

УДК 551.465

СТРУКТУРА ВОД КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

© 2015 г. А. А. Чепыженко, А. И. Чепыженко, В. М. Кушнир

Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь
e-mail: annacher87@yandex.ru, ecodevice@yandex.ru, kushnirv@yahoo.com

Поступила в редакцию 03.06.2013 г., после доработки 12.11.2013 г.

Обсуждаются данные совместной экспедиции в Керченском проливе, выполненной МГИ НАН Украины и ЮНЦ РАН в сентябре 2011 г. Рассмотрена возможность и результаты применения современных измерительных средств и методов обработки космических съемок при получении количественных оценок концентрации взвеси и хлорофилла “а”. Выявлены особенности динамики вод и структуры полей температуры, солености, концентрации суммарного взвешенного вещества и хлорофилла “а” в Керченском проливе в условиях переменного ветра.

DOI: 10.7868/S0030157415010037

ВВЕДЕНИЕ

Керченский пролив имеет большое значение для экономического комплекса Украины и России как важнейшая транспортная магистраль между портами Азовского и Черного морей с выходом в Мировой океан, зона рыболовства, рекреации, гидротехнического строительства, освоения энергетических ресурсов. По этим и другим причинам океанологическим исследованиям Керченского пролива посвящено большое число работ, начиная с конца XIX–начала XX столетий [2, 8]. В значительной степени итоги исследований системы течений, уровня моря и турбулентного обмена в проливе, основанные на большом материале экспериментальных и теоретических работ, обобщены в монографии [1].

Исследования полей основных гидрологических параметров и течений Керченского пролива за последние 20 лет представлены в работах [8–10, 15], посвященных определению антропогенных изменений в полях гидрофизических, гидрохимических и геологических элементов в условиях десятилетних природных колебаний. Проблема таких изменений стала особенно актуальной после сооружения в 2003 г. дамбы от Таманского полуострова в направлении о. Коса Тузла и искусственного углубления протока между оконечностью дамбы и восточной частью этого острова. Эти искусственные изменения рельефа дна существенно повлияли на естественное поле течений, следствием чего была интенсификация процессов размыва о. Коса Тузла. Так, на протяжении 2005 г.–первой половины 2006 г. территория острова из-за отсутствия работ по его укреплению уменьшилась на 30 га. Огромные объемы донного материала, смыаемые с острова, оседают в северо-восточных

районах Керченского пролива, что создает потенциальные угрозы для навигации и нарушения естественной экологии этого района Азово-Черноморского бассейна.

Поверхность морского дна в Керченском проливе представлена в основном слабонесущим грунтом (песок, жидкий ил), и при этом возможны значительные скорости постоянных и волновых придонных течений [15, 16]. При взаимодействии этих течений с поверхностью дна формируются сложные поля скорости и давления в виде вихре-волновых структур и мелкомасштабной турбулентности. При определенных условиях эти поля воздействуют на донный материал таким образом, что он начинает перемещаться вдоль поверхности дна и подниматься вверх, формируя профили взвешенных наносов. Эти процессы приводят к изменению структуры дна, причем в непосредственной близости от его неровностей могут формироваться глубокие промоины или зоны аккумуляции грунта (отмели), которые существенно изменяют поля естественных течений, температуры и других параметров морской среды [3, 7]. Другим следствием этих процессов является повышенная концентрация взвеси, что оказывает сильное влияние на оптические характеристики водной среды пролива и фотосинтетические процессы, которые проявляются в изменениях концентрации хлорофилла “а” (хл “а”). Концентрация взвеси и хл “а”, а также температура и соленость Керченского пролива связаны между собой и с полем течений как элементы единой экосистемы. Изучение этих связей является актуальной проблемой для понимания основных механизмов формирования водной среды пролива и характеристик водообмена между Азовским и Черным

морями. Для решения этой проблемы в настоящее время появились некоторые новые возможности, связанные с созданием измерительных средств и развитием методов обработки космических съемок для количественных оценок концентрации взвеси и хл “а” в проливе. В связи с этим основной целью настоящей работы является обобщение возможностей этих методов и результатов их непосредственного использования для изучения структуры вод Керченского пролива в комплексной экспедиции, выполненной МГИ НАН Украины и ЮНЦ РАН в сентябре 2011 г. [6, 14].

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1. Средства контактных измерений. В последние годы в МГИ НАН Украины были разработаны несколько модификаций малогабаритных STD-зондов со встроенной памятью, что позволяет использовать их с маломерных судов без специальных лебедок. Некоторые такие приборы оснащены датчиками дополнительных параметров, что расширяет функциональные возможности таких систем при выполнении различных специализированных проектов. Один из таких приборов, зонд “Кондор”, широко используется для выполнения исследований Керченского пролива и прибрежной зоны Крыма [21].

Внешний вид зонда “Кондор” представлен на рис. 1. Зонд предназначен для оперативных исследований биофизических и гидрологических свойств вод прибрежной зоны моря.

В портативном зонде “Кондор” наряду с традиционным STD-каналами и измерителем течений были включены оптические каналы показателя ослабления света (ПОС) в трех диапазонах видимого спектра – сине-фиолетовом (405 нм), зеленом (532 нм) и красном (660 нм). Дискретность измерений по глубине составляет 10 см, ча-



Рис. 1. Гидрофизический зонд “Кондор”.

стога измерений – 15 Гц. Основные характеристики измерительных каналов представлены в таблице.

Прибор применяется в двух вариантах – кабельном и автономном, при котором данные сохраняются на флеш-памяти, расположенной в корпусе зондируемого прибора. Достоинством автономного варианта является возможность применения электрической мини-лебедки типа ЛГЭ и кевларовой нити-троса, позволяющих осу-

Основные характеристики гидрофизического зонда “Кондор”

Характеристика	Диапазон	Цена единицы наименьшего разряда	Суммарная погрешность измерения
Температура, °С	–2...35°С	0.02°С	±0.1
Электропроводность, отн. ед. (мСм/см)			
– 1-й диапазон	от 0 до 0.9(42)	2.44×10^{-4}	$\pm 1 \times 10^{-3}$
– 2-й диапазон	от 0.62(26.6) до 1.6(69)	(0.0105)	(0.04)
Гидростатическое давление, МПа (глубина погружения)	0...1 до 100 м	0.001 0.1 м	±0.003
Показатель ослабления света (ПОС), m^{-1} на длинах волн 405, 532 и 660 нм	0.01–2	0.002	±0.005
Квантовая облученность, $мкЭ/м^2 \cdot с$	0.002–2000	0.001	±10%
Скорость течения, см/с	0.2–100	0.05	0.15
Направление течения, град	0–360	0.5	2

шестнадцать зондирование до глубин 120–150 м со скоростью до 100 м/мин.

Оптический канал 660 нм комплекса “Кондор” используется для косвенных измерений концентрации общей (минеральной и органической) взвеси (C_S , г/м³) в морской среде. Принцип измерения C_S в соответствии со спектрофотометрической методикой основан на измерении ПОС в красной области спектра, т.е. на длине волны 660 нм. Это связано с тем, что в данной области спектра ослабление определяется главным образом двумя характеристиками: чистой водой, для которой ПОС является практически постоянной величиной, и показателем рассеяния взвесью. Относительный вклад последней в изменчивость ПОС в различных водах может составлять до 100% [4, 11].

Оптические каналы комплекса “Кондор” в сине-фиолетовой и зеленой частях видимого спектра ($\lambda = 405$ нм) и ($\lambda = 532$ нм) использованы для косвенных измерений концентрации хл “а” (мг/м³). Основанием для таких измерений являются известные данные об изменениях перепада ПОС на указанных длинах волн при изменениях концентрации хл “а”. В частности, по модели Восса [20], ПОС ($C(\lambda)$) на длине волны λ равен:

$$C(\lambda) = C_W(\lambda) + 0.39C_{Chl}^{0.57} (1.563 - 1.149 \times 10^{-3}\lambda), \quad (1)$$

где $C_W(\lambda) = a_W(\lambda) + b_W(\lambda)$ – ПОС для чистой воды, $a_W(\lambda)$, $b_W(\lambda)$ – соответственно показатели поглощения и рассеяния, C_{Chl} – концентрация хл “а”, мг/м³.

Для зонда “Кондор” $C_W(405) = 0.01665$ м⁻¹, $C_W(532) = 0.05172$ м⁻¹ [21]. После преобразований:

$$\frac{C(405)}{C(532)} = \frac{0.01665 + 0.428C_{Chl}^{0.57}}{0.05172 + 0.371C_{Chl}^{0.57}} \cong 1.0293C_{Chl}^{0.0467},$$

$$\text{или } \lg \frac{C(405)}{C(532)} = 0.0125 + 0.0467 \lg C_{Chl}. \quad (2)$$

Таким образом, логарифм отношения ПОС на указанных длинах волн пропорционален концентрации хлорофилла.

Для измерения характеристик течений в Керченском проливе использовался ADCP WHM1200 (акустический доплеровский измеритель течений с рабочей частотой 1200 кГц) производства TRDI США. Прибор был установлен на штанге, жестко прикрепленной к борту маломерного судна так, чтобы глубина положения его преобразователей составляла 0.5 м на спокойной воде. Запись данных производилась непрерывно в течение каждого дня с 26 по 28 сентября. Параметры работы ADCP устанавливались следующие: дискретность по глубине – 0.5 м; дискретность по времени – 0.2 с, с осреднением по 5 ансамблям; дальность опции Bottom Track (BT – отслеживание дна) – 20 м. Слой измерений по глубине составлял от 1.5 м от

поверхности моря до 1–2 м от дна. Обработка данных выполнялась с учетом влияния корпуса судна на показания магнитного компаса прибора, на основе GPS- и BT-данных [12]. Детально методические аспекты проведения измерений в мелководных бассейнах и вопросы обработки ADCP-данных рассмотрены в работе [13].

1.2. Космические съемки. В период проведения совместных экспедиционных работ 26–28 сентября были безоблачные дни, что позволило использовать космические съемки Керченского пролива, выполненные системой цветковых сканеров MODIS (спутники Aqua & Terra) и свободно распространяемые NASA по сети INTERNET (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>). Первичная обработка была выполнена на основе программы Veam VISAT и включала: отбор двух каналов, соответствующих длинам волн 0.645 и 0.8585 мкм; выделение области, содержащей Керченский пролив и прилегающую часть Черного моря; оцифровку данных в единицах яркости (Вт м⁻² стр⁻¹ мкм⁻¹); привязку каждого пикселя к географическим координатам. Были обработаны восемь мультиспектральных снимков, относящихся к датам проведения экспедиционных исследований в Керченском проливе.

При анализе материалов космических съемок был реализован метод, основанный на данных международного проекта AERONET, обработанных в МГИ. Анализ показал, что пространственная изменчивость аэрозоля над Азово-Черноморским бассейном определяется, главным образом, крупномасштабной адвекцией воздушных масс, в силу чего характерный пространственный масштаб аэрозольных образований равен 160 км [17]. Так как сигналы яркости восходящего излучения от прозрачной воды на длинах волн 0.645 и 0.8585 мкм пренебрежимо малы, измеренные фотометром спутника величины для прозрачных вод можно считать сигналами яркости аэрозольного и молекулярного рассеяния в атмосфере, а сигналы яркости восходящего излучения для зоны близкорасположенных вод Керченского пролива – суммой сигналов этого же атмосферного рассеяния и обратного рассеяния взвесью прибрежных вод. Эти положения были использованы при вычислении нормализованной яркости восходящего излучения морской поверхности на указанных длинах волн. В качестве информативного параметра для расчетов концентрации взвеси и хл “а” использован индекс цвета $I_{wn}(0.645/0.8585)$, который определяется как отношение яркости нормализованного восходящего излучения на указанных длинах волн с пространственным разрешением 250 м. Для определения взаимосвязи распределенный $I_{wn}(0.645/0.8585)$ с концентрацией взвешенного вещества C_S и хл “а” (C_{Chl}) в приповерхностном слое моря были использованы данные определений этих параметров по результатам обработки квази-

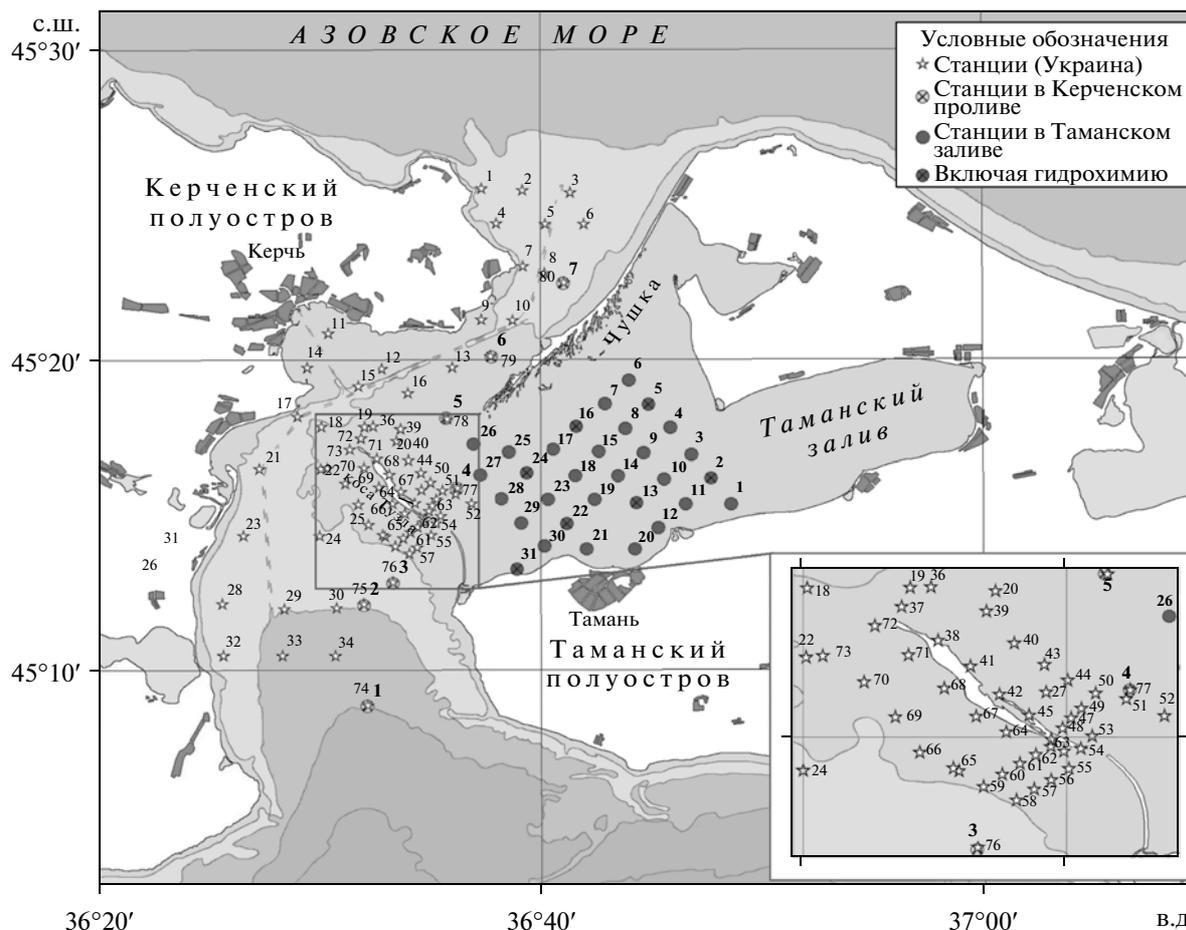


Рис. 2. Схема станций МГИ (Украина) и ЮНЦ РАН, а также семи интеркалибрационных станций (звездочки в кружках с цифрами 1–7), выполненных в центральной части пролива на линии раздела украинских и российских вод. На врезке показаны положение о. Коса Тузла с близлежащими станциями и дамбы от Таманского п-ова.

синхронно отобранных проб воды в лабораторных условиях ЮНЦ РАН по стандартным методикам. Использованы данные таких совместных измерений 2008, 2009 и 2011 гг. (последняя серия измерений выполнена во время проведения совместной экспедиции по данным 38 станций) [6, 5, 14]. Анализ показал, что концентрации взвеси и хл “а” определяются по следующим эмпирическим соотношениям:

$$C_S = 2.1178I_{wn}(0.645/0.8585) - 1.5935,$$

$$C_{chl} = 0.544I_{wn}(0.645/0.8585) + 0.546$$

при $0.75 \leq I_{wn}(0.645/0.8585) \leq 10$.

1.3. Выполнение измерений и обеспечение их единства. Совместная экспедиция ЮНЦ РАН и МГИ НАН Украины выполнялась в Керченском проливе в период с 26 по 30 сентября 2011 г., и ее результаты детально отражены в [14]. На рис. 2 показана схема станций при выполнении совместной экспедиции.

Интеркалибрационные станции выполнялись синхронно зондами “Кондор” (МГИ) и STD90М –

Probe компании “Sea & Sun Technology GmbH” Germany (ЮНЦ РАН) на расстоянии порядка 10 м. Одновременно с поверхности отбирались пробы воды для определения концентрации общего взвешенного вещества (ОВВ) и хл “а” в лаборатории ЮНЦ РАН по стандартным методикам. В результате было установлено:

1. Интеркалибрация измерителей температуры и солёности (по данным измерений электрической проводимости) показала практически полную идентичность измерительных каналов. Небольшие и нерегулярные расхождения данных относительно линии равных значений объясняются естественной изменчивостью морской среды на пространственных масштабах порядка 10 м [14].

2. Зависимость между показаниями оптического канала на длине волны 660 нм зонда “Кондор” и результатами лабораторных определений гравиметрическим методом концентрации ОВВ в ЮНЦ РАН характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0.95. При этом по результатам лабораторных определений концентрации ОВВ были определены коэффициенты пересчета по-

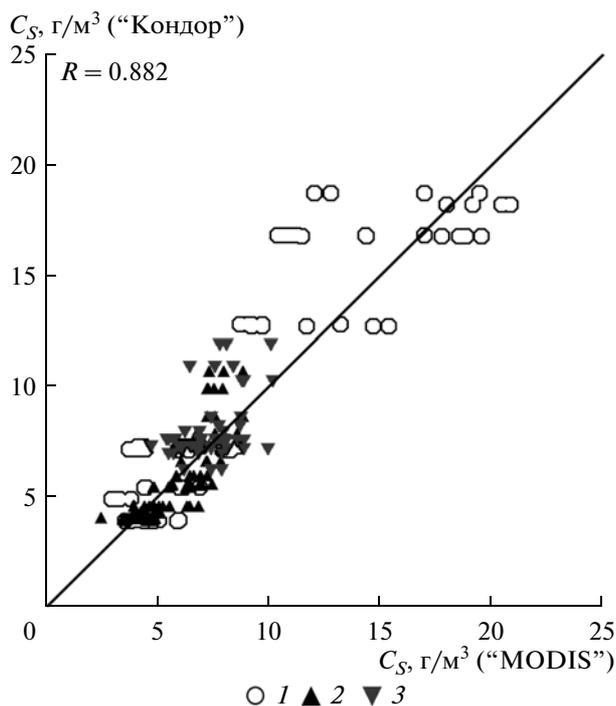


Рис. 3. Сопоставление данных измерений концентрации ОВВ по данным зонда “Кондор” и космических съемок сканером MODIS. 1 – Первый день съемки (интеркалибрация); 2 – второй день съемки (южный полигон); 3 – третий день съемки (северный полигон).

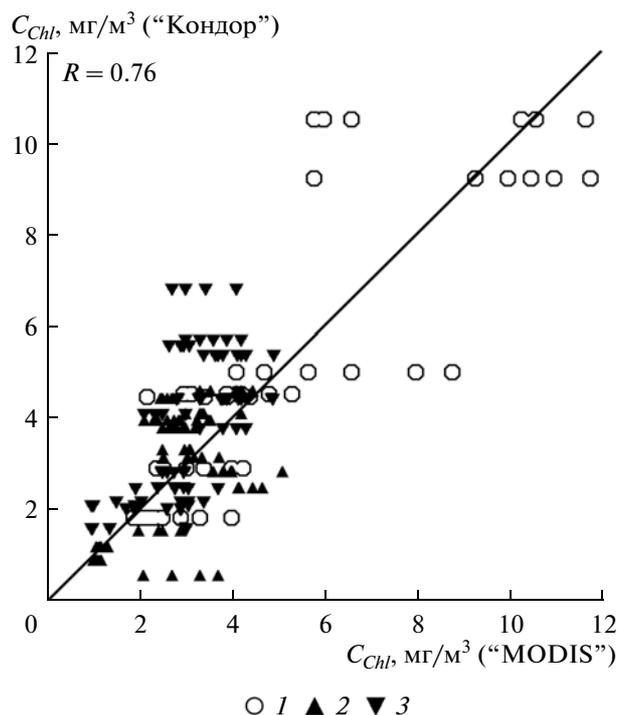


Рис. 4. Сопоставление данных измерений концентрации хл “а” по данным зонда “Кондор” и космических съемок сканером MODIS. Условные обозначения см. рис. 3.

казаний зонда “Кондор” в величины концентрации ОВВ, которые постоянно использовались в дальнейшем [6, 14].

3. Зависимость между показаниями оптических каналов на длинах волн 405 и 532 нм зонда “Кондор” и результатами лабораторных определений концентрации хлорофилла “а” стандартным флуориметрическим методом в ЮНЦ РАН характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0.926. При этом по результатам лабораторных определений были получены коэффициенты пересчета показаний зонда “Кондор” в величины концентрации хл “а”, которые постоянно использовались в дальнейшем [6, 14].

Были выполнены взаимные сличения показаний космических съемок и зонда “Кондор” по концентрациям ОВВ и хл “а” на основе использования независимых определений параметров пересчета показаний этих измерительных средств в величины указанных параметров. Результаты этих сличений отражены на рис. 3 и 4. На графиках видна значительная дисперсия взаимных показаний относительно линий равных значений. Она объясняется большим числом факторов – различным пространственным разрешением, несинхронностью, наличием резких границ раздела данных, инструментальными погрешностями.

Тем не менее, хорошо видна общая тенденция соответствия данных и относительно высокая

корреляция, величины которой приведены на этих рисунках. Это дает основание говорить об обеспечении единства измерений по данным космических съемок, контактных измерений и анализа проб в лаборатории ЮНЦ РАН по стандартным методикам.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

В период проведения комплексных экспедиционных исследований в Керченском проливе (26–30 сентября 2011 г.) происходило изменение ветрового режима, который, как известно, оказывает сильное влияние на структуру течений и гидрологических элементов пролива [1, 8, 9]. На рис. 5 показаны изменения составляющих скорости ветра в период с 24 по 30 сентября 2011 г. В период, предшествующий экспедиции, был устойчивый северо-западный ветер, который с 26 по 28 сентября стал неустойчивым и изменил преобладающее направление на юго-западное.

Эти изменения проявились в полях гидрологических элементов, поля которых в виде пространственных распределений температуры (T), солености (S), взвеси (ОВВ) и хл “а” (Chl “а”) вдоль Керченского пролива показаны на рис. 6 (26 сентября 2011 г.) и 7 (27–28 сентября 2011 г.). На этих же рисунках приведены номера станции в соответствии со схемой их выполнения (рис. 2).

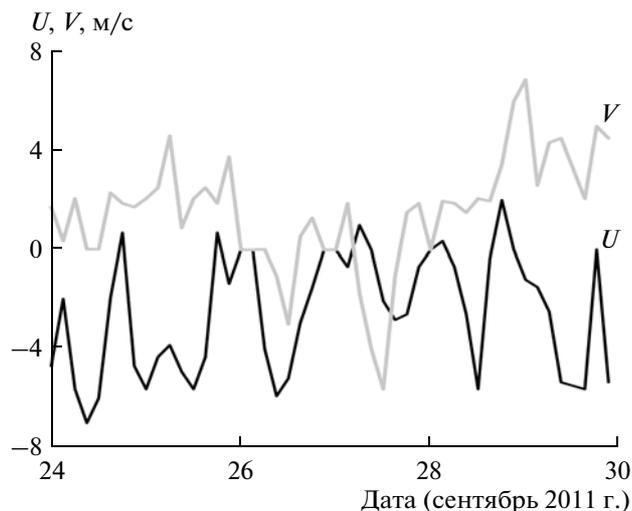


Рис. 5. Меридиональная (V) и зональная (U) составляющие скорости ветра. Положительные значения соответствуют северному и восточному, отрицательные — южному и западному направлениям.

В первый день съемки 26 сентября 2011 г. в северной части пролива до о. Коса Тузла ($\approx 45.3^\circ$ с.ш.) преобладали воды с соленостью 12–13.5 епс, концентрацией взвеси 15–20 г/м³ и хл “а” 8–13 мг/м³,

характерные для Азовского моря. Горизонтальное распределение концентрации взвеси по данным космической съемки соответствует такой структуре как в качественном, так и в количественном отношении (рис. 8). Течения в северной части пролива направлены на юг из Азовского моря (рис. 8), что объясняется устойчивым северо-западным ветром в предыдущий и рассматриваемый периоды времени. В центральной части пролива, в окрестности о. Коса Тузла сформировалась резкая фронтальная зона, разделяющая воды Азовского (соленость 12–13.5 епс) и Черного (характерная соленость 16–18 епс) морей. Эта же фронтальная зона проявилась в концентрации взвеси как на разрезе (рис. 6), так и на горизонтальном распределении по данным космической съемки (рис. 7). В южной части пролива сформировалась более сложная структура по температуре (18.1–18.4°C), солености (14.5–15.5 епс) и концентрации хл “а”.

Особенность вертикальной структуры температуры и солености в этой части пролива состоит в том, что слой воды с более низкими температурой и соленостью находится над слоем с более высокими температурой и соленостью. Так как при таких условиях тепло распространяется быстрее, чем соль, возникают условия для развития

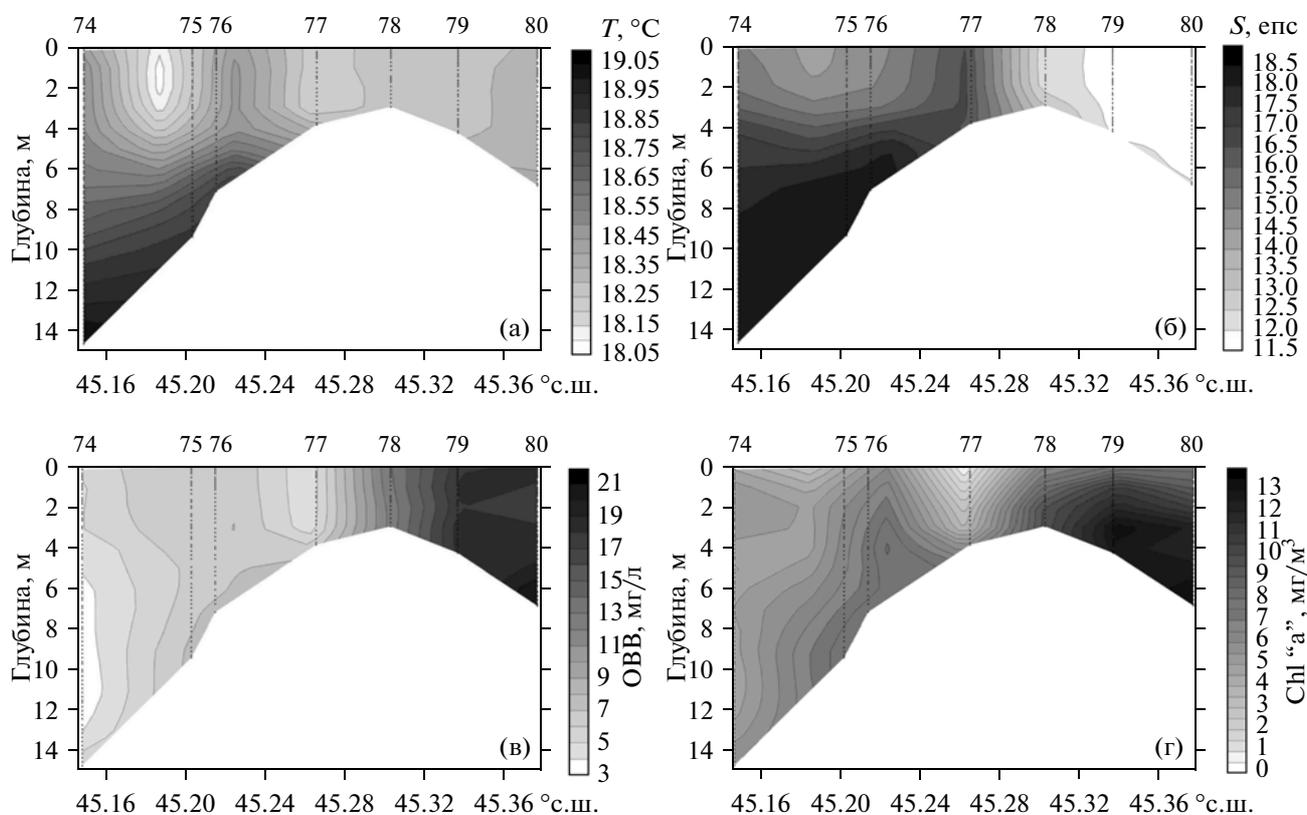


Рис. 6. Пространственные распределения температуры (T , (а)), солености (S , (б)), концентрации суммарной взвеси (ОВВ, (в)) и хл “а” (Chl “а”, (г)) вдоль Керченского пролива 26.09.2011 г.

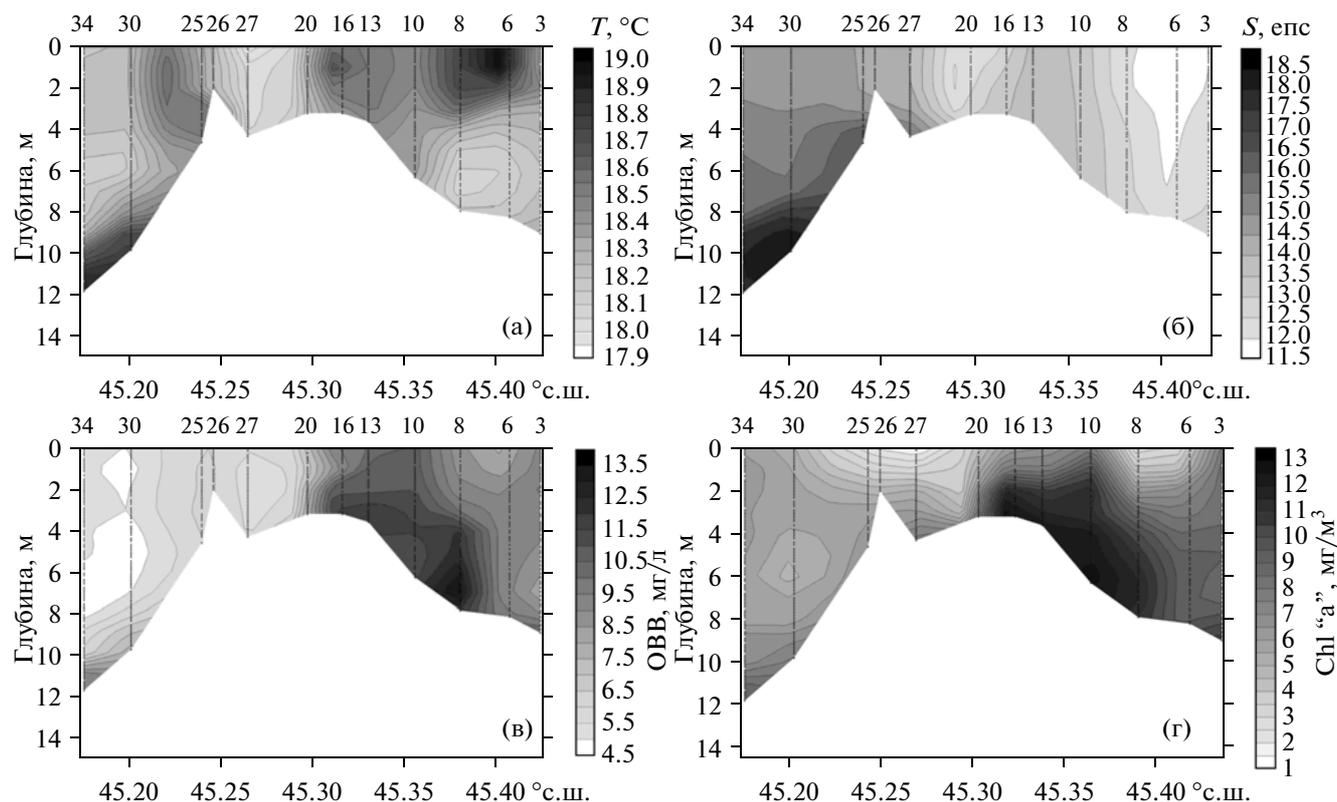


Рис. 7. Пространственные распределения температуры (T , (а)), солёности (S , (б)), концентрации суммарной взвеси (ОВВ, (в)) и хл “а” (Chl “а”, (г)) вдоль Керченского пролива 27–28.09.2011 г.

термохалинной конвекции (двойной диффузии) типа послойной конвекции [18, 19]. Анализ этих процессов выходит за рамки настоящей работы и далее не рассматривается.

По данным измерений ADCP, поток из Азовского моря севернее о. Коса Тузла отклоняется в западном направлении в Таманский залив (там наблюдается высокая концентрация взвеси) и южнее протоки между о. Коса Тузла и дамбой смешивается с водами Черного моря.

Как уже отмечалось, 27–28 сентября изменилось направление ветра. При этом произошли значительные изменения в пространственных распределениях температуры, солёности, концентрации взвеси и хл “а”. В северной части пролива сформировались локальные области воды с более высокими солёностью (14–15 eps) и температурой, здесь же существенно уменьшилась концентрация взвеси до 9–10.5 г/м³ и появились локальные области уменьшения концентрации хл “а”. В центральной части пролива изменилась конфигурация фронтальных разделов по температуре, солёности, взвеси и хл “а”.

Соответствующие изменения проявились в пространственных распределениях концентрации взвеси по данным космических съёмок. Так, концентрация взвеси в северной части пролива умень-

шилась до 8–10 г/м³, что соответствует данным контактных измерений. Южнее о. Коса Тузла концентрация взвеси составила 6–8 г/м³, что также совпадает с результатами контактных измерений.

Изменения в пространственной структуре полей температуры, солёности, концентрации взвеси и хл “а” связаны, вероятно, с перестройкой поля течений, что подтверждается данными измерений ADCP (рис. 8).

В результате этой перестройки в северной части пролива сформировался поток относительно прозрачных черноморских вод, что хорошо видно по распределению концентрации взвеси 28 сентября 2011 г.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. В результате выполнения комплексных экспедиционных исследований выявлены особенности динамики вод и структуры полей температуры, солёности, концентрации суммарного взвешенного вещества и хл “а” в Керченском проливе в условиях переменного ветра. Показано, что при изменении направления ветра с северо-западного на юго-западное в течение суток происходит глубокая перестройка течений и связанные с этим изменения структуры полей температуры, солёности, концентрации взвеси и хл “а”. Эти изменения на-

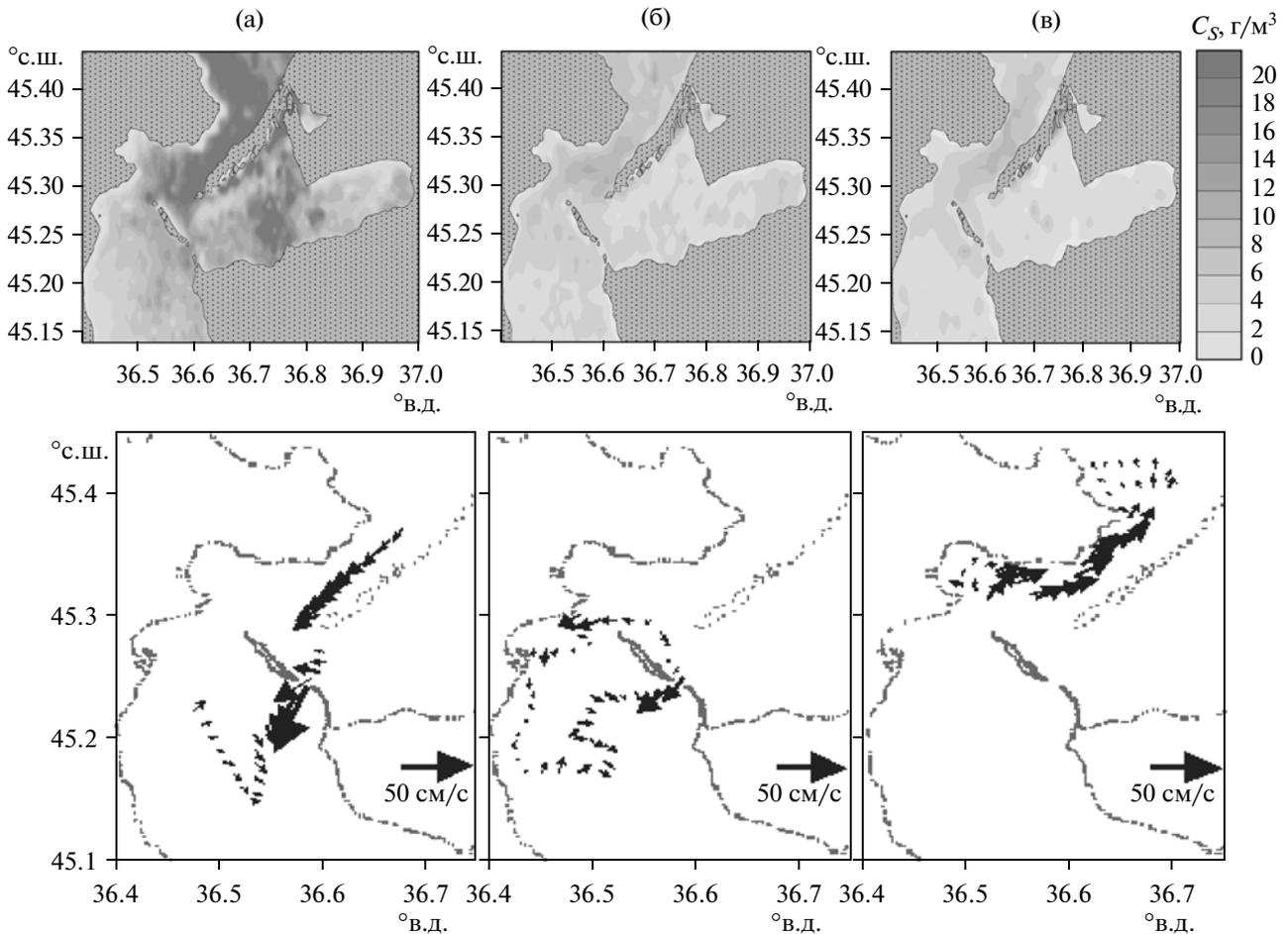


Рис. 8. Пространственные распределения концентрации взвеси (г/м^3) и осредненных по глубине течений (нижний рисунок) при выполнении съемки Керченского пролива 26 (а), 27 (б) и 28 (в) сентября 2011 г.

блюдаются по всей глубине и характеризуются сложной пространственной структурой. Их особенностью является взаимодействие азовских и черноморских вод с различными термохалинными характеристиками, что служит предпосылкой для развития процессов двойной диффузии (термохалинной конвекции).

2. Выполнение комплексных интеркалибрационных измерений (индекс цвета – концентрация ОВВ и хл “а” по данным квазисинхронных космических съемок и отборов проб с последующими лабораторными определениями), а также синхронные измерения STD-параметров и отборы проб с лабораторными определениями концентраций ОВВ и хл “а” послужили основой для обеспечения единства измерений всего комплекса измерительных средств при выполнении совместной экспедиции ЮНЦ РАН и МГИ в Керченском проливе.

3. Анализ пространственных распределений концентрации взвеси по данным космических съемок показал, что их основные особенности совпадают по структуре и по величинам с данны-

ми независимых контактных измерений. Основные изменения концентрации взвеси в проливе согласуются с изменениями течений, причем высокой концентрации взвеси соответствует поступление воды из Азовского моря, а при поступлении воды из Черного моря концентрация взвеси значительно уменьшается. Таким образом, изменения концентрации взвеси по данным оперативных спутников в перспективе можно будет использовать для определения характера водообмена между Азовским и Черным морями.

Авторы работы благодарят коллег из ЮНЦ РАН, принимавших участие в совместной экспедиции и в обработке данных измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 11-05-90439-Укр_ф_а (Россия) и ДФФД Ф40 68 (Украина).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтман Э.Н.* Динамика вод Керченского пролива // Гидрометеорология и гидрология морей СССР. Проект “Моря СССР”. Т. 4. Черное море. Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 291–328.

2. *Врангель Ф.Ф.* О физических исследованиях в Черном и Азовском морях // Морской сборник. 1875. № 12. С. 9–29.
3. *Иванов В.А., Ильин Ю.П.* Последствия загрязнения Керченского пролива и предпроливных зон в результате шторма 10–12 ноября 2007 года // Доповіді Національної академії наук України. 2009. Т. 22. № 1. С. 177–180.
4. *Копелевич О.В.* Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана. М.: Наука, 1983. С. 208–235.
5. *Кушнир В.М.* Параметры придонной динамики прибрежной зоны по данным космических съемок оптическими сканерами // Исследование Земли из космоса. 2013. № 3. С. 13–21.
6. *Кушнир В.М., Бердников С.В., Чепыженко А.И. и др.* Результаты комплексных исследований совместной экспедиции МГИ НАН Украины и ЮНЦ РАН в Керченском проливе в осенний период 2011 г. // Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Чёрном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Сборник статей (по материалам российско-украинского семинара, Ростов-на-Дону, 6–8 июня 2011 г.). Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2012. С. 29–36.
7. *Кушнир В.М., Морозов А.Н., Федоров С.В., Петренко Л.А.* Воздействие волн и течений на о. Коса Тузла по данным дистанционного зондирования для оценки эрозии и аккумуляции донного материала в Керченском проливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2009. Вып. 19. С. 124–142.
8. *Лоидис А.П.* К вопросу о течениях в Керченском проливе // Записки по гидрографии. 1901. Вып. 23. С. 1–19.
9. *Ломакин П.Д., Спиридонова Е.О., Панов Д.Б.* Природные и антропогенные изменения в полях важнейших элементов экологического комплекса Керченского пролива в течение двух последних десятилетий. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009 г., 170 с.
10. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Динамика вод и взвешенного вещества в районе о. Тузла (Керченский пролив) при устойчивых меридиональных ветрах // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2012. Вып. 2 (28). С. 72–83.
11. *Маньковский В.И.* Основы оптики океана. Методическое пособие. Севастополь: “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 1996. 120 с.
12. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М.* Опыт использования акустического доплеровского измерителя течений (ADCP) в условиях Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. Вып. 12. С. 457–476.
13. *Морозов А.Н., Лемешко Е.М., Иванов В.А. и др.* Течения в Керченском проливе по данным ADCP наблюдений 2008–2009 годов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. Вып. 22. С. 253–267.
14. Отчет о совместных экспедиционных исследованиях ЮНЦ РАН – МГИ НАН Украины в Керченском проливе 25–30 сентября 2011 г. Научные фонды МГИ НАН Украины. Севастополь, 2012. 34 с.
15. *Спиридонова Е.О.* Океанологические исследования Керченского пролива в течение двух последних десятилетий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.08 – океанология. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. 147 с.
16. *Степаняк Ю.Д., Башкирцева Е.Б.* Морфология и литодинамика о. Коса Тузла по данным дистанционных наблюдений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2009. Вып. 20. С. 100–107.
17. *Толкаченко Г.А.* Исследования пространственных масштабов оптических неоднородностей аэрозоля над Черным морем // Системы контроля окружающей среды. Севастополь, 2010. Вып. 14. С. 83–88.
18. *Kushnir V.M., Pavlov V.K., Morozov A.N., Pavlova O.A.* Convective Instability in the Ice Edge Area of the Barents Sea // The Open Oceanography Journal. 2008. V. 2. P. 24–33
19. *Turner J.S.* Small-Scale Mixing Processes // Evolution of physical oceanography / Eds. Warren B.A., Wunsch C. The MIT Press, 1981, p. 236.
20. *Voss K.J.* A spectral model of the beam attenuation coefficient in the ocean and coastal areas // Limnol. Oceanogr. 1992. V. 37. № 3. P. 501–509.
21. <http://ecodevice.com.ua/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor>

The Kerch Strait Water Structure Derived from the Data of Contact (in situ) and Satellite Imagery

A. A. Chepyzhenko, A. I. Chepyzhenko, V. M. Kushnir

The data of joint complex expedition in the Kerch Strait carried out by MHI of NAS of Ukraine and SSC of RAS in September 2011 is discussed. The possibility and results of using of the modern measuring instruments and methods of the satellite imagery processing for obtaining the quantitative estimates of the concentration of suspended matter and chlorophyll “a” are considered. The features of water dynamics, as well as the temperature, salinity, concentrations of total suspended matter and chlorophyll “a” fields in the Kerch Strait under the variable wind are studied.