

Результаты мониторинга динамики полей приповерхностных вод Черного моря судовым комплексом гидрофизических попутных измерений

А. С. Кузнецов*, Ю. И. Шаповалов, Р. О. Шаповалов

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**E-mail: kuznetsov_as@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 04.10.2018 г., после доработки – 09.01.2019 г.

Цель. Цель настоящей работы – обсуждение практических результатов опытной эксплуатации отечественного судового комплекса гидрофизических попутных измерений (КГПИ).

Методы и результаты. Результаты получены при натурных исследованиях структуры и пространственно-временной изменчивости оптико-гидролого-гидрохимических полей приповерхностных вод в комплексных экспедициях Морского гидрофизического института РАН в 2015–2017 гг. на разномасштабных полигонах у Южного берега Крыма. Измерения комплексом в экспедиционных условиях выполнялись непрерывно в реальном масштабе времени с высоким пространственным разрешением и надежностью. На основе контактных судовых съемок, выполненных комплексом на тестовых подспутниковых полигонах у Гераклейского полуострова, проведено картирование фоновой структуры гидрофизических полей приповерхностных вод. В приповерхностном слое полигона достоверно выделены мелкомасштабные линзы вод, сопутствующие интенсивным гидрологическим образованиям факельного типа, которые возникают в очаге придонного сброса промышленно-сточных вод канализационного коллектора и достигают поверхности.

Выводы. Из материалов КГПИ-съемок, выполненных на крупномасштабных полигонах в октябре 2016 г. в 89-м рейсе и в ноябре 2017 г. в 98-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий», выделены новые натурные данные, которые не удалось получить традиционными способами. Представленные результаты демонстрируют высокую информативность КГПИ-измерений, оперативность съемок, эффективность и возможность использования комплекса в различных погодных условиях при исследованиях гидрофизических процессов и явлений в широком диапазоне изменчивости. Подтверждены принципиальные возможности и перспективы дальнейшего использования судового КГПИ для получения новых научных знаний о субмезо- и мелкомасштабных гидродинамических процессах при развитии подходов к рациональному использованию ресурсного потенциала морских акваторий у побережья Крыма и Севастополя, а также к созданию элементов перспективной технологии инструментального кризисного мониторинга в приморских ландшафтах шельфа.

Ключевые слова: Черное море, вихре-волновая гидродинамика, прибрежно-шельфовая зона, инструментальный мониторинг, измерительный комплекс.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

Для цитирования: Кузнецов А. С., Шаповалов Ю. И., Шаповалов Р. О. Результаты мониторинга динамики полей приповерхностных вод Черного моря судовым комплексом гидрофизических попутных измерений // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 4. С. 384–394. doi:10.22449/0233-7584-2019-4-384-394

© Кузнецов А. С., Шаповалов Ю. И., Шаповалов Р. О., 2019

Results of Monitoring the Surface Fields' Dynamics in the Black Sea Waters Using a Ferry Box System

A. S. Kuznetsov*, Yu. I. Shapovalov, R. O. Shapovalov

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

*e-mail: kuznetsov_as@mhi-ras.ru

Purpose. The purpose of the paper is to discuss practical results of pilot running of a domestic ship ferry box system.

Methods and Results. The results were obtained in course of *in situ* studies of structure and spatial-temporal variability of optical, hydrological and hydrochemical fields of surface water during the complex cruises in which the scientists from Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, participated in 2015–2017. The polygons under investigation were of different scales and located nearby the Southern Coast of the Crimea. The ferry box measurements were performed continuously in real time, with high spatial resolution, and showed good reliability.

Based on the contact ferry box surveys carried out at the test sub-satellite polygons near the Herakleian Peninsular, the background structure of the surface water hydrophysical fields was mapped. In the polygon surface layer, small-scale water lenses were authentically identified. They accompany the intensive hydrological torch-type formations that arise in an outbreak of industrial and sewage waters discharge near the bottom and then reach the surface.

Conclusions. The information of the ferry box system surveys carried out at the large-scale polygons during the cruises of R/V "Professor Vodyanitsky" (the 89th – October, 2016 and the 98th – November, 2017) nearby the Southern Coast of the Crimea provided new *in situ* data that were impossible to obtain by contact methods. The represented results demonstrate high information content of the ferry box measurements, its efficiency and possibility of its further application for studying hydrophysical processes and phenomena in a wide range of their variability and in various weather conditions. Confirmed are the principle possibilities and further prospects of the ferry box system in obtaining new notions on submeso- and small-scale hydrodynamic processes. Besides, the system implies development both of the approaches for rational use of marine resources near the Crimean and Sevastopol coasts, and the elements of the advanced technology for the instrumental shelf monitoring in critical situations.

Keywords: Black Sea, vortex-wave hydrodynamics, coastal shelf zone, instrumental monitoring, measuring complex.

Acknowledgments: The investigation was carried within the framework of the state task on theme № 0827-2018-0004 "Complex interdisciplinary investigations of the oceanologic processes conditioning functioning and evolution of the Black and Azov seas' coastal zones".

For citation: Kuznetsov, A.S., Shapovalov, Yu.I. and Shapovalov, R.O., 2019. Results of monitoring the surface fields' dynamics in the Black Sea waters using a ferry box system. *Physical Oceanography*, [e-journal] 26(4), pp. 341-349. doi:10.22449/1573-160X-2019-4-341-349

Введение

Развитие наблюдательной системы в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна, разработка и совершенствование подходов, технологий и алгоритмов мониторинга морской среды при комплексных междисциплинарных исследованиях гидродинамики разномасштабных процессов на шельфе является актуальной задачей. Динамика вод шельфа российской части Черного моря определяется Основным Черноморским течением (ОЧТ) и совокупностью интенсивных разномасштабных вихре-волновых, вергентных и других движений вод [1–4]. Морским гидрофизическим институтом (МГИ) сформирована современная концепция развития инструментального мониторинга [5], на основе которой создан кластер аппаратурных измерительных

комплексов. Разработка является элементом экспериментальной системы контроля природных и антропогенных воздействий на шельфовые зоны Черноморского побережья Российской Федерации на основе спутниковых и контактных данных [6, 7]. Система мониторинга состояния и динамики прибрежно-шельфовых вод реализована на основе эксклюзивных информационно-технологических и аппаратурных разработок МГИ на стационарном Черноморском гидрофизическом полигоне (ЧГП) [4, 6], а также в ходе разномасштабных полигонных съемок акваторий у Южного берега Крыма (ЮБК) с использованием научно-исследовательских судов (НИС) [7, 8]. По данным многолетнего мониторинга динамики вод на стационарном ЧГП выявлены фоновые характеристики режима и крупномасштабной изменчивости прибрежных течений у ЮБК. Серии последовательных оперативных судовых съемок акватории выполняются с целью получения новых научных знаний о пространственно-временной изменчивости океанологических полей и характеристик интенсивных гидродинамических образований в экономической зоне России у берегов Крыма. Проведение комплексных полигонных исследований позволяет упорядочить и систематизировать вклад разномасштабных природных процессов в динамику шельфовых вод при высоком разрешении и точности измерений. Практика проведения натурного эксперимента наглядно демонстрирует, что для рекогносцировки и детальных съемок акватории необходимы и эффективны измерения характеристик приповерхностного слоя моря в реальном масштабе времени при прокачке забортных вод на ходу через судовую измерительную систему. Такие измерения позволяют существенно сэкономить время экспедиционных исследований, дополнить и детализировать гидрофизическую информацию, получаемую в экспедициях традиционными методами (гидрологические и гидрооптические зондирования, ADCP-измерения, анализ проб воды). При исследованиях мелкомасштабных и субмезомасштабных процессов и явлений с пространственными масштабами от нескольких десятков-сотен метров до километров судовой комплекс гидрофизических попутных измерений (КГПИ) предоставляет принципиально новые возможности для детализации полей гидрофизических характеристик, недоступные при выполнении съемок полигонов, основанных на фиксированных сетках станций. Эти возможности особенно важны для фиксации и контактных исследований антропогенных явлений типа аварийных сбросов загрязнений в море от береговых и морских источников.

Технологические особенности измерений

Многочисленные аэрокосмические съемки морской поверхности повсеместно и систематически демонстрируют контрастные различия в структуре полей контактирующих объемов поверхностных вод. Эти неоднородности в структуре поверхностных полей возникают из-за динамики вод с различными гидрологическими и оптическими характеристиками. С 70-х годов прошлого столетия для исследований динамики поверхностных вод отечественные институты регулярно используют в экспедициях гидрофизические зонды, устанавливаемые на борту судна, с принудительной прокачкой через них забортных вод. Институт океанологии РАН использовал такие проточные системы при исследованиях в Атлантике и в арктических морях [9, 10]. Мор-

ским гидрофизическим институтом при использовании такой системы выполнены уникальные контактные исследования структуры и динамики поверхностных гидрографических фронтов в Эгейском море у пролива Дарданеллы [11]. С 2000 г. зарубежные океанологи активно используют на практике подобные проточные системы [12, 13] под названием *Ferry Box*. С учетом уникального опыта собственных конструктивных разработок таких систем и современных аппаратурных возможностей в МГИ создан отечественный КГПИ с высокими эксплуатационными характеристиками. Основные сведения о базовой структуре и технических характеристиках комплекса представлены в работе [14].

Опыт эксплуатации нового комплекса в натуральных условиях в течение 2015–2017 гг. продемонстрировал его высокую работоспособность, надежность и позволил оптимизировать структуру и технологию исследований. На борту судна в проточном контейнере размещен набор измерителей: температуры (T) при точности $0,015^{\circ}\text{C}$, электрической проводимости при точности $0,02$ мСм/см и солености (S) при точности $0,03\text{‰}$ (ЕПС), показателя активности ионов водорода (рН) при точности $0,03$ ед. рН, концентрации растворенного в воде кислорода (КРК) при точности $0,2$ мл/л. В состав комплекса входит модуль турбидиметр для измерения мутности воды (M) при точности $0,5$ ЕМФ (единиц мутности по формазину) и определения концентрации общего взвешенного вещества в воде, модем для привязки текущих измерений к географическим координатам и точному времени, а также измеритель температуры забортной воды при точности $0,2^{\circ}\text{C}$ и чувствительности $0,01^{\circ}\text{C}$, буксируемый *in situ* в приповерхностном слое моря. Комплекс непрерывно регистрирует в географической системе координат характеристики океанографических полей вдоль маршрута движения судна. На океанологических станциях в узлах сетки полигона с борта судна в дрейфе проводятся вертикальные профилирования характеристик вод набором гидрологических зондов. На основе этих экспериментальных данных выполнены оценки стабильности метрологических и эксплуатационных характеристик комплекса.

Характерной особенностью современного состояния вод шельфа Черного моря и прежде всего – прибрежной зоны у ЮБК является наличие высокого уровня загрязнения приповерхностных вод нефтепродуктами и поверхностно-активными веществами в различных миграционных формах. Непрерывная прокачка приповерхностных забортных вод приводит к интенсивным загрязнениям датчиков и снижению точности измерений. По синхронным измерениям КГПИ и высокоточных оптико-гидролого-гидрохимических зондов в приповерхностном слое *in situ* [7, 8], а также при синхронном отборе проб приповерхностных вод и их оперативном анализе *in vitro* проведен контроль временной изменчивости характеристик датчиков комплекса. В условиях особо интенсивных загрязнений морской среды для измерителей показателя активности ионов водорода, концентрации растворенного в воде кислорода и мутности воды экспериментально был выбран трехсуточный интервал между процедурами регламентной чистки датчиков. При этом полностью сохраняются паспортные погрешности всех измерителей [14], что надежно обеспечивает непрерывные исследования характеристик мелко-, среднемас-

штабных и синоптических гидродинамических образований с указанными точностями.

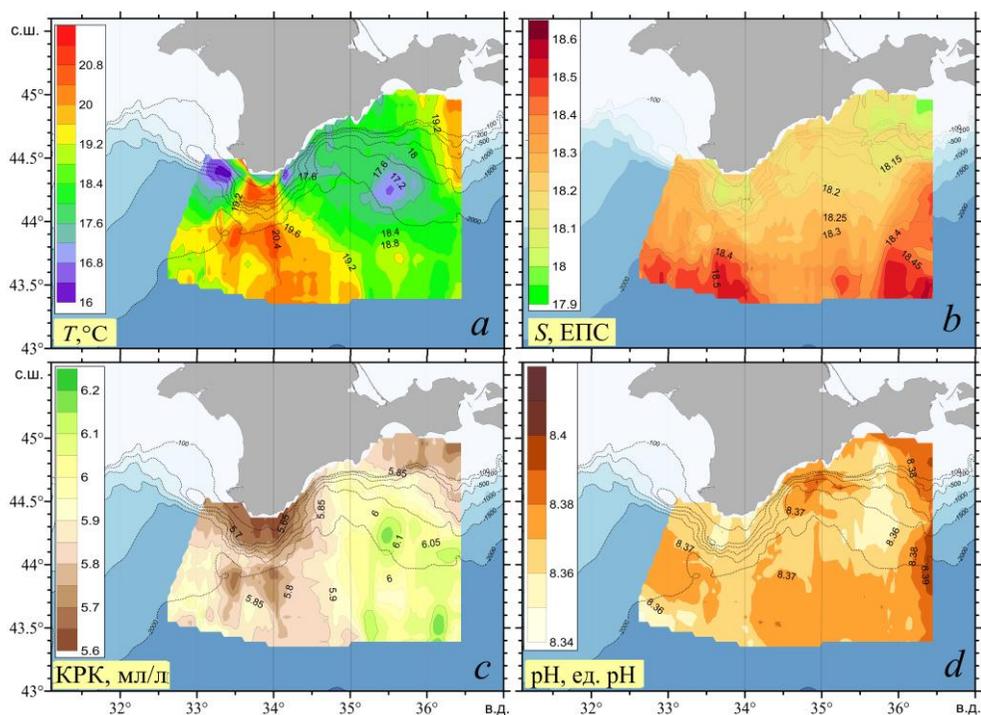
Забортная морская вода поступает к первичным измерительным преобразователям комплекса через гидравлическую проточную систему с глубины 1–2 м. На маломерных экспедиционных судах используется собственная штатная проточная система комплекса, а на НИС типа «Профессор Водяницкий» отбор забортной морской воды осуществляется через кормовой гидрант судовой системы. При прокачке забортных вод от места их забора к датчикам штатная проточная система вносит временную задержку поступления вод, достигающую 20 с. При использовании трубопровода системы НИС эта задержка достигает 3 мин. При использовании штатной проточной системы и скорости движения судна до 1 узла изменение координат места определения данных КГПИ-измерений во времени не превышает ± 5 м. В такой ситуации координаты места забора воды и местоположения судна практически не отличаются. При работе штатной проточной системы комплекса и увеличении скорости движения судна такие пространственные расхождения становятся значимыми. Например, при скорости судна 8 узлов эти расхождения достигают 80–100 м, а при использовании трубопровода системы НИС – превышают 850 м. Фактические координаты гидродинамических образований вычисляются при обработке исходных данных комплекса с учетом задержки поступления забортных вод к первичным измерительным преобразователям и скорости судна по маршруту следования.

Результаты и перспективы исследований

Продолжительность съемок и размеры гидрофизических полигонов определяются целями и задачами натурального эксперимента. Априорная информация о пространственно-временных масштабах изменчивости исследуемых природных процессов и гидрометеорологических условиях учитывается при планировании работ. Технология комплексного инструментального мониторинга обеспечивает получение набора данных пространственных разрезов приповерхностных полей и соответствующих вертикальных профилей гидрологических характеристик на дрейфовых станциях вдоль разрезов. Картирование характеристик гидрофизических полей по данным контактных полигонных съемок и синхронные спутниковые изображения морской поверхности позволяют исследовать закономерности и особенности гидродинамических неоднородностей различных пространственно-временных масштабов, что наглядно демонстрируют результаты судовых экспедиционных исследований МГИ.

В работе [8] представлены результаты исследования особенностей сезонной и синоптической изменчивости структуры вод в зоне ОЧТ по материалам двух последовательных судовых съемок зондирующим комплексом *Sea-Bird 911 plus* крупномасштабного полигона в экономической зоне России у берегов Крыма, в том числе полученных в октябре 2016 г. в 89-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Как указано в работе [8, с. 33], «погодные условия не позволили в 89-м рейсе провести измерения между меридианами 34° и 35° в. д.», т. е. зондирования на этой акватории размером 72 × 140 км не выполнялись. При этом, несмотря на штормовые погодные условия, КГПИ-

съемка этой акватории на ходу судна была выполнена полностью. На рис. 1 приведено пространственное распределение характеристик приповерхностных вод по результатам непрерывной КГПИ-съемки для всего крупномасштабного полигона в российском секторе у ЮБК. Таким образом, результаты КГПИ-измерений, выполненных в рейсе, дополняют работу [8] сведениями о пространственной изменчивости приповерхностных вод между 34° и 35° в. д. Комплексная съемка крупномасштабного полигона у ЮБК выполнялась в течение 12 сут 7–19 октября 2016 г. Индивидуальная КГПИ-съемка этого полигона в непрерывном режиме может быть выполнена всего за 4 сут вне зависимости от погодных условий при крейсерской скорости судна в 8 узлов.

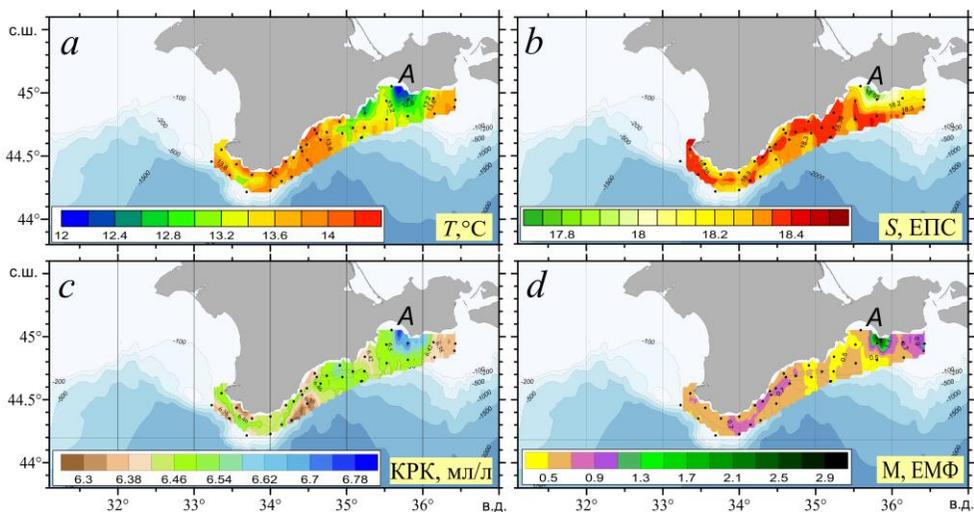


Р и с. 1. Пространственное распределение температуры (a), солёности (b), концентрации растворенного в воде кислорода (c) и показателя активности ионов водорода (d) в приповерхностном слое (1–2 м) на крупномасштабном полигоне у ЮБК по данным КГПИ-измерений в 89-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»

F i g. 1. Spatial distributions of temperature (a), salinity (b), dissolved oxygen concentration (c) and the hydrogen ion activity index (d) in the surface layer (1–2 m) on the large-scale polygon nearby the Southern Coast of the Crimea based on the ferry box measurements in the 89th cruise of R/V “Professor Vodyanitsky”

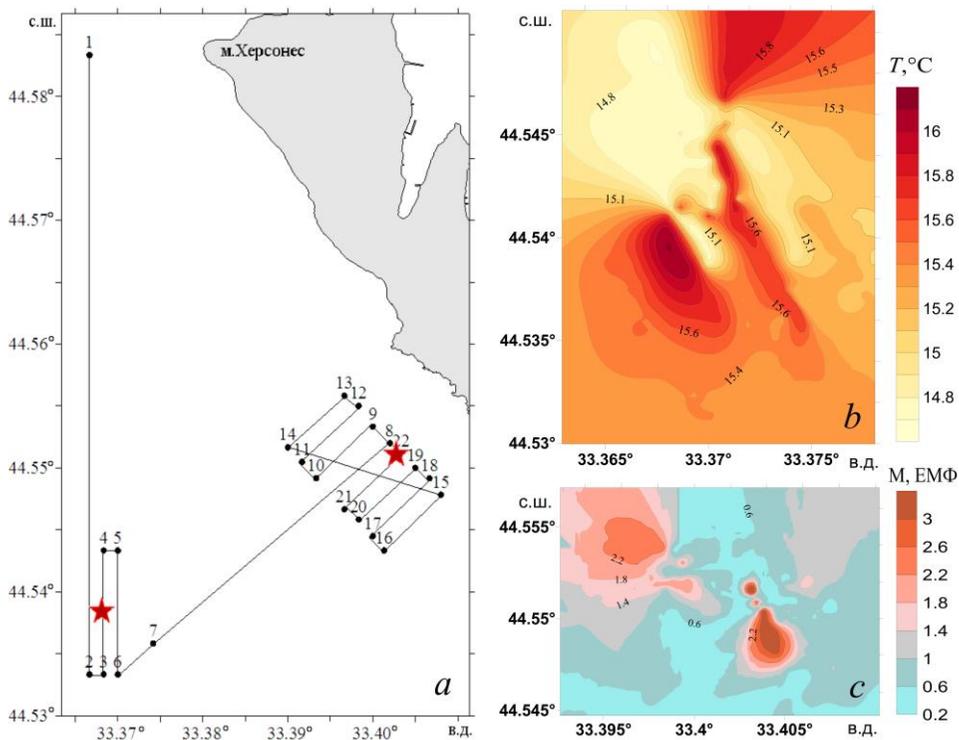
При съемке крупномасштабного полигона (рис. 1) шаг сетки между узлами гидрологических станций обычно составляет 5–15 миль, что на порядок и более превышает характерные пространственные размеры существующих в Черном море субмезо- и мелкомасштабных гидродинамических образований. Наличие на станции интенсивного мелкомасштабного образования вносит методические погрешности и искажения в значения фоновых характери-

стик. Несомненным достоинством КГПИ является высокое пространственное разрешение, что позволяет в реальном масштабе времени выявлять местоположение и размеры локализованных гидродинамических образований для дальнейшего исследования их динамики. При таких исследованиях вклад методических погрешностей в крупномасштабную динамику вод может быть учтен и нивелирован. На рис. 2 приведено пространственное распределение характеристик приповерхностных вод по результатам непрерывной КГПИ-съемки в 98-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» 15–19 ноября 2017 г. В прибрежной зоне восточной части Феодосийского залива у м. Чауда на фоне крупномасштабной изменчивости шельфовых вод в полях температуры, солености и КРК в приповерхностном слое достоверно выделена линза инородных вод (участок А на рис. 2) с горизонтальными размерами менее 7 км, которая имеет существенно пониженные значения T (до 12°C), S (до 17,65 ЕПС) и повышенное содержание КРК (до 6,8 мл/л). Увеличение мутности вод наблюдается юго-восточнее м. Чауда (рис. 2, *d*). Точками на рис. 2 обозначено местоположение станций, выполненных с шагом 9 миль (17,7 км), на указанном участке акватории. Выявленный по данным КГПИ участок А локализован между станциями полигона и по данным гидрологических зондирований отдельно не выделяется. В программе океанографических исследований Черного моря в 98-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» не ставилось задач детального изучения природы возникновения и динамики такого локального образования.



Р и с. 2. Пространственное распределение температуры (*a*), солености (*b*), концентрации растворенного в воде кислорода (*c*) и мутности вод (*d*) в приповерхностном слое (1–2 м) на шельфе ЮБК по данным КГПИ-измерений в 98-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Участок А – положение мелкомасштабной линзы вод

Fig. 2. Spatial distributions of temperature (*a*), salinity (*b*), dissolved oxygen concentration (*c*) and water turbidity (*d*) in the surface layer (1–2 m) on the shelf of the South coast of the Crimea according to the ferry box measurements in 98th cruise of R/V "Professor Vodyanitsky." Letter A indicates the position of small-scale water lens



Р и с. 3. План-схема маневров экспедиционного судна при КГПИ-съёмках тестового подспутникового полигона у Гераклейского п-ова в дальней зоне (п. 2–7) и ближней зоне (п. 8–22), звездочками обозначено местоположение приповерхностных плюмов от придонных сбросовых факелов промышленно-сточных вод – *a*; пространственное распределение в приповерхностном слое (1–2 м): температуры в дальней зоне полигона по данным КГПИ-съёмки от 21.05.2016 г. – *b* и мутности воды в ближней зоне полигона от 20.05.2016 г. – *c*

Fig. 3. Scheme of the research vessel movements during the ferry box surveying the sub-satellite test polygon nearby the Heracleian Peninsula (*a*) in its remote (points 2–7) and near (points 8–22) zones. Stars denote locations of the surface plumes resulted from the bottom torches of the industrial and sewage water discharges – *a*. Spatial distribution of: temperature in the surface layer (1–2 m) in the polygon remote zone based on the ferry box survey on 21.05.2016 – *b* and water turbidity in the polygon near zone – on 20.05.2016 – *c*

Согласно данным многолетних экспедиционных исследований, такие субмезо- и мелкомасштабные образования различной природы возникают и существуют у ЮБК перманентно. Средства аэрокосмического мониторинга явно и регулярно регистрируют на морской поверхности вдоль Черноморского побережья систему мелкомасштабных гидродинамических образований. Среди них особое место занимают квазистационарные образования, которые генерируются у придонного выхода канализационных коллекторов при сбросах больших объемов промышленно-сточных вод с суши. Комплексное изучение процессов генезиса, динамики, роли такого нового типа интенсивных мелкомасштабных образований и их проявлений на морской поверхности в виде приповерхностных плюмов (линз инородных вод) является актуальной задачей в связи с интенсивным ростом антропогенных нагрузок при ограниченной ассимиляционной емкости морских прибрежных экосистем. Приори-

тетные натурные исследования динамики таких вод при мониторинге антропогенных воздействий на прибрежные акватории ранее были выполнены отечественными учеными, результаты исследований опубликованы в [15] и в последующих оригинальных работах. В 2015–2016 гг. в рамках договора с Научно-исследовательским институтом аэрокосмического мониторинга АЭРОКОСМОС (г. Москва) МГИ выполнил цикл контактных судовых съемок для исследования мелкомасштабной динамики вод на тестовом подспутниковом полигоне у Гераклеийского п-ова (м. Херсонес) [7]. Измерения выполнены в дальней зоне, возле штатного придонного сброса сточных вод очистных сооружений южной части Севастополя (п. 2–7), а также в ближней прибрежной зоне, около участка аварийного прорыва донного канализационного коллектора (п. 8–22) (рис. 3). По данным зондирований на дрейфовых станциях мелкомасштабного полигона, выполненных с шагом 0,5 км, определены фоновые гидрофизические характеристики исследуемой акватории. Непрерывные рекогносцировочные КГПИ-съемки обеспечили эффективный поиск, обнаружение и детальное исследование пространственных размеров и динамики вод внутри интенсивных мелкомасштабных образований факельного типа на фоне крупномасштабной изменчивости. Для повышения точности определения координат исследуемых образований КГПИ-съемки выполнялись в дрейфе с учетом суммарного влияния приповерхностных течений и приводного ветра на перемещение судна. В дальней зоне полигона глубина места штатного придонного сброса сточных вод (п. 7 на рис. 3, *a*) составляла 88 м на удалении около 3,5 км от берега. Проявления приповерхностного плюма сбросовых вод в этой зоне зарегистрированы 21.05.2016 г. в полях температуры (рис. 3, *b*) и солености, в распределениях рН, КРК и мутности вод. Этот плюм с пространственными размерами в пределах 0,45–1,1 км выявлен на удалении около 600 м в северо-западном направлении по течению от места штатного придонного сброса промышленно-сточных вод. В ближней зоне полигона из-за дефекта канализационного коллектора при заглублении 30 м и удалении около 0,7 км от берега периодически возникали интенсивные факелы сбросовых вод от дна к поверхности. Проявления приповерхностного плюма пространственным размером около 0,55 км в ближней зоне зарегистрированы 20.05.2016 г. в полях мутности (рис. 3, *c*), а также в полях температуры, солености и КРК. По данным КГПИ-съемки от 12 и 13 сентября 2016 г., в том же месте непосредственно в момент очередного канализационного сброса в пространственных распределениях характеристик вод выявлен наиболее интенсивный приповерхностный плюм протяженностью 2,7–3,3 км. Плюм визуально проявлялся на поверхности моря, распространяясь в направлении прибрежного течения [16]. Аварийный прорыв заглубленных стоков в ближней зоне приводит к загрязнению и эвтрофикации вод прибрежного экотона моря у Гераклеийского п-ова, нарушению баланса экосистем шельфа ЮБК и существенным потерям рекреационного потенциала морских природных ресурсов в регионе Севастополя. Результаты исследования мелкомасштабной динамики прибрежных вод имеют принципиально важное значение для проектирования и ремонта очистных сооружений южной части Севастополя, включая канализационный коллектор с заглубленным выпуском промышленно-сточных вод в прибрежном экотоне моря у Гераклеийского п-ова.

Заключение

Практические результаты, полученные в 2015–2017 гг. при натуральных исследованиях оптико-гидролого-гидрохимических полей приповерхностных вод судовым комплексом гидрофизических попутных измерений, демонстрируют высокую информативность измерений и эффективность, в том числе при использовании КГПИ в неблагоприятных погодных условиях. Комплекс является уникальным и надежным инструментом для оперативного получения научных знаний о разномасштабных гидродинамических процессах в прибрежной зоне. Такие знания необходимы для развития подходов к рациональному использованию ресурсного потенциала морских акваторий у побережья Крыма и Севастополя.

В последние годы у берегов Крыма выявлены и ликвидированы вызванные авариями, катастрофами и стихийными бедствиями десятки очагов возникновения экстремально высокого уровня локальных загрязнений прибрежных вод Черного моря. При этом формируется прикладная задача минимизации наиболее вероятных рисков для акваторий активного освоения морских ресурсов и сброса промышленно-сточных вод с целью предупреждения возможных природных и техногенных катастроф с возникновением зон кризисных экологических ситуаций. Решению этой задачи способствует разработка и использование элементов перспективной технологии инструментального кризисного мониторинга в приморских ландшафтах шельфа, реализуемой в Морском гидрофизическом институте РАН [17]. Создание специализированных измерительных гидрофизических комплексов позволяет оперативно находить интенсивные природные и антропогенные образования и детализировать их характеристики контактными методами. К таким уникальным отечественным разработкам относится судовой комплекс гидрофизических попутных измерений для мониторинга динамики полей приповерхностных вод Черного моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блатов А. С., Иванов В. А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере Южного берега Крыма). Киев : Наукова думка, 1992. 242 с.
2. Ivanov V. A., Belokopytov V. N. Oceanography of the Black Sea. Sevastopol : ECOSY-Gidrofizika, 2013. 210 p.
3. О влиянии изменчивости течения в глубоководной зоне Черного моря на динамику вод узкого северокавказского шельфа / А. Г. Зацепин [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 3. С. 16–25.
4. Кузнецов А. С., Иванов В. А., Зима В. В. Особенности мезомасштабной динамики вод у южного побережья Крыма в 2008–2016 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2017. Вып. 1. С. 32–39.
5. Ivanov V. A. Spatial and Temporal Variability and Monitoring of Hydrophysical Fields of the Black Sea // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2014. Vol. 50, no 1. P. 26–34. doi:10.1134/S000143381306008X
6. Мониторинг прибрежной зоны на Черноморском экспериментальном подспутниковом полигоне / Под ред. В. А. Иванова, В. А. Дулова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 526 с.
7. Исследование мелкомасштабной динамики вод в прибрежной зоне Крыма / А. С. Кузнецов [и др.] // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: материалы международной научной конференции и молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 5–8 сентября 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 199–202.

8. Особенности сезонной и синоптической изменчивости структуры вод в зоне Основного черноморского течения в осенне-зимний период 2016 г. / Ю. В. Артамонов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 1. С. 32–43.
9. Опыт регистрации температуры и солёности поверхностного слоя океана зондом АИСТ / К. Н. Федоров [и др.] // Океанология. 1979. Т. XIX, № 1. С. 156–163.
10. Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря в сентябре 2011 г. / П. О. Завьялов [и др.] // Океанология. 2015. Т. 55, № 4. С. 514–525.
11. *Щипцов А. А., Кузнецов А. С., Станичный С. В.* Натурные исследования системы поверхностных гидрографических фронтов у пролива Дарданеллы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 1999. С. 27–46.
12. *Hydes D. J., Campbell J. M., Dunning J.* Systematic Oceanographic Data Collected by FerryBox // Sea Technology. 2004. Vol. 45, no. 2. P. 10–14.
13. FerryBox-Real-Time Monitoring of Water Quality by Ferryboats / W. Petersen [et al.] // Environmental research, engineering and management. 2005. Vol. 33, no. 3. P. 12–17.
14. *Шаповалов Ю. И.* Комплекс аппаратуры для попутных гидрофизических измерений // Мониторинг прибрежной зоны на Черноморском экспериментальном подспутниковом полигоне / Под ред. В. А. Иванова, В. А. Дулова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. С. 119–127.
15. Исследования гидрофизических процессов при мониторинге антропогенных воздействий на прибрежные акватории (на примере бухты Мамала, острова Оаху, Гавайи) / В. Г. Бондур [и др.] // Океанология. 2007. Т. 47, № 6. С. 827–846.
16. *Иванов В. А., Фомин В. В.* Численное моделирование распространения заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклейского полуострова // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 6. С. 89–103.
17. Технология исследования динамики прибрежных вод как элемент кризисного мониторинга природной среды / А. С. Кузнецов [и др.] // Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук (г. Ростов-на-Дону, 13–16 декабря 2017 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. С. 120–122.

Об авторах:

Кузнецов Александр Сергеевич, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **SPIN-код: 1838-7191, ORCID ID: 0000-0002-5690-5349**, kuznetsov_as@mhi-ras.ru

Шаповалов Юрий Иванович, ведущий инженер-электроник, служба экспедиционного обеспечения, лаборатория гидрофизических измерений, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), mgishap@mail.ru

Шаповалов Ростислав Олегович, ведущий инженер, служба экспедиционного обеспечения, лаборатория гидрофизических измерений, ФГБУН ФИЦ МГИ (Россия, 299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 2292-0560**, ros787@mail.ru