

Особенности проявления аномалий температуры поверхности Чёрного моря в районе Южного берега Крыма

Ю. В. Симонова, С. В. Станичный, Е. М. Лемешко

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mails: julia.simonova.0502@gmail.com, sstanichny@mail.ru, evgeny.lem@gmail.com*

Проанализированы проявления аномалий температуры поверхности моря (ТПМ) за последний климатический период (1982–2019) на основе данных многолетних ежедневных наблюдений на береговом посту Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института (ЧГПП МГИ) (пгт. Качивели, Ялтинский р-н) и спутниковых данных для исследуемого района, полученных методом оптимальной ежедневной интерполяции ТПМ (*англ.* Optimum Interpolation Sea Surface Temperature — OISST). Приведена статистика сопоставления данных по годам, рассчитаны температурные тренды. Корреляция массивов данных контактных наблюдений с данными дистанционного зондирования составляет в среднем 0,96. Подсчитаны суммы аномалий для каждого года. Выделены года с максимальными и минимальными температурными аномалиями. Рассчитаны тренды температуры для каждого дня года. Наиболее тёплой является вторая половина изучаемого периода, что подтверждает повышение температуры поверхности моря, в том числе за счёт уменьшения в последние десятилетия количества апвеллингов в исследуемой акватории. Для каждого года выявлены события летних апвеллингов. Исследованы влияние таких событий на изменчивость ТПМ для изучаемой акватории.

Ключевые слова: температура поверхности моря, Чёрное море, аномалии температуры, спутниковые данные, береговые наблюдения, прибрежная акватория, апвеллинг, Южный берег Крыма, OISST

Одобрена к печати: 29.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243

Введение

Исследования долговременной изменчивости температуры поверхности океанов и морей как одного из главных климатических параметров является важным направлением современной океанологии. Особенно актуальными эти исследования оказываются в связи с наблюдаемым с конца XX в. глобальным потеплением Мирового океана. Температура поверхности Чёрного моря оказывает существенное влияние на климат Крыма. В связи с этим мониторинг температурного режима моря, в том числе выделение аномалий температуры, важны при изучении береговых процессов и явлений в данном регионе (Ginzburg et al., 2008; Kazmin, Zatsepin, 2007).

Акватория около Южного берега Крыма (ЮБК) — одна из зон активного постоянно-го подъёма холодных глубинных вод на поверхность (явление апвеллинга). Данное явление в Чёрном море становится объектом всестороннего изучения, например, в исследованиях (Боровская и др., 2005; Гинзбург и др., 1997; Горячкин, 2018; Зацепин и др., 2016; Иванов, Михайлова, 2008; Станичная, Станичный, 2021).

В настоящее время всестороннее изучение процессов в морях и океанах практически невозможно без использования данных спутниковых измерений. Это позволяет проводить комплексный анализ изменчивости термических процессов. Использование спутниковых данных для изучения, например, долговременной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) в Чёрном море продемонстрированы во многих работах, например (Бабий и др., 2005; Гинзбург и др., 2008, 2009, 2011; Ginzburg et al., 2004). Однако подобный анализ изменчивости температуры поверхности моря для акватории Южного берега Крыма с использованием данных дистанционного зондирования проводился мало и представлен в достаточно ограниченном количестве работ (например, (Станичный и др., 2014)).

В настоящей работе проведён анализ долгосрочной изменчивости ТПМ в районе Южного берега Крыма за период 1982–2019 гг. с выделением температурных аномалий.

Для выделения аномалий ТПМ из массива данных предварительно вычитался линейный тренд. Далее аномалии температуры для каждого дня рассчитывались как разность текущего и среднего значения для рассматриваемого дня.

Подсчитаны суммы аномалий для каждого года. Исследованы года с наибольшими и наименьшими температурными аномалиями и выявлены причины данных явлений.

Используемые данные и методы

Выявление и изучение аномалий температуры поверхности моря в акватории Южного берега Крыма проводилось на основе многолетних рядов данных контактных береговых измерений ТПМ, выполненных на базе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института (ЧГПП МГИ) в пгт. Кацевели (Ялтинский р-н Республики Крым). Контактные данные по ТПМ получены инструментальными измерениями непосредственно у берега на глубине ~1 м в районе м. Кикенеиз. Для каждого дня бралось среднее значение по трём измерениям в 08:00, 14:00 и 17:00 ч местного времени. Расположение точки сбора данных по температуре поверхности моря можно условно считать репрезентативным для всей акватории Южного берега Крыма, как отражающее общий фон колебаний значений ТПМ в исследуемом районе.

Данные контактных наблюдений анализировались совместно с массивами данных дистанционного зондирования за 1982–2019 гг. в ближайшей к изучаемому району точке спутниковых измерений, полученных методом оптимальной ежедневной интерполяции ТПМ (*англ.* Optimum Interpolation Sea Surface Temperature — OISST) с пространственным разрешением $0,25^\circ$, являющихся продуктом GHRSSST (*англ.* Group for High Resolution Sea Surface Temperature) (podaac.jpl.nasa.gov). Источник данных: AVHRR_OI-NCEI-L4-GLOB-v2.0. Подробное описание метода OISST дано на сайте (www.ncei.noaa.gov/products/optimum-interpolation-sst) (*рис. 1*).

При анализе изменчивости ТПМ в исследуемой акватории с 1996 г. были использованы спутниковые карты из архива данных по Чёрному морю Морского портала МГИ (dvs.net.ru).

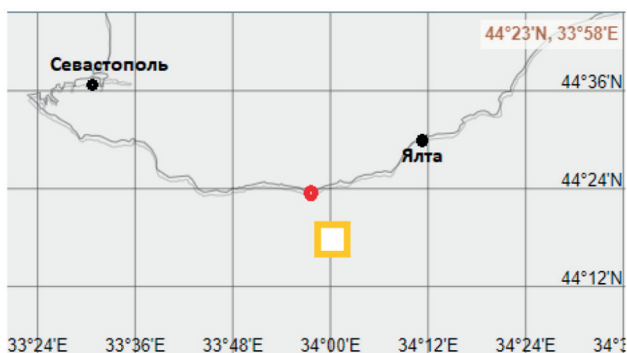


Рис. 1. Районы сбора данных по контактным наблюдениям (красная точка) и спутниковым данным (жёлтый квадрат)

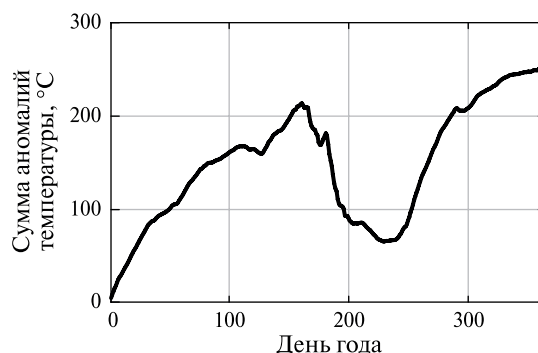


Рис. 2. Ход суммы аномалий ТПМ за 1982 г. по данным контактных наблюдений в районе ЮБК

Для анализа изменчивости аномалий температуры из массивов удалялись линейные тренды. Затем для каждого года строилась сумма аномалий температуры от среднего для каждого дня, начиная с 1 января. Подобного рода зависимости позволяют удобно анализировать особенности и причины изменчивости температуры. Рост функции соответствует положительным аномалиям, а уменьшение — отрицательным. Пример таких колебаний для контактных данных продемонстрирован на *рис. 2* для 1982 г., когда с июня по август (152–243-й дни года)

резкое уменьшение значений суммы аномалий было связано с низкими значениями ТПМ, которые вызваны событиями апвеллингов. Отметим, что спутниковые данные почти не подвержены влиянию апвеллингов и могут быть использованы в качестве опорных при выделении таких событий и описании изменчивости ТПМ, характерной для бассейна Чёрного моря.

Результаты

За изучаемый период среднее значение ТПМ по данным береговых гидрометеорологических наблюдений составило +14,91 °С и +15,14 °С по спутниковым измерениям.

Корреляция массивов данных контактных наблюдений с данными дистанционного зондирования очень хорошая и составляет в среднем 0,96. При анализе температурных рядов выявлено, что разность в контактных и спутниковых данных чаще всего указывает на проявление событий апвеллинга, особенно в весенне-летний период года, когда существует наиболее яркий контраст между прогретыми поверхностными водами и холодными глубинными. Такие кратковременные резкие понижения ТПМ часто пропускаются и не фиксируются методами спутникового мониторинга из-за пространственно-временных особенностей сбора данных в прибрежной зоне (особенности идентификации ТПМ на границе облаков, туманов и берега и т. д.) (рис. 3).

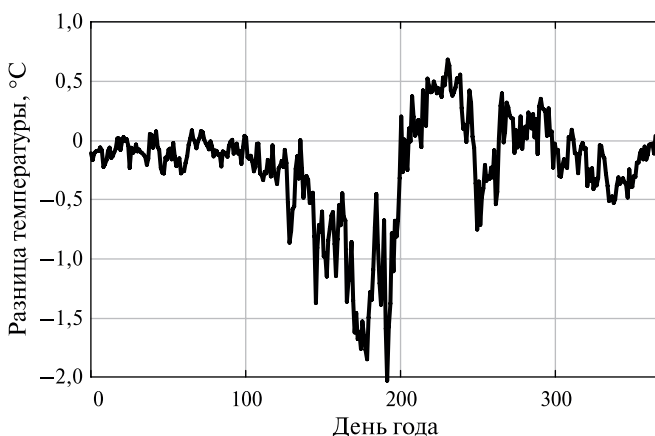


Рис. 3. Разность в среднегодовом ходе между контактными и спутниковыми данными ТПМ за 1982–2019 гг.

Хорошо видно, что в зимние и весенние месяцы до мая температуры близки. В период развития сезонного термоклина проявления апвеллингов ТПМ у берега в среднем ниже, а в августе несколько выше за счёт большего прогрева на мелководье.

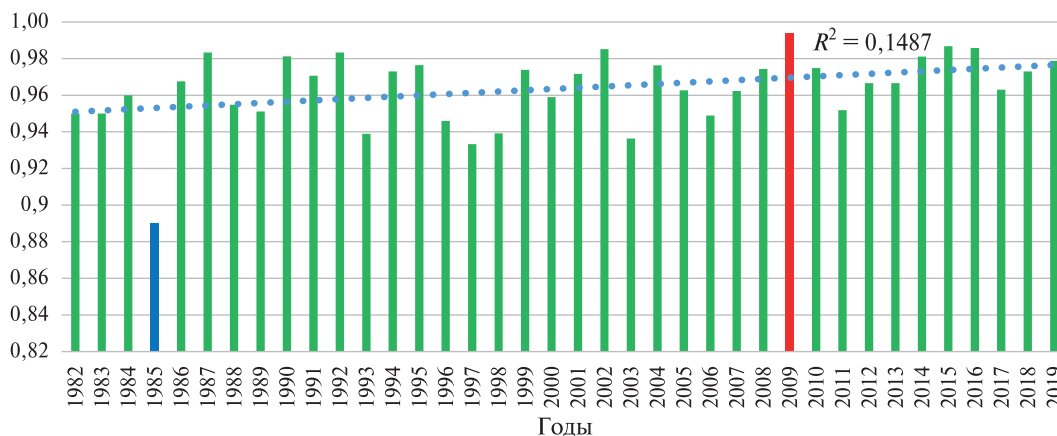


Рис. 4. Корреляция ТПМ по спутниковым и контактными данным за 1982–2019 гг.

При сравнении данных контактных и дистанционных наблюдений за исследуемый период выделяются несколько лет с корреляцией по ТПМ от 0,98 и выше, а именно 1987, 1990, 1992, 2002, 2009, 2014, 2015 и 2016 гг. В эти года кратковременных резких понижений ТПМ было мало. Максимальная корреляция 0,994 наблюдается в 2009 г., когда по данным контактных наблюдений не выделено ни одного события апвеллинга (рис. 4, см. с. 236).

Минимальная корреляция за изучаемый период подсчитана для 1985 г. и составляет 0,89. Тогда в летний период по данным береговых наблюдений 27 сут наблюдался длительный полный апвеллинг со значениями температуры на 10–15° ниже климатической нормы, которые не проявились в спутниковых данных.

Температурные тренды за весь рассматриваемый период оказались положительными по данным как контактных, так и спутниковых наблюдений (0,074 и 0,057 °C/год соответственно), что подтверждает долгосрочное потепление ТПМ, в том числе за счёт уменьшения в последние десятилетия количества сгонных явлений в исследуемой акватории (рис. 5).

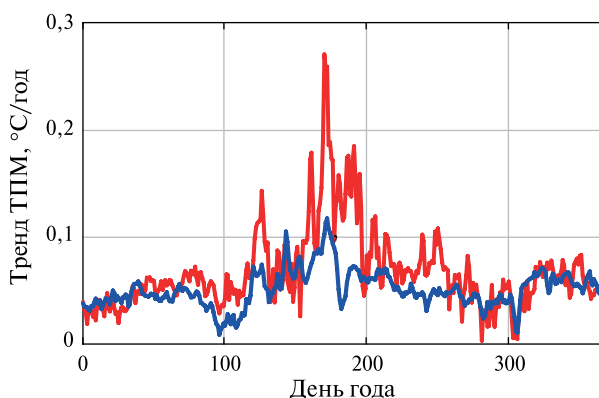


Рис. 5. Величина тренда (°C/год) ТПМ для каждого дня за 1982–2019 гг. по контактным (синяя линия) и спутниковым (красная линия) наблюдениям

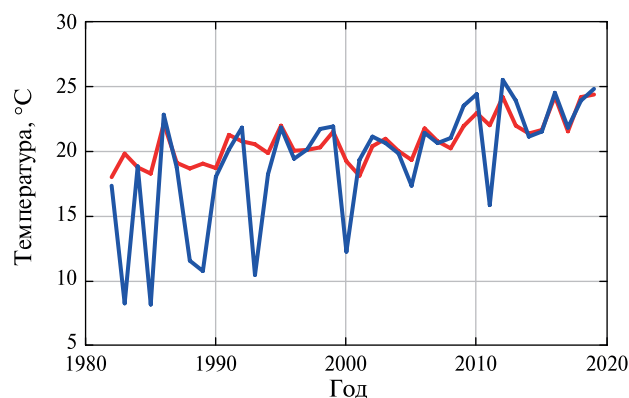


Рис. 6. Изменчивость ТПМ по контактным (синяя линия) и спутниковым данным (красная линия) для 172-го дня года

Полученные значения количественно соответствуют опубликованным ранее данным для всего моря за более короткие периоды (Бабий и др., 2005; Гинзбург и др., 2008, 2011).

Из графика (см. рис. 5) хорошо видно, что максимальные тренды для обоих массивов характерны для последней декады июня и первых двух декад июля. Именно для этих интервалов времени в последние годы наблюдается значительное уменьшение количества апвеллингов и их интенсивность. Представление о характере такой изменчивости даёт зависимость для 21 июня (172-й день года) (рис. 6).

По данным рассчитанных среднесуточных аномалий за изучаемый период выделено 14 случаев аномально тёплых лет, когда суммы аномалий были только положительными. Это 1982, 1983, 1984, 1986, 1988, 1990, 1991, 1995, 1999, 2001, 2002, 2010, 2014 и 2018 гг.

Самым тёплым за рассматриваемый период как по контактным, так и по спутниковым массивам данных является 2010 г. Превышение ТПМ над среднемноголетними значениями по контактным наблюдениям за этот год составило 1,65 °C (рис. 7, см. с. 238). Этому году принадлежит и среднесуточный максимум ТПМ за весь изучаемый период. Так, по контактным измерениям 6 августа 2010 г. среднесуточная ТПМ равнялась +29,5 °C, а по спутниковым наблюдениям 8, 12 и 14 августа 2010 г. значение среднесуточной температуры поверхности моря составило +28,46 °C.

Максимальному прогреву поверхности моря в первой половине августа 2010 г. способствовало длительное преобладание в этот период волнения восточного направления, что привело к нагону прогретых водных масс из открытого моря к акватории ЮБК. Дальнейший процесс прогрева вызван слабым перемешиванием водной толщи в результате длительного влияния погодных условий с ветрами преимущественно восточных румбов и небольшими значениями скорости, в среднем около 2,5 м/с (рис. 8, см. с. 238). Средняя

температура поверхности моря за август 2010 г. в прибрежной зоне ЮБК по данным береговых наблюдений составила +27,8 °С и +26,85 °С по данным дистанционного зондирования. Минимальное для этого месяца значение ТПМ по береговым наблюдениям составило +25,0 °С (31 августа 2010 г.) и 24,57 °С (30 августа 2010 г.) по данным спутникового мониторинга.

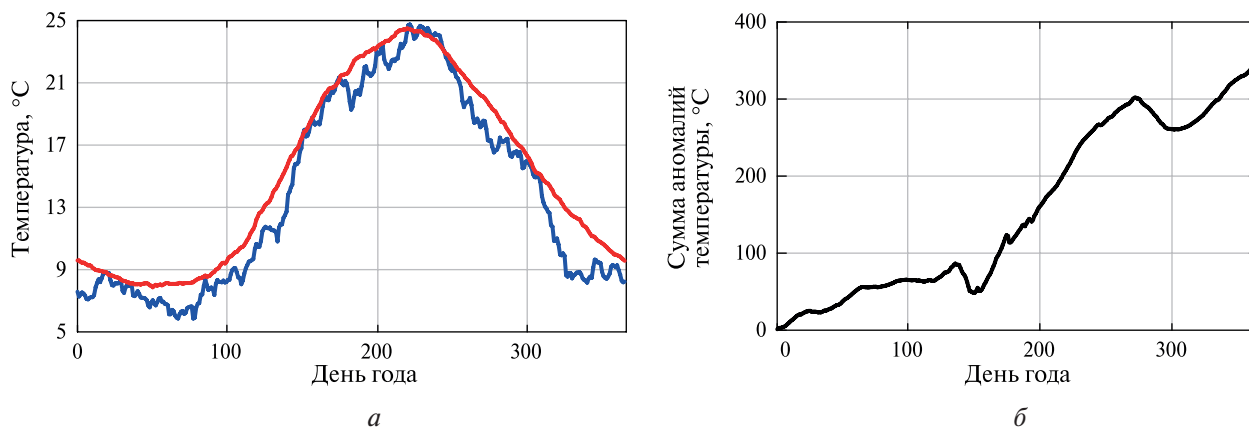


Рис. 7. Ход ТПМ за 2010 г. (синяя линия) по сравнению со среднемноголетним (красная линия) за 1982–2019 гг. по спутниковым данным (а); ход аномалий ТПМ за 2010 г. по данным контактных наблюдений в районе ЮБК (б)

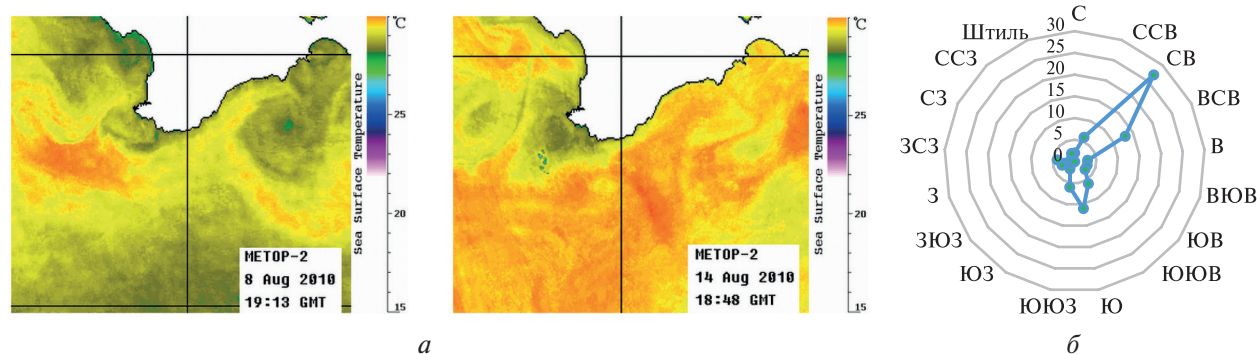


Рис. 8. Спутниковые карты ТПМ (Морской портал МГИ — <http://dvs.net.ru/>) (а) и диаграмма распределения направления ветра по береговым наблюдениям за август 2010 г. (б)

Также за изучаемый период выделено 11 случаев аномально холодных лет (суммы аномалий только отрицательные). Такие длительные понижения ТПМ наблюдались в 1987, 1992, 1993, 1996, 1997, 1998, 2004, 2006, 2008, 2011 и 2017 гг. Здесь зачастую в тёплый период года (в основном в мае – июне) происходит резкое и длительное понижение ТПМ, связанное с событиями апвеллингов.

Самый холодным по данным контактными наблюдениям стал 1993 г. со средним значением ТПМ +12,91 °С. Этому же году принадлежит и среднесуточный минимум +5,0 °С (26 февраля). В весенне-летний период наблюдаются по береговым измерениям многочисленные глубокие апвеллинги. Выделяется и октябрь месяц (рис. 9, см. с. 239).

Со второй половины ноября до конца года ТПМ значительно ниже нормы. Это связано с резким и длительным понижением температуры воздуха. С 9 на 10 ноября 1993 г. температура опустилась с 13,2 °С до +5,6 °С утром 10 ноября и до 10 декабря не поднималась выше +6,0 °С. При этом продолжительных западных ветров по данным береговых наблюдений не было.

Выделяются года, когда в тёплое время года (обычно с конца мая по июль) происходят особенно резкие и длительные понижения ТПМ, связанные с событиями полных апвеллингов в прибрежной зоне ЮБК. Подробно рассмотрим такую ситуацию на примере тёплого пе-

риода 2001 г. (см. рис. 5). Так, в акватории Южного берега Крыма конец мая и июнь (149–180-й день года) характеризовались достаточно низкими значениями ТПМ, которые не превышали 19,0 °С. При этом среднее значение за июнь 2001 г. по данным контактных наблюдений составило 15,0 °С, что на 3,9° ниже климатической нормы для данного месяца (рис. 10).

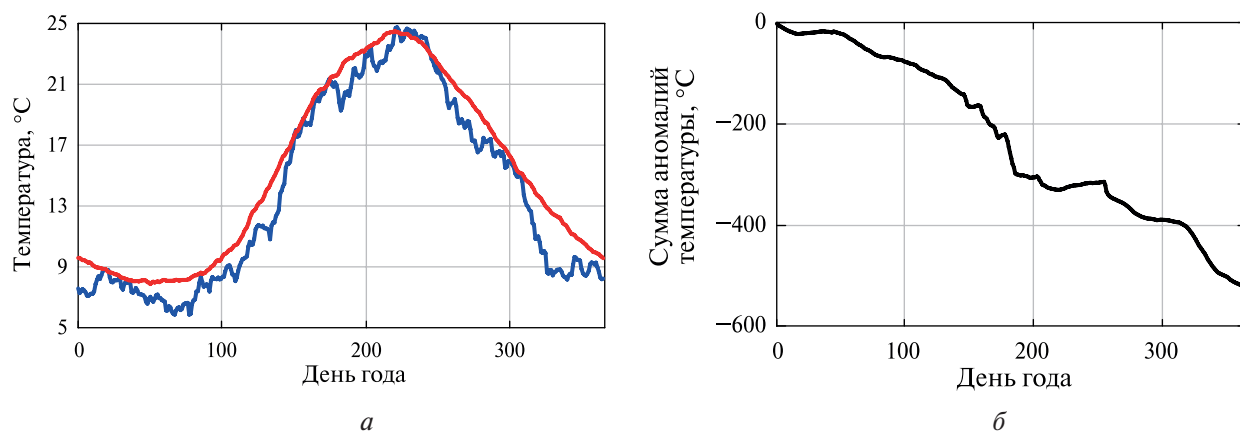


Рис. 9. Ход ТПМ за 1993 г. (синяя линия) по сравнению со среднемноголетним (красная линия) за 1982–2019 гг. по спутниковым данным (а); ход аномалий ТПМ за 1993 г. по данным контактных наблюдений в районе ЮБК (б)

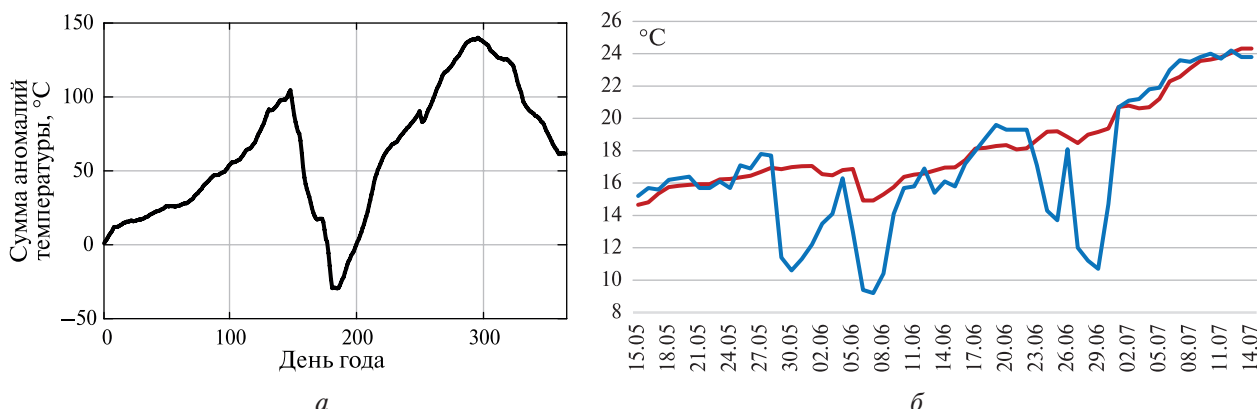


Рис. 10. Ход аномалий ТПМ за 2001 г. по данным контактных наблюдений (а); ход ТПМ в тёплый период 2001 г. по данным контактных (синяя линия) и спутниковых наблюдений, полученных методом OISST (красная линия) (б)

Спутниковые карты ТПМ (Морской портал МГИ, dvs.net.ru) подтверждают эти ситуации. По береговым измерениям в этот период преобладали ветры западных румбов, которые вызывали сгонные явления в прибрежной зоне ЮБК (рис. 11, см. с. 240). Определяющим фактором в таких ситуациях является долговременное воздействие на водную поверхность устойчивого ветра с западными составляющими, вызывающее процесс активного перемешивания, когда происходит постоянный подъём холодных глубинных вод на поверхность.

В данной ситуации процесс усилил также трёхбалльный шторм, который начался 4 июня при ветре восточного направления (80–90°) со средней скоростью 6–7 м/с. Максимум волнение достигло 5 июня при смене ветра на западные румбы (230–240°) со средней скоростью 10 м/с, когда по береговым наблюдениям высота волны составила от 3,5 м утром до 5,5 м днём (VI баллов) (рис. 12, см. с. 240). Штормовой процесс вызвал сгон с понижением ТПМ на 6,0 °С в течение суток, и температура 7 июня опустилась до месячного минимума (8,7 °С). Дальнейшее доминирование ветров западных румбов и средней скоростью около 5 м/с не способствовало значительному прогреву поверхности моря до конца первой декады июля.

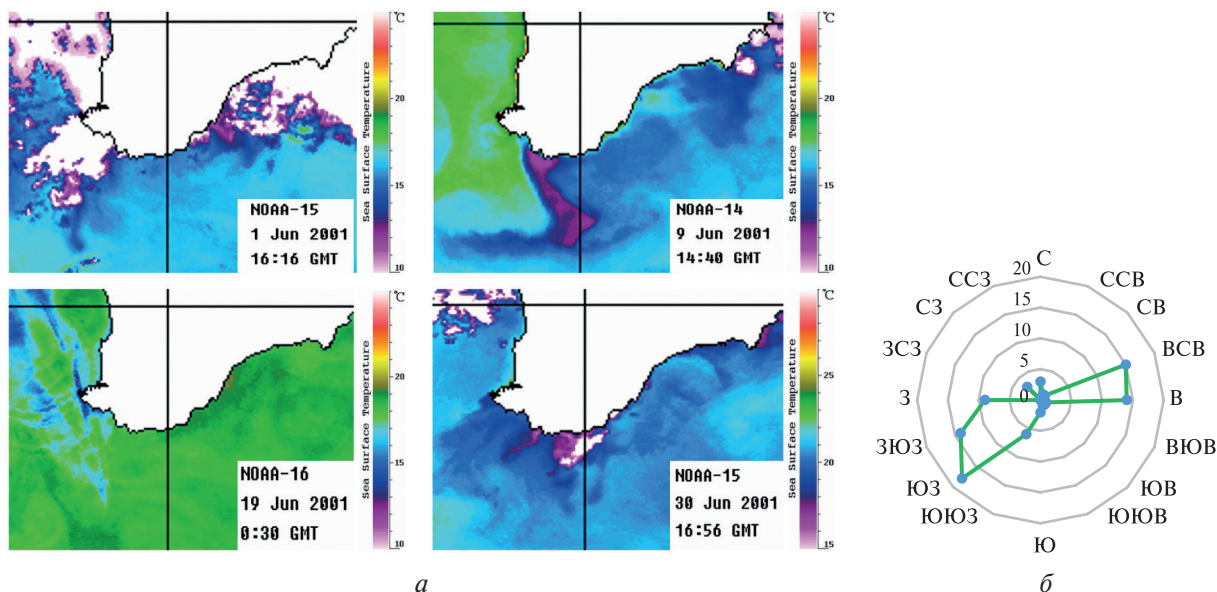


Рис. 11. Спутниковые карты ТПМ (Морской портал МГИ) (а) и диаграмма распределения направления ветра по береговым наблюдениям за июнь 2001 г. (б)

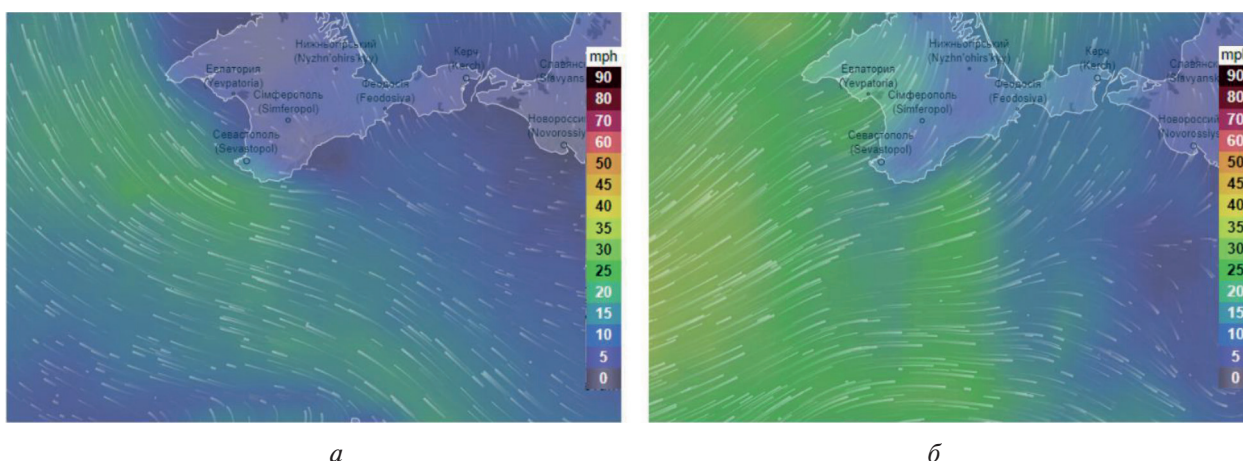


Рис. 12. Карты ветра по данным ICON с сайта www.ventusky.com: а — 04.06.2001; б — 05.06.2001

Выводы

На основе данных непрерывных контактных наблюдений ЧГПП МГИ и спутниковых данных в ближайшем узле, полученных методом оптимальной ежедневной интерполяции температуры поверхности моря (OISST), проведён анализ долгосрочной изменчивости ТПМ в районе Южного берега Крыма. Впервые рассчитаны среднесуточные аномалии ТПМ, подсчитаны суммы аномалий. Выделены года с наибольшими и наименьшими аномалиями ТПМ, рассмотрены особенности и причины их проявления. Разность между контактными и спутниковыми данными обусловлена событиями полного прибрежного апвеллинга и значительным прогревом вод на мелководье в тёплое время года.

Рассчитанные тренды за исследуемый период для каждого дня года выявили интересную особенность для июня – июля, когда значения трендов превышают средние в три-пять раз. Причиной этого является значительное уменьшение количества апвеллингов в последние годы.

Выделены наиболее тёплые и холодные годы, рассмотрены особенности изменчивости температуры в годовом цикле.

При достаточно хорошей согласованности с данными контактных измерений спутниковая информация из-за особенностей методов дистанционного зондирования в прибрежной зоне (проблемы идентификации температуры на границе облаков, туманов и берега) не может полностью отражать процессы, происходящие в прибрежных зонах. Контактные измерения полнее описывают прибрежную гидрометеорологическую обстановку, в том числе кратковременные изменения температуры поверхности моря. Спутниковая информация в большей степени отражает характерную для всего водоёма Чёрного моря долговременную изменчивость ТПМ и может быть использована в качестве опорных данных для выделения локальных событий в прибрежной зоне, в том числе событий апвеллингов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» по темам FNNN-2024-0016 и FNNN-2024-0012.

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. *Боровская Р. В., Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Лексикова Л. А., Кириллова М. В.* Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности // Эколог. безопасность прибреж. и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2005. Вып. 12. С. 42–48.
3. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Соловьев Д. М., Станичный С. В.* Прибрежный апвеллинг в северо-западной части Черного моря // Исслед. Земли из космоса. 1997. № 6. С. 66–72.
4. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А.* Долговременная изменчивость температуры поверхности Черного моря и ее отклик на глобальные атмосферные воздействия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 76–83.
5. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А., Лебедев С. А.* Изменчивость температуры поверхности и уровня Черного, Мраморного и Эгейского морей по спутниковым измерениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 1. № 6. С. 349–358.
6. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А.* Черное и Азовское моря: сравнительный анализ изменчивости температуры поверхности (1982–2009 гг., спутниковая информация) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 209–218.
7. *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.
8. *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.
9. *Иванов В. А., Михайлова Э. Н.* Апвеллинг в Черном море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2008. 92 с.
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., Соловьёв Д. М., Кубряков А. А., Станичная Р. Р., Давыдова Е. П., Бурдюгов В. М.* Характеристики поверхностного слоя моря в районе Южного берега Крыма по спутниковым данным — межгодовая и сезонная изменчивость // Мониторинг прибреж. зоны на Черноморском эксперим. подспутниковом полигоне / Ред. Дулов В. А., Иванов В. А. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2014. С. 335–372.
12. *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. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2004.05.002>.
13. *Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A.* Sea surface temperature variability // The Black Sea Environment: The Handbook of Environmental Chemistry / Eds. Kostianoy A., Kosarev A. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008. V. 5. Pt. Q. P. 255–275.
14. *Kazmin A. S., Zatsepin A. G.* Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the large-scale atmospheric forcing // J. Marine Systems. 2007. V. 68. P. 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.002>.

The features of anomalies in surface temperature of the Black Sea in the area of the Southern Coast of Crimea

Yu. V. Simonova, S. V. Stanichny, E. M. Lemeshko

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, 299011, Russia
E-mails: *julia.simonova.0502@gmail.com, sstanichny@mail.ru, evgeny.lem@gmail.com*

The paper analyzes the features of anomalies of sea surface temperature (SST) over the past climatic period (1982–2019) on the basis of data from long-term daily observations at the coastal post of the Black Sea Hydrophysical polygon of Marine Hydrophysical Institute (Katsiveli, Yalta District) and satellite data for the studied area obtained by the daily Optimum Interpolation SST method. The statistics of year-by-year data comparisons are presented, and temperature trends are calculated. The correlation of contact observation data arrays with remote sensing data is on average 0,96. The amount of anomalies for each year are calculated. The years with maximum and minimum temperature anomalies are highlighted. The second half of the studied period is the warmest, which is confirmed by an increase in SST due, among other factors, to a decrease in the number of upwellings in the studied water area in recent decades. Summer upwelling events have been identified for each year. The influence of upwelling events on the variability of SST for the studied area is investigated.

Keywords: sea surface temperature, Black Sea, temperature anomalies, satellite data, coastal observations, coastal waters, upwelling, Southern coast of Crimea, OISST

Accepted: 29.05.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-234-243

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. Borovskaya R. V., Panov B. N., Spiridonova E. O., Leksikova L. A., Kirillova M. V., Coastal Black Sea upwelling and interannual variability of its intensity, *Ehkologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2005, Vol. 12, pp. 42–48 (in Russian).
3. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Soloviev D. M., Stanichny S. V., Coastal upwelling in the North-West Black Sea, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1997, No. 6, pp. 61–72 (in Russian).
4. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., Long-term variability of the Black Sea surface temperature and its response to global atmospheric influences, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Vol. 2, No. 5, pp. 76–83 (in Russian).
5. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., Lebedev S. A., Variability of surface temperature and level of the Black, Marmara and Aegean Seas by satellite measurements, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Vol. 1, No. 6, pp. 349–358 (in Russian).
6. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., The Black and Azov seas: a comparative analysis of the sea surface temperature variability (1982–2009, satellite information), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 209–218 (in Russian).
7. Goryachkin Yu. N., Upwelling nearby the Crimea Western Coast, *Physical Oceanography*, 2018, Vol. 25(5), pp. 368–379, DOI:10.22449/1573-160X-2018-5-368-379.
8. Zatsepin A. G., Silvestrova 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, Vol. 56, No. 2, pp. 203–214, DOI: 10.1134/S0001437016020211.
9. Ivanov V. A., Mikhailova E. N., *Apelling v Chernom more* (Upwelling in the Black Sea), Sevastopol: EKOSI-Hydrophysica, 2008, 92 p. (in Russian).
10. Stanichnaya R. R., Stanichnyi S. V., Black Sea Upwelling, *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 195–207 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-195-207.
11. Stanichny S. V., Solovyov D. M., Kubryakov A. A., Stanichnaya R. R., Davydova E. P., Burdyugov V. M., Characteristics of the surface layer of the sea in the area of the Southern coast of Crimea according to satellite data — interannual and seasonal variability, In: *Monitoring pribrezhnoi zony na Chernomorskom ehksperimental'nom podsputnikovom poligone* (Monitoring of the Coastal Zone in the Black

- Sea Experimental Sub-Satellite Testing Area), Dulov V. A., Ivanov V. A. (eds.), Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2014, pp. 442–451 (in Russian).
12. 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>.
 13. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A., Sea surface temperature variability, *The Black Sea Environment: The Handbook of Environmental Chemistry*, Kostianoy A., Kosarev A. (eds.), Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008. Vol. 5, Pt. Q, pp. 255–275, DOI: 10.1007/698_5_067.
 14. Kazmin A. S., Zatsepin A. G., Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the large-scale atmospheric forcing, *J. Marine Systems*, 2007, Vol. 68, pp. 293–301, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.002>.