмечены и рассмотрены также в ряде работ, например, в публикациях (Доценко, Адобовский, 2011; Симонова и др., 2024).

Исследование изменчивости ТПМ для августа 2010 г. дополнялось анализом ветровой обстановки (рис. 4, см. с. 249). Средний модуль скорости ветра для августа 2010 г. над всем

Черноморским бассейном достигал всего 5,5–6 м/с (по данным реанализа ERA5), а в районе контактных измерений скорость ветра не превышала 6,8 м/с (см. *рис. 4а*). Эти величины на 1–2 м/с ниже, чем средняя скорость за август для всего рассматриваемого периода (см. *рис. 4б*). Такое распределение скорости ветра — один из факторов, способствующих столь значительному прогреву вод как для всего Чёрного моря в целом, так и для прибрежной зоны ЮБК в частности.

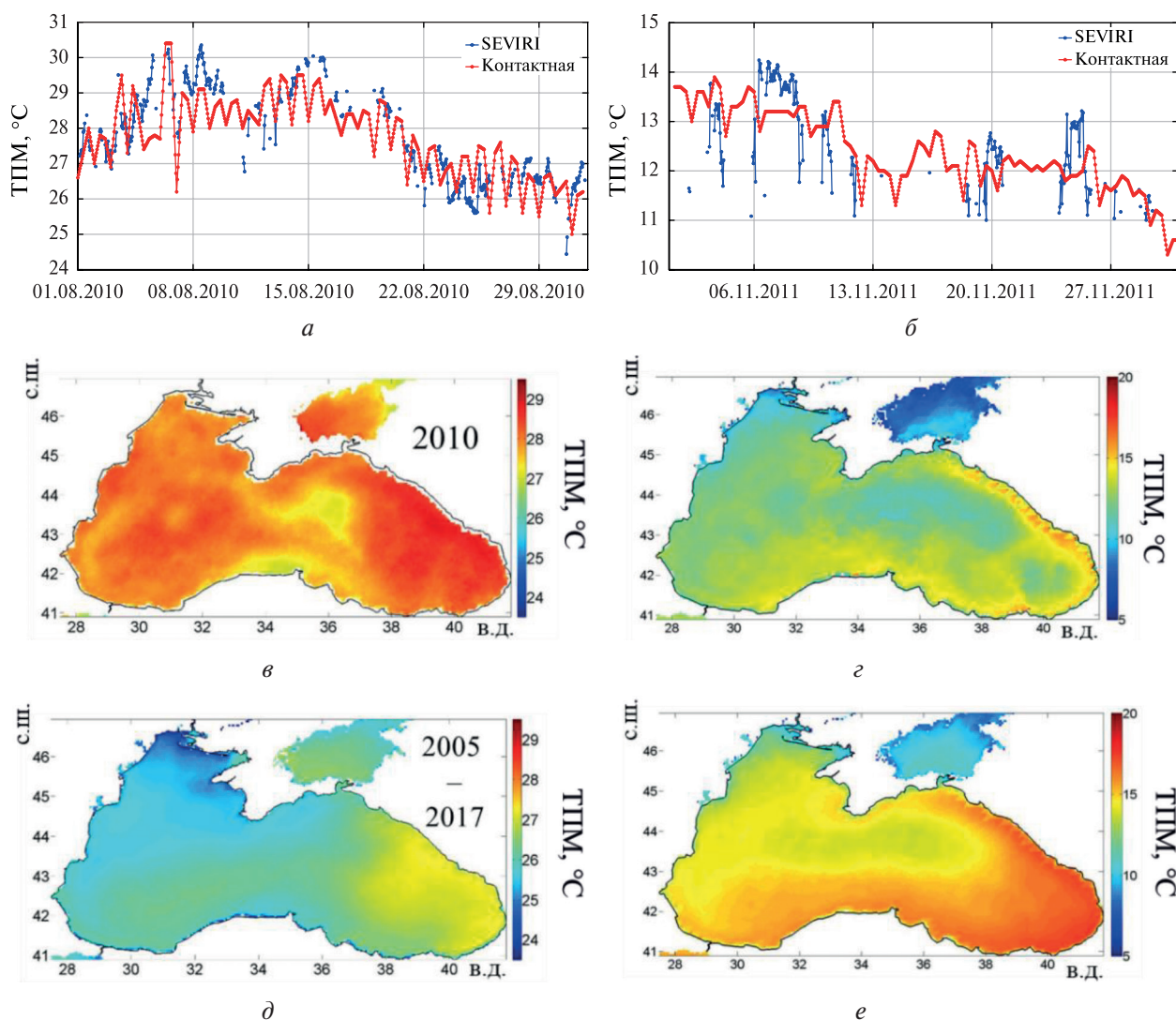


Рис. 3. Временной ход ТПМ по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI (синяя линия), осреднённые по району с координатами от 33,92 до 34,06° в.д., с 44,31 по 44,39° с.ш., в августе 2010 г. (*а*) и ноябре 2011 г. (*б*); карта пространственного распределения ТПМ средняя за август 2010 г. (*в*) и ноябрь 2011 г. (*г*); карта пространственного распределения ТПМ средняя за 2005–2017 гг. для августа (*д*) и ноября (*е*) 2011 г.

Самым холодным годом по контактным данным стал 2011 г. со среднегодовой температурой приповерхностного слоя, равной 14,87 °С (см. *рис. 3б*), что ниже среднемноголетних значений за рассматриваемый период на 0,79 °С. Минимальная температура по данным прибрежных наблюдений зафиксирована 4 марта 2011 г. в 08:00 и составила 5,6 °С. В 2011 г. выделяется ноябрь, когда температура была ниже средних значений за данный месяц для изучаемого периода на 1,7 °С.

По данным SEVIRI этот год также выделяется как год с самыми низкими средними значениями ТПМ за рассматриваемый период и для ЮБК, и для всего Чёрного моря (см.

рис. 3б, г, е). Общая картина распределения температуры по спутниковым и контактными данным совпадает достаточно хорошо. Однако по измерениям сканера в отдельные дни значения ТПМ были существенно ниже температуры по данным контактных измерений (на 2,5–3 °C и даже больше). Минимальные зафиксированные величины ТПМ в ноябре составили 6,3–6,7 °C, в то время как по контактными измерениями — 10,3 °C (см. рис. 3б).

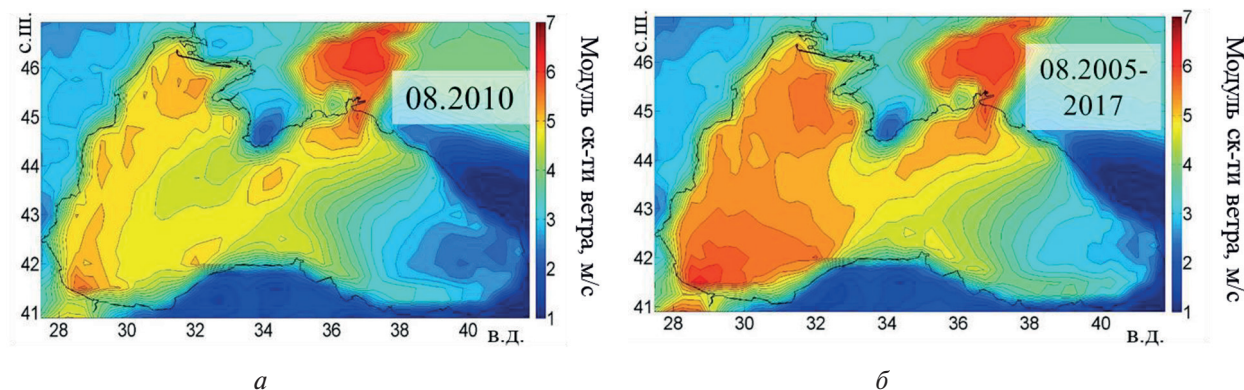


Рис. 4. Карта пространственного распределения модуля скорости ветра, средняя за август: а — 2010 г.; б — с 2005 по 2017 г.

Проблеме отличий в спутниковых и контактных измерениях посвящена работа (Зацепин и др., 2021). В ней проводилось сравнение данных радиометров AVHRR (*англ.* Advanced Very-High-Resolution Radiometer) и MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) с контактными измерениями CTD-зондов (*англ.* Conductivity, Temperature, Depth) на горизонте 1 м. Было определено, что значительное превышение спутниковой ТПМ над CTD-измерениями (до 3 °C) наблюдается в дневные и вечерние часы летом при маловетреной погоде и вызвано развитием суточного термоклина. Разница между зондовой и спутниковой температурой часто имеет гидростатически неустойчивое положительное значение. Иногда это связано с наличием приповерхностного опреснённого слоя и его ночным выхолаживанием, а также с наличием мезомасштабной и субмезомасштабной изменчивости температуры вод. Кроме этого, локальная мелкомасштабная облачность вызывает артефакт понижения ТПМ под облаками. Для открытого моря одна из причин наличия «холодных пятен» в открытой части Чёрного моря — мезомасштабные вихри.

По среднемесячной карте распределения ТПМ за ноябрь 2011 г. (см. рис. 3г) и среднемесячной карте за ноябрь для всего рассматриваемого периода (см. рис. 3е) также хорошо видно, что в 2011 г. значения ТПМ были достаточно низкими для всего Чёрного моря (на 2–5 °C ниже средних значений для ноября за весь период).

Исследование событий прибрежного синоптического апвеллинга по спутниковым и контактными измерениям

С 2013 по 2017 г. был выполнен мониторинг событий апвеллингов в исследуемом районе. Критерием выделения апвеллинга принималось быстрое понижение температуры поверхности моря на 5 °C и более, что соответствует общепринятому критерию определения события апвеллинга (Толстошеев и др., 2020; Shokurova et al., 2023).

За рассматриваемый период по контактными данным выделено 26 случаев полного апвеллинга в тёплое время года (май — октябрь): 2013 г. — 7 случаев, 2014 — 6, 2015 — 3, 2016 — 5, 2017 — 5 случаев. За весь изучаемый период наибольшее количество апвеллингов наблюдалось в июне — 8 случаев; в августе не было ни одного случая.

Нужно отметить, что часто многочисленные пропуски в данных SEVIRI не позволяют получать непрерывную информацию о ТПМ и, соответственно, в полном объёме идентифи-

цировать события апвеллингов в прибрежной зоне. Для более точной идентификации событий апвеллинга по данным сканера была проанализирована ТПМ для одного пикселя, наиболее близкого к ЧГПП Кацивели с координатами 44,38° с. ш. и 33,98° в. д.

Подробно рассмотрены два события апвеллинга в 2013 и 2017 гг. (рис. 5а, б). При сравнении массивов данных спутниковых и контактных измерений установлено, что данные SEVIRI также отображают видимое понижение ТПМ в эти периоды, хотя амплитуда температуры по спутниковым данным зачастую недостаточна для выделения событий понижения температуры как ситуации апвеллингов. Например, при апвеллинге 23 июня 2013 г. по данным контактных измерений амплитуда понижения ТПМ составила 9,0 °С (минимум ТПМ достиг 14,9 °С), а по данным SEVIRI — 1,7 °С с минимумом ТПМ, равным 21,0 °С (см. рис. 5а). Но в следующем рассмотренном примере ситуации апвеллинга 17 июня 2017 г. данные контактных и спутниковых наблюдений совпали достаточно хорошо. Амплитуды понижения ТПМ по данным береговых измерений составили 7,5 °С и 8,2 °С по данным сканера (с минимумами ТПМ 12,5 и 12,3 °С соответственно) (см. рис. 5б). Данные дополнялись спутниковыми картами ТПМ (см. рис. 5в, г) и ветровых полей (см. рис. 5д, е) Морского портала МГИ (dvs.net.ru). Все события апвеллингов возникли при наличии вдольбереговых ветров с западной составляющей в векторе скорости (Shokurova et al., 2023).

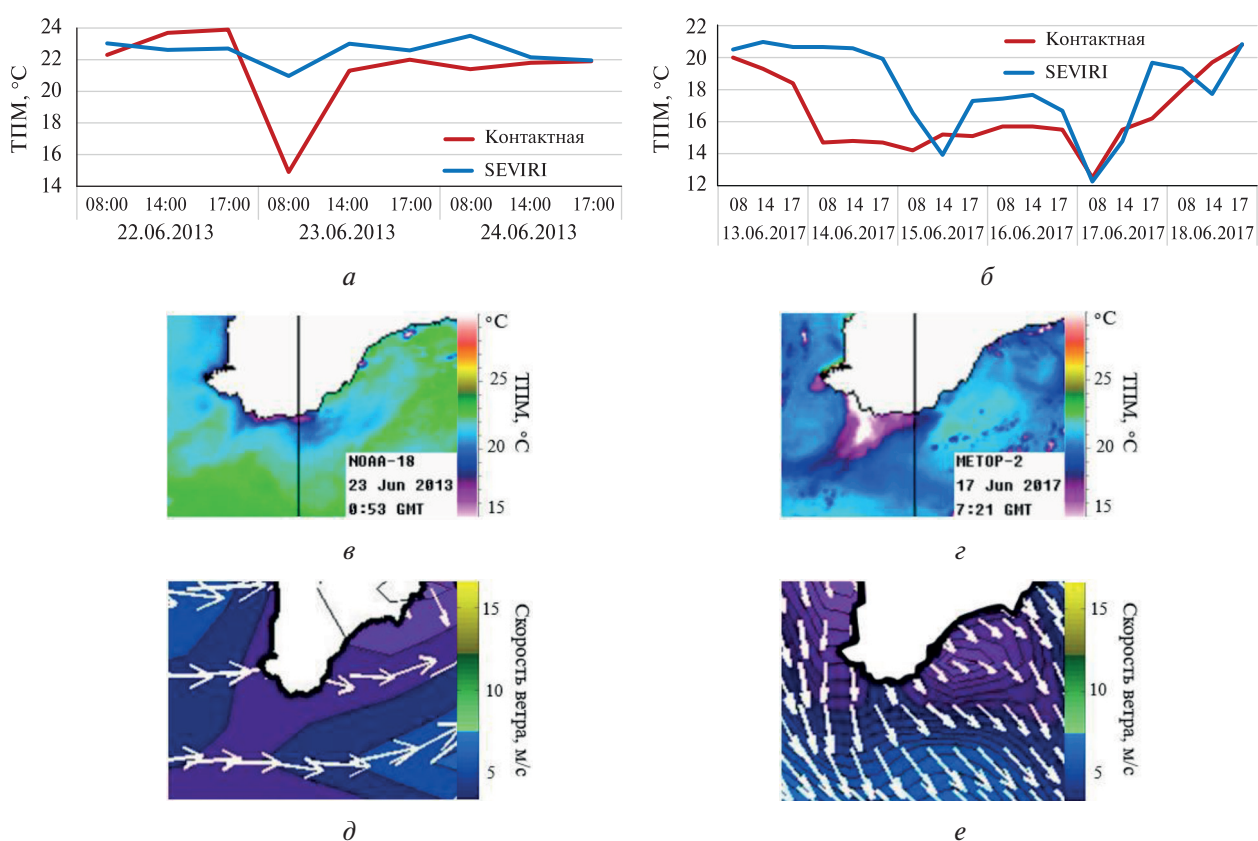


Рис. 5. Временной ход ТПМ по данным контактных наблюдений (красная линия) и данным сканера SEVIRI (синяя линия) за 22–24.06.2013 (а) и 13–18.06.2017 (б); карты ТПМ за 23.06.2013 (в) и 17.06.2017 (г) по данным Морского портала МГИ (dvs.net); карты ветровых полей за 23.06.2013 (д) и 16.06.2017 (е) по данным Морского портала МГИ (dvs.net)

Заключение

Результаты настоящей работы позволяют заключить, что данные сканера SEVIRI могут быть успешно использованы для мониторинга высокочастотной, сезонной и межгодовой изменчивости ТПМ в зоне ЮБК и в ряде случаев для идентификации больших по площади апвеллин-

гов. Сезонный и суточный ход ТПМ достаточно хорошо согласуется с контактными измерениями. Данные сканера отображают фиксируемые по прибрежным наблюдениям аномалии в межгодовом, сезонном и суточном ходе — это периоды интенсивного увеличения и понижения ТПМ, а также апвеллинги.

В межгодовом ходе за рассматриваемый период выделяется 2010 г., в котором величины ТПМ были значительно выше средних значений за 2005–2017 гг., а также 2006 и 2011 гг. как года с наиболее низкими значениями ТПМ.

Комплексный анализ событий апвеллинга по спутниковым и контактными данным показал, что при общей достаточно неплохой согласованности сопоставляемых массивов в отдельных случаях данные контактных измерений в прибрежной зоне ЮБК более точно позволяют идентифицировать и исследовать явления апвеллингов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по темам № FNNN-2024-0016 и № FNNN-2024-0012. Авторы выражают благодарность канд. физ.-мат. наук Станичному С. В. за полезные предложения, которые помогли доработать исследование. Также авторы выражают благодарность д-ру физ.-мат. наук Зацепину А. Г. за ценные замечания, которые способствовали значительному улучшению настоящей работы.

Литература

1. *Бабий М. В., Букатов А. Е., Станичный С. В.* Атлас температуры поверхности Черного моря по спутниковым данным 1986–2002 гг. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005. 265 с.
2. *Горячкин Ю. Н.* Апвеллинг у берегов Западного Крыма // Морской гидрофиз. журн. 2018. Т. 34. № 5. С. 399–411. DOI: 10.22449/0233-7584-2018-5-399-411.
3. *Доценко С. А., Адобовский В. В.* Аномальные гидрологические явления в Одесском районе северо-западной части Черного моря в первой половине 2010 года // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. 2011. № 25-1. С. 228–233.
4. *Зацепин А. Г., Сильвестрова К. П., Куклев С. Б. и др.* Наблюдение цикла интенсивного прибрежного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 203–214. DOI: 10.7868/S0030157416020222.
5. *Зацепин А. Г., Подымов О. И., Соловьев Д. М.* Сопоставление температуры приповерхностного слоя Чёрного моря, измеренной STD-зондом и спутниковыми радиометрами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 254–268. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-254-268.
6. *Иванов В. А., Михайлова Э. Н.* Апвеллинг в Черном море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 92 с.
7. *Рубакина В. А., Кубряков А. А., Станичный С. В.* Сезонный и суточный ход температуры вод Чёрного моря по данным термопрофилирующих дрейфующих буёв // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 268–281. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-268-281.
8. *Сильвестрова К. П., Зацепин А. Г., Мысленков С. А.* Прибрежные апвеллинги в Геленджикском районе Черного моря: связь с ветровым воздействием и течением // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 521–530. <https://doi.org/10.7868/S0030157417040013>.
9. *Симонова Ю. В., Станичный С. В., Лемешко Е. М.* Особенности проявления аномалий температуры поверхности Чёрного моря в районе Южного берега Крыма // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 234–243. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243.
10. *Станичная Р. Р., Станичный С. В.* Апвеллинги Чёрного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 195–207. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207.
11. *Станичный С. В., Станичная Р. Р., Давыдова Е. П.* Аномальное охлаждение поверхностного слоя в западной части Чёрного моря под воздействием интенсивного атмосферного циклона в начале октября 2024 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 6. С. 383–388. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-383-388.
12. *Толстошеев А. П., Мотыжев С. В., Лунев Е. Г.* Результаты долговременного мониторинга вертикальной термической структуры шельфовых вод на Черноморском гидрофизическом полигоне РАН // Морской гидрофиз. журн. 2020. Т. 36. № 1. С. 75–87. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-1-75-87.

13. Тужилкин В. С., Новиков А. А. Климатические проявления апвеллинга в российской прибрежной зоне Чёрного моря // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 6. С. 43–53.
14. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A. Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from the satellite data (1982–2000) // J. Marine Systems. 2004. V. 52. No. 1–4. P. 33–50.
15. 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.
16. Shokurova I. G., Plastun T. V., Kasianenko T. E., Stanichnaya R. R., Krashenninnikova S. B., Simonova Yu. V. Winds favorable for upwellings near the Southern Coast of Crimea // Physical Oceanography. 2023. V. 30. No. 4. P. 398–409.

Study of sea surface temperature variability in the area of the Southern Coast of Crimea using SEVIRI scanner and contact observations

V. A. Rubakina, Yu. V. Simonova

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: valenru93@mail.ru

The article presents the possibilities of using the data from the SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) high-resolution scanner to study the variability of sea surface temperature (SST) in the coastal zone using the example of the area of the Southern Coast of Crimea. Based on integrated use of data from contact observations made on the basis of the Black Sea Hydrophysical Polygon of Marine Hydrophysical Institute (Katsiveli) and satellite data, an analysis of interannual variability of SST for 2005–2017 was performed. It was determined that 2010 was the warmest year in the considered thirteen-year time interval, both according to satellite and contact data. On the contrary, 2006 and 2011 were identified as the coldest in terms of SST, not only for the region of the Southern Coast of Crimea, but also for the entire Black Sea. Events of complete coastal upwellings were also highlighted and analyzed. According to contact information, 26 cases of complete upwelling were recorded in the warm season (May – October) for the period 2013–2017. Analysis of these events showed that SEVIRI data also demonstrated visible SST decreases during those periods. It should be noted that the value of SST amplitude derived from satellite data is often insufficient for temperature decrease events to be identified as upwelling situations.

Keywords: satellite data, SEVIRI, Black Sea, sea surface temperature, contact measurements

Accepted: 24.04.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-244-253

References

1. Babii M. V., Bukatov A. E., Stanichnyi S. V., *Atlas temperatury poverkhnosti Chernogo morya po sputnikovym dannym 1986–2002 gg.* (Atlas of surface temperature of the Black Sea according to satellite data 1986–2002), Sevastopol: MHI NASU, 2005, 265 p. (in Russian).
2. Goryachkin Yu. N., Upwelling nearby the Crimea Western Coast, *Physical Oceanography*, 2018, V. 25, No. 5, pp. 368–379, DOI: 10.22449/1573-160X-2018-5-368-379.
3. Docenko S. A., Adobovsky V. V., Anomalous hydrological phenomena in the Odessa Region of the north-western part of the Black Sea in the first half of 2010, *Ekologichna bezpeka priberezhnoi ta shel'fovoi zon ta kompleksne vikoristannya resursiv shel'fu*, 2011, No. 25-1, pp. 228–233 (in Russian).
4. Zatsepin A. G., Sil'vestrova K. P., Kuklev S. B. et al., Observations of a cycle of intense coastal upwelling and downwelling at the research site of the Shirshov Institute of Oceanology in the Black Sea, *Oceanology*, 2016, V. 56, No. 2, pp. 188–199, DOI: 10.1134/S0001437016020211.

5. Zatsepin A. G., Podymov O. I., Soloviev D. M., Comparison of sea surface temperature in the Black Sea measured by satellite radiometers and CTD-sensor, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 3, pp. 254–268 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-254-268.
6. Ivanov V. A., Mikhailova E. N., *Apvelling v Chernom more* (Upwelling in the Black Sea), Sevastopol: EHKOSI-Gidrofizika, 2008, 92 p. (in Russian).
7. Rubakina V. A., Kubryakov A. A., Stanichny S. V., Seasonal and diurnal cycle of the Black Sea water temperature from temperature-profiling drifters data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, V. 16, No. 5, pp. 268–281 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-268-281.
8. Silvestrova K. P., Zatsepin A. G., Myslenkov S. A., Coastal upwelling in the Gelendzhik area of the Black Sea: Effect of wind and dynamics, *Oceanology*, 2017, V. 57, pp. 469–477, DOI: 10.1134/S0001437017040178.
9. Simonova Yu. V., Stanichny S. V., Lemesenko E. M., The features of anomalies in surface temperature of the Black Sea in the area of the Southern Coast of Crimea, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 3, pp. 234–243 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243.
10. Stanichnaya R. R., Stanichny S. V., Black Sea upwellings, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 4, pp. 195–207 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207.
11. Stanichny S. V., Stanichnaya R. R., Davydova E. P., Anomalous cooling of surface layer in the western Black Sea under the impact of an intense atmospheric cyclone at the beginning of October 2024, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 6, pp. 383–388 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-383-388.
12. Tolstosheev A. P., Motyzhev S. V., Lunev E. G., Results of long-term monitoring of the shelf water vertical thermal structure at the Black Sea Hydrophysical Polygon of RAS, *Physical Oceanography*, 2020, V. 27, No. 1, pp. 69–80, DOI: 10.22449/1573-160X-2020-1-69-80.
13. Tuzhilkin V. S., Novikov A. A., Thermal effects of upwelling in the Russian part of the Black Sea coastal zone, *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 5: Geografiya*, 2011, No. 6, pp. 43–53 (in Russian).
14. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from the satellite data (1982–2000), *J. Marine Systems*, 2004, V. 52, No. 1–4, pp. 33–50, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.05.002>.
15. 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, pp. 157–169, DOI: 10.22449/1573-160X-2019-2-157-169.
16. Shokurova I. G., Plastun T. V., Kasianenko T. E., Stanichnaya R. R., Krashenninnikova S. B., Simonova Yu. V., Winds favorable for upwellings near the Southern Coast of Crimea, *Physical Oceanography*, 2023, V. 30, No. 4, pp. 398–409.