

Распространение вод из Керченского пролива в Черное море

© 2017 А. А. Алескерова*, А. А. Кубряков, Ю. Н. Горячкин,
С. В. Станичный

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: annete08@mail.ru*

Поступила в редакцию 06.04.2017 г. После доработки 14.08.2017 г.

Проанализирован массив спутниковых данных о концентрации взвешенного вещества и температуре поверхности в шельфовой зоне российского сектора Черного моря. Показано, что чаще всего воды из Керченского пролива распространяются на запад в виде узкой струи, которая хорошо наблюдается в зимний период по измерениям в оптическом и инфракрасном диапазонах. Интенсификация западного распространения отмечается при сильных северо-восточных штормах, которые способствуют выносу вод Азовского моря из пролива. Площадь распространения и расстояние от источника вод с повышенными концентрациями взвешенного вещества тесно связаны с силой и продолжительностью штормов. При южных штормах у Керченского пролива наблюдаются обширные зоны взмучивания, не связанные с проникновением вод из Азовского моря. Они возникают в результате волнового воздействия, взмучивания донных осадков у глинистых клифов. В некоторых случаях воды Керченского пролива могут переноситься на большие расстояния в результате захвата синоптическими вихрями, которые способствуют их переносу в глубоководную часть моря.

Ключевые слова: спутниковые данные, Черное море, Азовское море, Керченский пролив, взвешенное вещество, термохалинная структура, клиф.

DOI: 10.22449/0233-7584-2017-6-53-64

Введение. Строительство моста через Керченский пролив и его последующая эксплуатация потенциально создают дополнительные риски загрязнения вод пролива и сопредельных акваторий. В связи с этим актуально изучение динамики вод не только в самом проливе, но и в прилегающих районах. Представление о поле течений Керченского пролива было получено в ходе экспедиционных работ 60-х годов XX в. и нулевых годов XXI в. Была показана тесная связь динамики вод с полем ветра и разностью уровней на концах пролива [1 – 3], впоследствии она была подтверждена и спутниковыми данными [4, 5]. Динамика предпроливных зон изучена хуже. Результирующий за год перенос вод из Азовского моря составляет $\sim 17 \text{ км}^3/\text{г}$. [3], именно их распространение в Черном море представляет наибольший интерес.

Влияние стока рек и мелководность Азовского моря формируют существенные отличия термохалинных и оптических свойств вод двух морей – Черного и Азовского. Среднемноголетняя разность температур этих морей в зимние и летние месяцы достигает 4°C (рис. 1). Это позволяет по спутниковым данным о температуре поверхности моря (*SST*) отслеживать взаимопроникновение вод обоих морей через Керченский пролив. Велика в течение года и разность в поверхностной солености, 6,5 – 7,5 ЕПС (рис. 1). В [6, 7] показано, что сезонная изменчивость солености поверхностных вод в прибреж-

ной зоне Южного берега Крыма связана с проникновением вод Азовского моря вдоль шельфа в весенний период, в связи с чем в это время здесь наблюдается годовой минимум солености. Дополнительные возможности для изучения динамики вод в предпроливных зонах Керченского пролива дает известное свойство повышенной мутности вод Азовского моря по сравнению с черноморскими. При этом следует иметь в виду, что сам Керченский пролив является мощным источником взвеси. Его берега на значительном протяжении сложены абразионно-оползневыми глинистыми клифами [8]. По некоторым оценкам абразия клифов и бенчей дает поступление твердого материала в размере 340 000 м³/г., или 580 000 т/г. [9]. В самом проливе достаточно часты штормы, особенно в холодный период. Все это создает дополнительные условия для взмучивания водной толщи. При анализе спутниковых оптических данных более корректно говорить о водах из Керченского пролива, а не использовать часто применяемый термин «азовоморские воды».

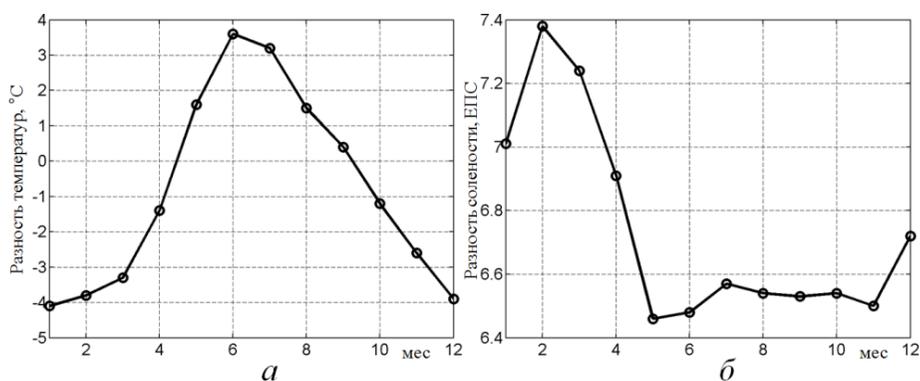


Рис. 1. Среднегодовья разность температур (а) и солености (б) Азовского и Черного морей по данным ГМС Мысовое и Феодосия

Накопленные в настоящее время контактные данные о термохалинной структуре вод и течениях не позволяют с необходимой достоверностью описать динамику их распространения из Керченского пролива в Черное море. Данные климатических массивов температуры и солености дают некую среднюю ситуацию за определенный промежуток времени, не описывая ни одной из реальных. Различия в термических и оптических свойствах вод двух бассейнов позволяют отслеживать по спутниковым инфракрасным и оптическим измерениям их распространение и трансформацию по мере продвижения.

Цель данной работы – получение представлений об особенностях распространения вод из Керченского пролива по акватории Черного моря на основе анализа спутниковых и контактных данных, а также гидрометеорологической информации.

Использованные данные. В работе использовались данные сканеров *MODIS/Aqua* об отражательной способности на длине волны 555 нм с пространственным разрешением 1 км и временным разрешением 1 сут (*Level-2*) за период 2003 – 2015 гг. Данные получены в отделе дистанционных методов

исследования Морского гидрофизического института (<http://dvs.net.ru>) и из архива <http://oceansdata.sci.gsfc.nasa.gov/>. Применялся региональный алгоритм определения концентрации взвешенного вещества (ВВ), основанный на комбинации спектральной яркости на различных длинах волн [10]. Используемый алгоритм был калиброван на основе измерений, которые проводились как в чистых водах, так и в прибрежных с большими концентрациями взвеси [11]. Тем не менее можно ожидать, что в некоторых случаях, особенно при экстремально больших концентрациях взвеси, спутниковые данные количественно могут отличаться от реальных. Также использовались данные о яркости восходящего излучения со спутников *Landsat-4*, -5, -7, -8 за период 1985 – 2015 гг. (<http://glovis.usgs.gov>). Измерительная аппаратура ИСЗ *Landsat-7* и -8 имеет пространственное разрешение 15 – 30 м для видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов, 100 м – для дальнего ИК-диапазона. Интервал повторяемости съемки 16 сут. Прибор *TIRS* спутника *Landsat-8* делает измерения в двух каналах в дальнем ИК-диапазоне, что позволяет провести атмосферную коррекцию измерений и восстановить реальную *SST*. Такой алгоритм для Черного моря был разработан на основе сопоставления с калиброванными данными сканера *MODIS* [12].

Из 794 проанализированных снимков *MODIS* полоса взмученных вод вдоль Крымского побережья наблюдается на 461 снимке, из которых 250 относятся к холодному сезону, когда ветры северных румбов имеют наибольшую силу и повторяемость, что способствует выносу вод из Керченского пролива в Черное море. На 18 снимках выделяются зоны взмученных вод при ветрах южных румбов. В работе использовалась информация о поле скорости ветра на высоте 10 м реанализа *MERRA* с пространственно-временным разрешением $0,5^\circ \times 0,66^\circ$; 6 ч. Анализировалось пространственное распределение ветра в северо-восточной части Черного моря для даты снимка и в течение трех – пяти дней до нее. Привлекались гидрометеорологические данные ГМС Опасное, Мысовое, Керчь, Феодосия и гидрологической съемки в Феодосийском заливе на НИС «Эксперимент» в декабре 2006 г.

Результаты и их обсуждение. На рис. 2, *a* приведена среднемноголетняя концентрация ВВ, полученная по данным *MODIS/Aqua* в 2003 – 2015 гг. Практически все Азовское море занято водами с повышенными концентрациями ВВ, превышающими 3 мг/л. Они особенно высокие у восточных берегов и в районе устья Дона. В акватории северной части Черного моря выделяются три наиболее значительных зоны с повышенной мутностью вод. Это районы мелководных Каркинитского и Каламитского заливов, а также Керченского пролива с акваториями, прилегающими к Керченскому и Таманскому п-овам. Типичные среднемноголетние значения концентрации ВВ здесь составляют 5 – 10 мг/л, причем наибольшие отмечаются у берега. Большая часть берегов всех районов относится к типу абразионно-обвальных в глинистых породах, для которого характерна интенсивная абразия. Типичная скорость отступления клифов этого типа берегов составляет 0,5 – 1,0 м/г., что обеспечивает поступление в море ~ 10 м³/г. грунта с погонного метра берега, при этом до 95% составляет хорошо взмучиваемая мелкая фракция $\leq 0,1$ мм [8]. Таким образом, основной источник повышенных концентраций ВВ в прибрежной зоне рос-

сийского сектора Черного моря связан с разрушением глинистых клифов в Каркинитском и Каламитском заливах и Керченском проливе. В последнем имеется и дополнительный источник ВВ – Азовское море. Использование в качестве трассера SST позволяет определить моменты времени, когда происходит внедрение вод Керченского пролива в Черное море, и отделить их от других ситуаций.

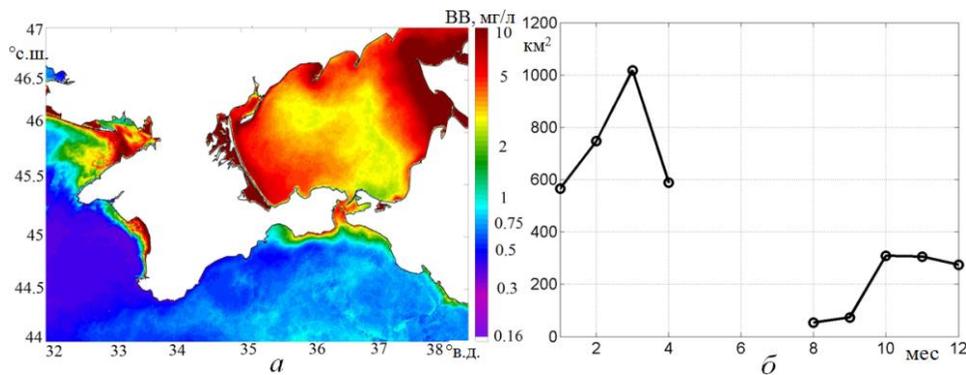


Рис. 2. Среднегодовая концентрация ВВ по данным *MODIS/Aqua* за 2003 – 2015 гг. (а) и площадь, занятая водами с концентрацией ВВ > 1,5 мг/л, в районе Керченского пролива (б)

Площадь вод из Керченского пролива в Черном море можно оценить как часть акватории с повышенной концентрацией ВВ. В качестве критерия было выбрано значения концентрации ВВ > 1,5 мг/л. Отметим, что взвешенное вещество поступает не только из Керченского пролива, оно может образовываться вследствие разрушения глинистых клифов. Сезонный ход изменения площади акватории, рассчитанной по данным сканера *MODIS*, показан на рис. 2, б. В мае – июле происходит цветение кокколитофорид, которые вызывают повышенные концентрации ВВ, не связанные с водами Керченского пролива. Поэтому значения в этот период не рассматривались. На рис. 2, б показано, что площадь, занятая водами с концентрацией ВВ > 1,5 мг/л, в районе Керченского пролива в осенний период в среднем составляет не более 350 км², в зимний — до 600 – 700 км². Максимальная площадь наблюдается в марте, однако именно в этот период влияние разрушения клифов на ВВ наиболее высокое. Минимальная площадь наблюдается летом и составляет ~50 км².

Анализ спутниковых данных показал, что при штормах зоны повышенных концентраций ВВ локализуются в виде полосы вдоль побережья Керченского п-ова до Феодосийского залива, а в отдельных случаях – западнее его либо в виде двух полос одновременно к западу и востоку от Керченского пролива. Сопоставление спутниковых снимков с конкретными гидрометеорологическими ситуациями свидетельствует о том, что величина концентрации ВВ и его пространственная локализация в прикерченском районе Черного моря зависит от направления и интенсивности штормов. При этом возникают две наиболее характерные ситуации: первая связана с воздействием штормов северных румбов, вторая – южных.

При штормах северных румбов в районе Керченского пролива наиболее часто на спутниковых снимках отображаются полосы вод шириной 1 – 10 км, протягивающиеся вдоль Крымского п-ова, с повышенными концентрациями ВВ. В отдельных случаях, чаще всего в зимний период, эти полосы прослеживаются вплоть до западной оконечности Крыма (м. Херсонес) и даже западнее его, до 31° – 32° в. д. Площадь распространения и расстояние от источника вод с повышенными концентрациями ВВ тесно связаны с силой и продолжительностью штормов. Как правило, площадь распространения максимальна в холодный период при северо-восточных ветрах. Приведем конкретный пример.

В Керченском проливе 23 – 24 марта 2007 г. наблюдался штормовой северо-восточный ветер, скорость которого достигала $15 - 18 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, при этом высота волны составила 1,4 м. Уровень моря в Керченском проливе стал быстро повышаться и к концу 24 марта вырос на 20 см. Перепад уровня между Черным и Азовским морями составил ~ 25 см. В последующие трое суток сохранялся устойчивый северо-восточный ветер, однако он ослабел до $6 - 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. На снимке, сделанном после окончания шторма (рис. 3, а), заметна полоса относительно мутных вод шириной ~ 10 км, протянувшаяся на 150 км вдоль берега от Керченского пролива до Алушты. Максимальные концентрации ВВ в ней составляли ~ 5 мг/л при фоновых значениях в окружающих водах 0,5 мг/л. На спутниковых снимках, характеризующих распределение SST, выделяется полоса пониженной температуры такой же конфигурации (рис. 3, б). Контраст SST с окружающими водами составлял до $1,5^{\circ}\text{C}$. Можно заключить, что относительно мутные воды – продукт смешения черноморских вод с азовоморскими. Характерно, что проникновение вод из Керченского пролива к востоку в этом случае относительно небольшое.

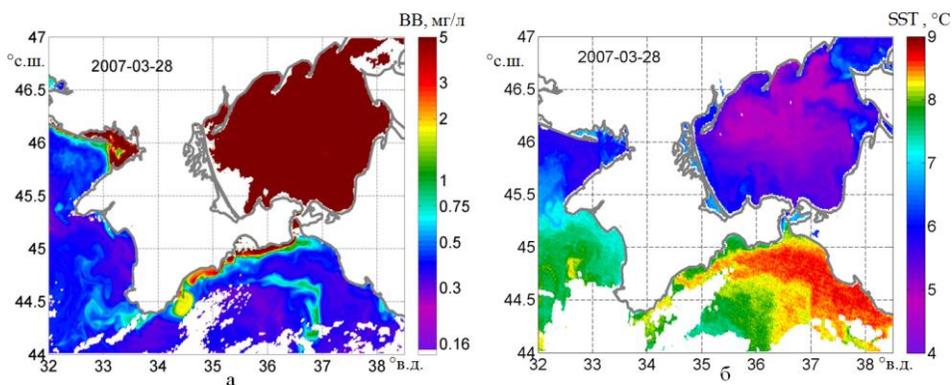


Рис. 3. Концентрация ВВ по данным MODIS/Aqua (а); SST по данным MODIS/Terra (б) в 2007 г.

Большая интенсивность и продолжительность штормов северных румбов приводит к более значительным ареалам распространения вод из Керченского пролива. Так, 3 – 9 февраля 2005 г. в проливе наблюдался штормовой северо-восточный ветер ($10 - 16 \text{ м}\cdot\text{с}$). Его действие вызвало нагон вод в проливе, повышение уровня на 22 см, перепад с Черным морем составил 33 см. Температурная структура вод в проливе была следующей: в Керченском проливе температура была $10 - 12^{\circ}\text{C}$, в Азовском море $12 - 14^{\circ}\text{C}$, в Черном море $14 - 16^{\circ}\text{C}$. В проливе наблюдался нагон вод из Азовского моря, что привело к повышению уровня на 22 см, перепад с Черным морем составил 33 см. Температурная структура вод в проливе была следующей: в Керченском проливе температура была $10 - 12^{\circ}\text{C}$, в Азовском море $12 - 14^{\circ}\text{C}$, в Черном море $14 - 16^{\circ}\text{C}$.

ратура воды в Керченском проливе понизилась до отрицательной (с 3,5 до $-0,4^{\circ}\text{C}$). На снимке, сделанном после окончания шторма, видна полоса взмученных вод, протянувшаяся вдоль Крымского побережья до м. Херсонес (рис. 4, *а*). До м. Меганом она имеет ширину ~ 10 км, за ним расширяется до 30 км. Концентрация ВВ составляет 5 мг/л и более. Западнее Ялтинского залива полоса, видимо, подхваченная Основным Черноморским течением, расширяется, приобретает вид пятна, которое прослеживается до $32,5^{\circ}$ в. д., однако концентрация ВВ уменьшается до 1 мг/л. Близкую к ней конфигурацию имеет и поле SST (рис. 4, *б*): в Феодосийском заливе SST составляет $\sim 4^{\circ}\text{C}$, у м. Сарыч – 7°C . По данным ГМС Феодосия, температура упала с 6,6 до $2,9^{\circ}\text{C}$, ГМС Ялта – с 8,7 до $6,7^{\circ}\text{C}$. При этом соленость уменьшилась с 18,1 до 16,8 ЕПС в Феодосии и с 18,0 до 17,6 ЕПС в Ялте. Учитывая исходную соленость в Азовском море ~ 10 ЕПС (ГМС Опасное), можно грубо оценить, что в Феодосийском заливе $\sim 20\%$ объема занимали воды из Керченского пролива, в Ялтинском заливе они составляли не более 5%. В отличие от ВВ в поле SST аномалий западнее Ялтинского залива не отмечается, что объясняется высокими градиентами распределения ВВ и разницей в скорости процессов теплового перемешивания и осаджения взвеси.

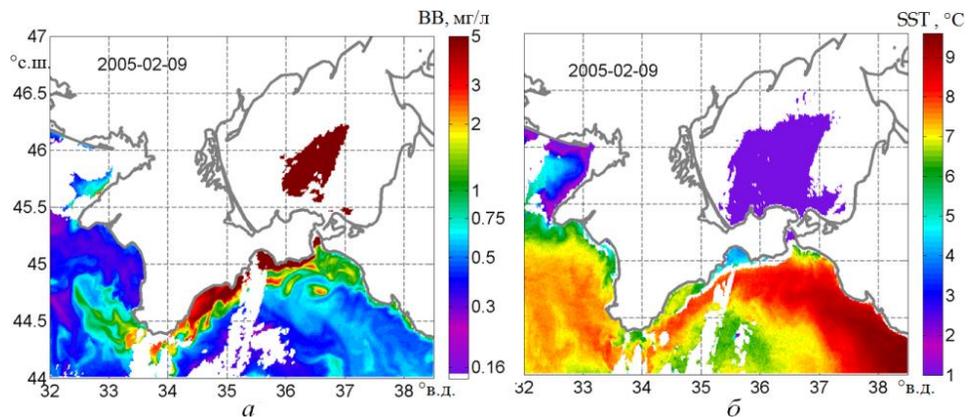


Рис. 4. Концентрация ВВ по данным *MODIS/Aqua* (*а*); SST по данным *MODIS/Terra* (*б*) в 2005 г.

Приведенные выше примеры можно характеризовать как экстремальные. Гораздо чаще наблюдаются менее масштабные проникновения вод из Керченского пролива в Черное море. При этом обычно они распространяются до м. Чауда или до м. Меганом, где происходит их отрыв от берега. Результат воздействия относительно слабого шторма представлен на рис. 5. В Керченском проливе 6 – 8 октября 2014 г. наблюдался устойчивый северо-восточный ветер силой 8 – $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Снимок от 9 октября 2014 г. показывает, что в результате этого воздействия вдоль берега от Керченского пролива до м. Чауда образовалась полоса относительно мутных и холодных вод шириной 4 – 5 км. При этом она локализуется на мелководье вдоль изобат (черные линии на рис. 5, *б*) и не выходит за глубины более 20 м. У м. Чауда большая часть струи отрывается от берега и доходит до середины Феодосийского за-

лива. Распределение SST показывает, что контраст температур с окружающими водами наиболее значителен у м. Такиль и составляет $\sim 6 - 7^\circ\text{C}$, у м. Чауда он уменьшается до $3 - 4^\circ\text{C}$.

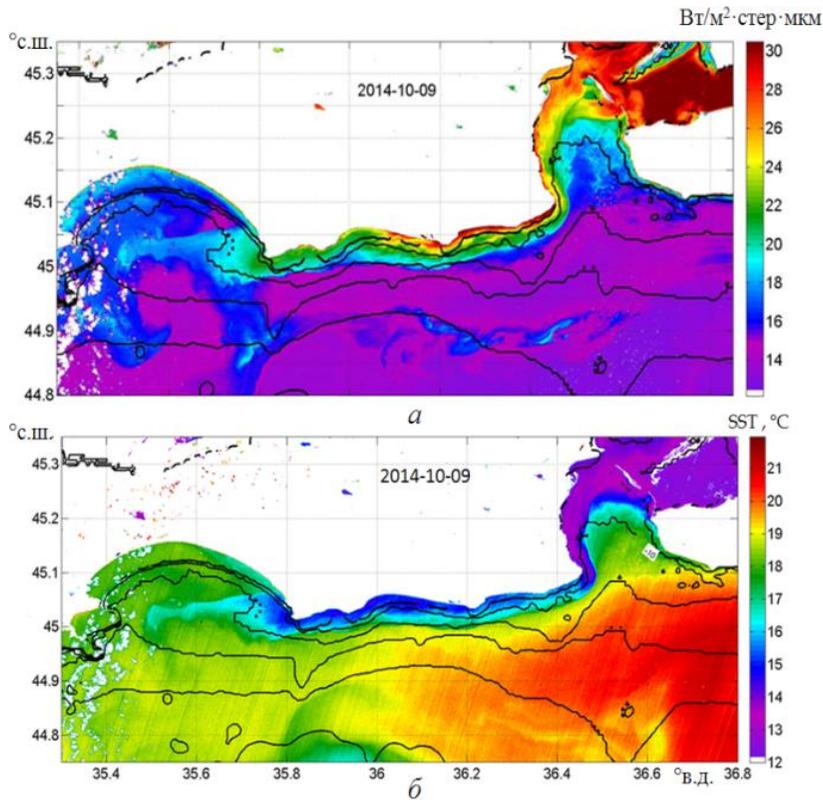


Рис. 5. Разность яркости каналов 3 – 5 (а) и восстановленная SST (б) по данным спутника Landsat-8

Все приведенные выше рассуждения касаются только поверхностного слоя моря. Вертикальную мощность вод, поступающих из Керченского пролива в Черное море, можно оценить на основании единственной к настоящему времени гидрологической съемки, которая зафиксировала воды из Керченского пролива в Феодосийском заливе параллельно со спутниковыми наблюдениями. Так, по ее данным 14 – 15 декабря 2006 г. основной чертой, характеризующей горизонтальную термохалинную структуру на поверхности залива, являлось наличие относительно холодных и распресненных вод. От вод открытого моря их отделяла локальная фронтальная зона, при этом температура воды была на 2°C , а соленость на 1 ЕПС меньше, чем в открытом море. Типичные величины горизонтальных градиентов на фронтальном разделе составляли $0,2 - 0,3^\circ\text{C}$ и $0,2 - 0,3$ ЕПС/км. Верхний слой до глубины 10 м был занят водами с температурой и соленостью $9,3^\circ\text{C}$ и 16,4 ЕПС соответственно, зона контакта с черноморскими водами находилась на глубине 10 – 15 м. Концентрация общего взвешенного вещества, измеренного турби-

диметром в фоне, составляла 0,2 – 0,8 мг/л, в аномальных водах – 2,2 мг/л. Характер распределения других характеристик (*SST*, прозрачность вод и концентрация хлорофилла *a*) по данным спутника *MODIS/Aqua* подтверждал их происхождение. По этим данным полоса вод от южной границы Керченского пролива шириной 10 км протягивалась до Феодосийского залива, почти полностью его заполняя. В этот период действовал умеренный северо-восточный ветер (до $6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). Однако фронтальная зона вод Керченского пролива и Черного моря располагалась непосредственно на южной границе пролива. Анализ предшествующей гидрометеорологической информации не позволяет связать этот факт с полем ветра.

При действии сильных южных ветров также наблюдаются полосы взмученных вод как в самом Керченском проливе, так и вдоль берегов Керченского и Таманского п-овов. Однако такие зоны в этом случае не являются маркером проникновения вод из Азовского моря, это результат волнового воздействия, взмучивания донных осадков у глинистых клиффов. Пример такого процесса заметен на снимке от 1 ноября 2012 г. после действия ветра южных румбов ($8 - 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) 28 – 30 октября. На рис. 6, *a* видны полосы взмученных вод, протянувшиеся примерно на одинаковое расстояние к западу до Феодосийского залива и к востоку до Анапы. Однако распределение *SST* свидетельствует о том, что эти области заняты водами Черного моря с температурой $18 - 20^\circ\text{C}$, которые проникают и в глубь Керченского пролива (рис. 6, *б*). Еще более интенсивное взмучивание, которому предшествовал сильный и продолжительный юго-западный ветер со скоростью до $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, в этом районе отмечено на снимке за 11 апреля 2015 г. Воды с повышенным содержанием ВВ распространяются более чем на 30 км от берега, занимая значительную площадь от г. Новороссийск до Феодосийского залива (рис. 6, *в*). При этом области повышенных концентраций ВВ ($5 - 10 \text{ мг/л}$) до некоторой степени повторяют конфигурацию рельефа дна, располагаясь в основном до изобаты 50 м, видимо, отражая глубину проникновения волнового воздействия и косвенно свидетельствуя о длине волны поверхностного волнения. Распределение *SST* четко показывает, что взмученные области заняты черноморскими водами с температурой $\sim 10^\circ\text{C}$ (рис. 6, *г*).

Аналогичное распределение наблюдалось и 27 марта 2008 г. после действия юго-западного штормового ветра ($8 - 16 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). И в этом случае взмученные воды локализовались у берегов Керченского пролива на одинаковом расстоянии к западу до Феодосийского залива и к востоку до Анапы, однако распределение *SST* уверенно свидетельствует о том, что это черноморские воды с температурой $\sim 10^\circ\text{C}$ (рис. 6, *д*, *е*). Обращает на себя внимание, что во всех трех описанных случаях области с повышенными значениями концентрации ВВ отмечаются и в Каркинитском, и в Каламитском заливе. При действии ветров северных румбов они не выделяются, поскольку такие ветры не порождают значительного волнения и не взмучивают донные наносы. Поэтому при отсутствии данных о распределении *SST* наличие зон с повышенной концентрацией ВВ в районах Каркинитского и Каламитского заливов может косвенно свидетельствовать об источнике ВВ в прикерченском районе Черного моря.

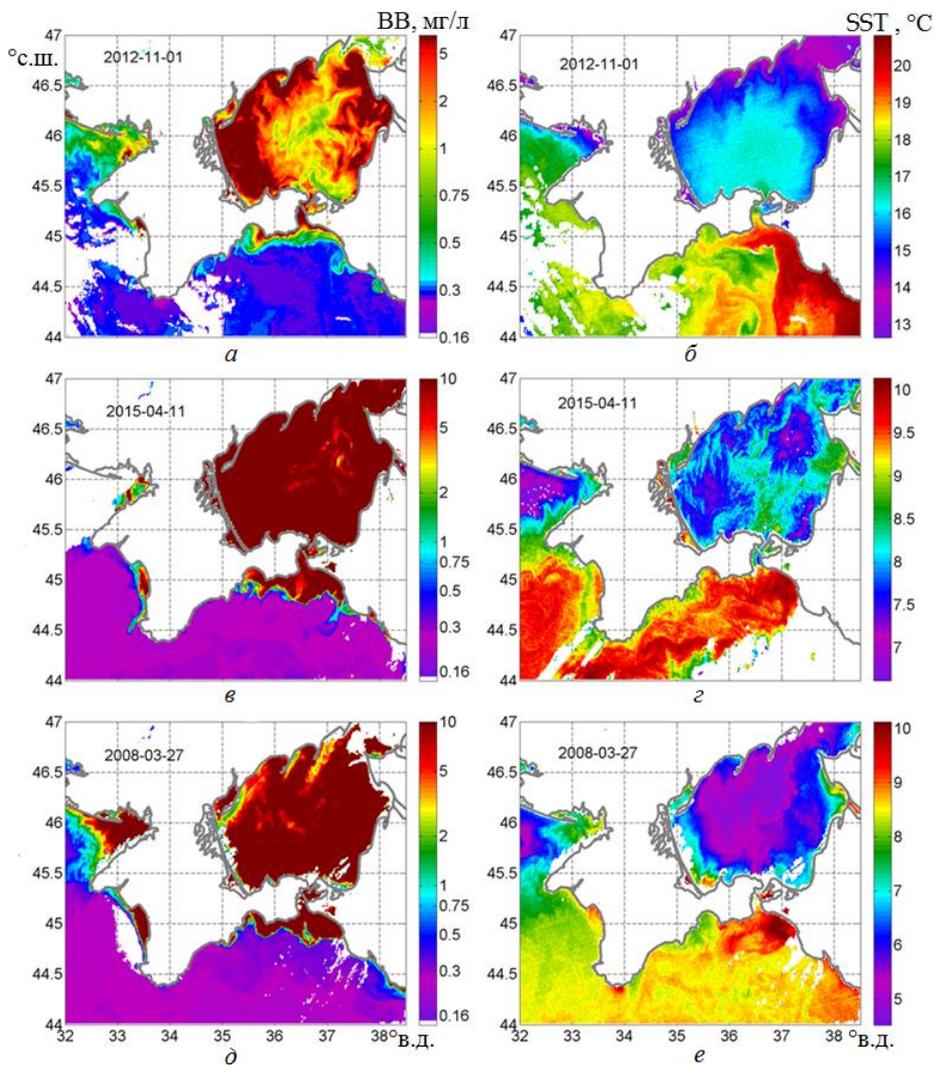


Рис. 6. Концентрация ВВ по данным *MODIS/Aqua* (а, в, д); SST по данным *MODIS/Aqua* (б, е) и *MODIS/Terra* (з)

Представленные особенности распространения вод из Керченского пролива в Черное море имеют ярко выраженную сезонную изменчивость, которая связана с сезонным ходом ветра. В целом из рассмотренных выше двух ситуаций преобладает первая, поскольку повторяемость ветров северной четверти со скоростью $\geq 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ в Керченском проливе составляет 19,0% (ГМС Опасное), южной четверти – 6,7%. Определенную роль в распространении вод из Керченского пролива играют проходящие в этом районе синоптические вихри [13 – 16] и возникающие апвеллинги [17], которые способствуют их кросс-шельфовому переносу. Вихревые образования способны захватывать воды Керченского пролива в свое орбитальное движение и относить их на расстояние, равное диаметру вихрей (10 – 80 км), на юг в глубоководную

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 6 2017 61

часть моря либо на восток вдоль восточного побережья. Кросс-шельфовый перенос богатых терригенными веществами вод из Керченского пролива может оказывать значимое влияние на баланс биогенов и цветение фитопланктона в центральной части бассейна [18]. Изучение сезонной изменчивости распространения вод из Керченского пролива в Черное море, влияния вихревых и апвеллинговых движений, а также ситуаций, не попадающих под описанные выше, выходит за рамки данной работы из-за ограниченного объема статьи.

Выводы. Проведенный нами анализ позволяет сделать следующие основные выводы.

1. В акватории Черного моря, прилегающей к российским берегам, выделяются три наиболее значительных зоны с повышенной мутностью вод. Это районы мелководных Каркинитского и Каламитского заливов, а также Керченского пролива с акваториями, прилегающими к Керченскому и Таманскому п-овам. Согласно спутниковым данным, типичные среднесезонные значения концентрации ВВ здесь составляют 5 – 10 мг/л, причем наибольшие отмечаются у берега, по мере удаления от него они уменьшаются.

2. При штормах северных румбов в районе Керченского пролива наиболее часто на спутниковых снимках отображаются полосы вод шириной 1 – 10 км, протягивающиеся вдоль Крымского п-ова, с повышенными концентрациями ВВ. В этом случае воды Керченского пролива – продукт смешения вод Черного и Азовского морей, что идентифицируется по различиям их термодинамических свойств.

3. При действии сильных южных ветров также наблюдаются полосы взмученных вод как в самом Керченском проливе, так и вдоль берегов Керченского и Таманского п-овов. Однако такие зоны в этом случае не служат маркером проникновения вод из Азовского моря, а являются результатом волнового воздействия, взмучивания донных осадков у глинистых клифов.

4. Площадь распространения и расстояние от источника вод с повышенными концентрациями тесно связаны с силой и продолжительностью штормов. Как правило, площадь распространения ВВ максимальна в холодный период при северо-восточных ветрах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60036 мол_а_дк «Влияние горизонтального и вертикального обмена на интенсивность цветения фитопланктона в Черном море по спутниковым измерениям» и государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, на основе современных методов контроля состояния морской среды и грид-технологий» (шифр «Фундаментальная океанология»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтман Э.Н.* Структура течений Керченского пролива // Тр. ГОИН. Вопросы гидрологии южных морей. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – Вып. 125. – С. 3 – 16.
2. *Горячкин Ю.Н., Кондратьев С.И., Лисиченок А.Д.* Гидролого-гидрохимические характеристики и динамика вод в Керченском проливе в марте 2004 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 12. – С. 108 – 119.
3. *Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н. и др.* Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1. Азовское море. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 401 с.
4. *Щербак С.С., Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Возможности спутникового дистанционного зондирования для изучения влияния атмосферных процессов на формирование течений в Керченском проливе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – 1, вып. 4. – С. 376 – 383. – URL: d33.infospace.ru/d33_conf/vol1/376-383.pdf (дата обращения: 03.04.2017).
5. *Ломакин П.Д., Боровская Р.В.* Характеристика современного состояния системы течений в Керченском проливе на базе спутниковых и контактных наблюдений // Исследование Земли из космоса. – 2006. – № 6. – С. 65 – 71.
6. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Изменчивость солености поверхностных вод в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – Вып. 12. – С. 22 – 28.
7. *Ижцикий А.С., Завьялов П.О.* Гидрофизическое состояние вод Феодосийского залива в мае 2015 г. // Океанология. – 2017. – 57, № 4. – С. 538 – 545. – doi:10.7868/S0030157417040037
8. *Ломакин П.Д., Спиридонова Е.О., Чельженко А.И., Чельженко А.А.* Антропогенные и природные источники взвешенного вещества в водах Керченского пролива // Морской экологический журнал. – 2008. – VII, № 4. – С. 51 – 59. – URL: elibrary.ru/download/elibrary_23695883_16794717.pdf (дата обращения: 04.04.2017).
9. *Современное состояние береговой зоны Крыма* / Под ред. Ю.Н. Горячкина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.
10. *Шуйский Ю.Д., Выхованец Г.В., Хромов С.С. и др.* Морфология и динамика абразионных берегов Керченского пролива в пределах Украины // Екологічні проблеми Чорного моря. – 2003. – Вып. 5. – С. 421 – 431.
11. *Кременчуцкий Д.А., Кубряков А.А., Завьялов П.О. и др.* Определение концентрации взвешенного вещества в Черном море по данным спутника MODIS // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – № 29. – С. 5 – 9.
12. *Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В. и др.* Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология. – 2014. – 54, № 3. – С. 293 – 308. – doi:10.7868/S0030157414030150
13. *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. – doi:10.7868/S0205961416040023
14. *Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A. et al.* Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data // J. Geophys. Res. – 2003. – 108, No. C4. – P. 3122. – doi:10.1029/2002JC001508

15. *Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Krivosheya V.G. et al.* Mesoscale eddies and related processes in the northeastern Black Sea // *J. Mar. Syst.* – 2002. – 32, Iss. 1 – 3. – P. 71 – 90. – doi:10.1016/S0924-7963(02)00030-1
16. *Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А. и др.* Вихревые структуры и горизонтальный водообмен в Черном море // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Отв. ред. А.Г. Зацепин, М.В. Флинт.* – М.: Наука, 2002. – С. 55 – 81.
17. *Gawarkiewicz G., Korotaev G., Stanichny S. et al.* Synoptic upwelling and cross-shelf transport processes along the Crimean coast of the Black Sea // *Continent. Shelf Res.* – 1999. – 19, Iss. 8. – P. 977 – 1005. – doi:10.1016/S0278-4343(99)00003-5
18. *Kubryakov A.A., Stanichny S.V., Zatsepin A.G. et al.* Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // *J. Mar. Sys.* – 2016. – 163. – P. 80 – 94. – doi:10.1016/j.jmarsys.2016.06.006

Propagation of waters from the Kerch Strait in the Black Sea

A. A. Aleskerova*, A. A. Kubryakov, Yu. N. Goryachkin, S. V. Stanichny

Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia

**e-mail: annette08@mail.ru*

The array of satellite data on the suspended matter concentration and the sea surface temperature in the shelf zone of the Russian sector of the Black Sea is analyzed. It is shown that in most cases, the Kerch Strait waters propagate westward in the form of a narrow jet which is well observed in winter due to the measurements in the optical and infrared bands. The westward propagation is intensified under strong north-easterly storms which promote outflow of the Azov Sea waters from the strait. The area of propagation and the distance from the source of the waters with high suspended matter concentration are closely related to the storm force and duration. At the southern storms, vast turbid areas not connected with water penetrating from the Sea of Azov are observed nearby the Kerch Strait. They occur as a result of wave action and bottom sediment turbidity at the clay cliffs. In some cases, the Kerch Strait waters can be transported for long distances being trapped by the mesoscale eddies which promote their propagation to the deep sea.

Keywords: satellite data, Black Sea, Sea of Azov, Kerch Strait, suspended matter, thermohaline structure, cliff.