

А.Г.Зацепин*, А.Г.Островский*, В.И.Баранов***,
А.А.Кондрашов***, А.О.Корж***, В.В.Кременецкий*,
А.А.Кубряков****, С.Б.Куклев**, О.Н.Куклева**,
Л.В.Москаленко**, В.Т.Пака***, В.Б.Пиотух*,
О.И.Подымов**, В.А.Соловьев*, Д.М.Соловьев****,
С.В.Станичный****

*ФГУБН Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г.Москва

**Южное отделение Института океанологии РАН, г.Геленджик

***Атлантическое отделение Института океанологии РАН, г.Калининград

****Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ РАН В ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

Представлены предварительные результаты и планы работ по развитию подспутникового гидрофизического полигона на шельфе и континентальном склоне Черного моря в районе г. Геленджик, предназначенного для непрерывного автоматизированного мониторинга состояния водной среды. Размещаемые на полигоне измерительные системы – донные акустические профилографы (ADCP), автоматические зонды-профилографы «Аквалог» и термокосы на заякоренных буйковых станциях должны обеспечить регулярное получение гидрофизических и биооптических данных (вертикальные профили температуры, солёности, плотности, скорости течений, акустического рассеяния, прозрачности воды, концентрации хлорофилла-а и т.д.) и их оперативную передачу в береговой центр. Получаемые натурные данные будут использованы для исследования механизмов формирования и изменчивости параметров морской среды и биоты, водообменных процессов в системах шельф-глубоководная зона, океан-атмосфера и других. Они востребованы для калибровки спутниковых измерений, верификации результатов численного моделирования циркуляции вод, для контроля экологического состояния морской среды и его изменений под влиянием антропогенных и природных факторов, включая климатические тренды, а также в целях анализа и прогноза опасных природных явлений. Развиваемые методы и средства подспутникового мониторинга водной среды могут быть в перспективе использованы в других секторах Черного моря с целью создания комплексной системы мониторинга его шельфово-склоновой зоны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, подспутниковый гидрофизический полигон, мониторинг водной среды, предварительные результаты.*

Изучение пространственно-временной изменчивости гидрофизической структуры и динамики вод в области континентального склона Черного моря является одной из важных научных задач, непосредственно касающихся экологии региона, представляющего большое рекреационное и хозяйственное значение. По существующим представлениям эта изменчивость на мас-

© А.Г.Зацепин, А.Г.Островский, В.И.Баранов, А.А.Кондрашов,
А.О.Корж, В.В.Кременецкий, А.А.Кубряков, С.Б.Куклев,
О.Н.Куклева, Л.В.Москаленко, В.Т.Пака, В.Б.Пиотух,
О.И.Подымов, В.А.Соловьев, Д.М.Соловьев, С.В.Станичный, 2013

штабах $\sim 1 - 10^2$ км и $\sim 1 - 10^2$ ч имеет тесную взаимосвязь с обменными процессами в системе шельф – глубокое море, которые ответственны за состояние и обновление вод шельфа и их очищение от загрязнений. Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения адекватных оценок состояния, устойчивости и прогноза развития прибрежно-шельфовой экосистемы и ее способностей к восстановлению при увеличивающихся антропогенных нагрузках.

Оценка текущего и прогнозируемого состояния параметров морской среды может осуществляться на основе системы комплексного оперативного мониторинга прибрежной и шельфово-склоновой зон, реализация которой является важной задачей современной региональной океанологии. В настоящее время такая система только формируется в черноморском бассейне. Наблюдательная компонента этой системы, в создании и поддержании которой участвуют все причерноморские страны, включает измерения со стационарных и дрейфующих платформ и буев, данные измерений с научно-исследовательских судов, а также данные регулярного спутникового мониторинга в различных диапазонах длин волн.

Развертывание на шельфе и континентальном склоне Черного моря в районе г. Геленджик сети стационарных средств автоматизированного измерения основных параметров морской среды в сочетании с проведением регулярных судовых наблюдений, получением и анализом спутниковой информации и региональных метеоданных – является вкладом Института океанологии РАН в развитие международной наблюдательной системы оперативного мониторинга Черного моря.

В настоящее время на полигоне на различном удалении от берега установлен целый ряд стационарных измерительных комплексов, с помощью которых проводятся долговременные автоматизированные измерения вертикальных профилей следующих параметров – температуры, солености, плотности воды, векторов скорости течения, сигнала обратного акустического рассеяния, опционально – прозрачности воды и содержания растворенного кислорода.

Измерения вертикальных профилей скорости течения и уровня сигнала обратного акустического рассеяния проводятся с помощью стационарных донных акустических доплеровских профилографов течений (*ADCP*). В настоящее время измерения проводятся с помощью 3-х донных *ADCP*, два из которых работают в автономном режиме и расположены на траверзе Толстого мыса на расстояниях 0,6 и 3 миль от берега (глубина установки 25 и 85 м) соответственно. Третий прибор установлен на траверзе Голубой бухты на расстоянии 0,5 миль от берега (глубина 22 м), его питание и съем информации осуществляется по подводному кабелю. Измерения горизонтальных составляющих скорости течения донными станциями *ADCP* выполняются с точностью 2 – 3 см/с с вертикальным разрешением 0,5 – 1,5 м, интервалы времени между циклами измерения для автономных станций *ADCP* 10 мин, для *ADCP* в районе Голубой бухты – 0,5 мин. Через каждый час в течение 10 – 20 мин осуществляется регистрация данных с частотой 1 – 2 Гц для оценки параметров поверхностного волнения. В настоящее время используются следующие приборы: *ADCP Nortek AWAC Continental 1000* кГц,

Sontek ADP 250 кГц, *ADCP RDI WH Sentinel 600* кГц. Некоторые результаты измерений с помощью автономной донной станции *ADCP* в 2010 – 2011 гг. представлены в [1].

Для повышения информативности измерений в непосредственной близости от донных станций *ADCP* установлены 3 стационарных измерителей профилей температуры – заякоренные термокосы, разработанные в АО ИО РАН. Термокосы включают в себя набор распределенных по вертикальному кабель-тросу датчиков температуры, контрольные датчики давления, контроллер с блоком хранения и передачи информации, притопленную плавучесть ($H \sim 5$ м), придонный акустический размыкатель, донный груз. Измерения температуры проводятся с точностью $0,01$ $^{\circ}\text{C}$, с вертикальным разрешением $0,8 - 2,0$ м (в зависимости от глубин установки), с интервалом $0,5$ мин между измерениями.

В дополнение к перечисленным измерителям профилей течений и температуры на расстоянии 4-х миль от берега (глубина 265 м) на траверзе Толстого мыса установлен заякоренный автономный сканирующий зонд-профилограф "Аквалог-4", также разработанный в ИО РАН [2, 3]. Данная подвижная платформа 4 раза в сутки проводит измерение профилей параметров водной среды на глубинах от 20 до 220 м, выполняя высокоточные измерения температуры, солености, плотности и горизонтальных составляющих скорости течения с вертикальным разрешением $1 - 2$ м. В качестве датчиков используются СТД-зонд *Idronaut-316* и акустический профилограф *Aquadop*. Регулярные измерения вертикальных профилей гидрологических параметров вблизи границы шельфа обеспечивают получение объективной картины состояния и изменчивости параметров деятельного слоя в присклоновой зоне моря.

Такое расположение измерительных станций позволит исследовать трансформацию гидрологической структуры на разном расстоянии от берега (от внутреннего шельфа до верхней части континентального склона) в двух точках, приблизительно на одной глубине, разнесенных на 4 мили вдоль линии берега. Комплексный анализ получаемых гидрофизических данных в совокупности с метеоданными позволит исследовать пространственно-временные характеристики прибрежной динамики, в частности, апвеллинги и даунвеллинги, длинноволновые явления, влияние ветрового воздействия на течения и гидрологическую структуру прибрежной зоны.

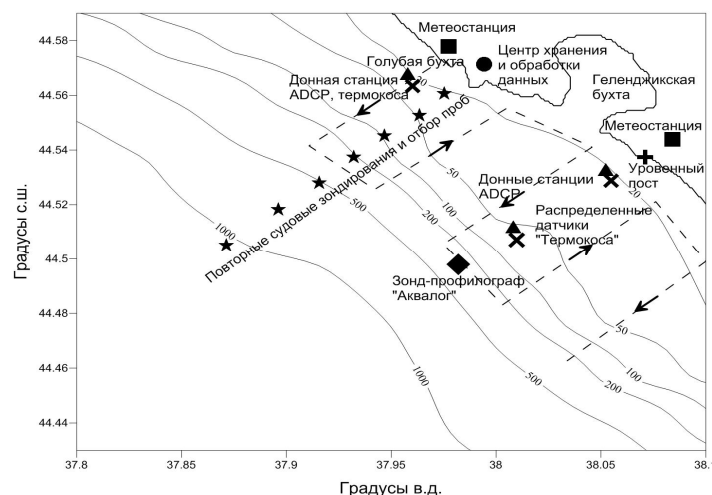
Наряду с использованием сети стационарных средств измерения основных параметров морской среды осуществляется проведение регулярных (с апреля по ноябрь) судовых разрезов в области шельфа и континентального склона с борта БПМ-74 «Ашамба», с выполнением СТД-зондирований по заданной сетке гидрофизических станций, а также пространственные съемки поля скорости течений с помощью буксируемого зонда *ADCP*. Гидрологические съемки проводятся на перпендикулярных берегу разрезах и гидрологических станциях над шельфом и верхней частью континентального склона с помощью СТД-зондов *SBE 19 plus* и *Idronaut 316*. Измерения скорости течений проводятся с помощью буксируемого в специальной гондоле *ADCP RDI WH Mariner 300* кГц, обеспечивающего измерение вертикальных профилей течений в шельфовой зоне на глубинах до 250 м.

Для интерпретации данных гидрофизических измерений, выполняемых на полигоне, осуществляется получение (в сотрудничестве с МГИ НАН Украины) и анализ текущей спутниковой информации по акватории Черного моря в инфракрасном и видимом диапазонах спектра (температура и цветность морской воды), а также данных спутниковых альтиметров с построением полей приповерхностных геострофических течений. Используются серии последовательных спутниковых изображений полей температуры морской поверхности (ТМП), получаемых ИК-сканерами серии AVHRR (NASA, разрешение ~ 1 км), данные спектральных съемок спектрорадиометров MODIS (ESA, разрешение 0,25 – 1 км), альтиметрические данные ИСЗ Jason-2 (ESA) и других доступных спутниковых данных (Landsat-5,7, MetOp и др.).

Текущее расположение стационарных измерительных комплексов гидрофизического полигона ИО РАН представлено на рис.1. На схеме также приведены трассы судовых разрезов, периодически выполняемых с борта БПМ «Ашамба». Пространственная изменчивость гидрофизической структуры вод наиболее ярко выражена в поперечном направлении, поэтому основные измерительные системы размещены на перпендикулярном берегу разреза, расположенном на траверзе Толстого мыса вблизи входа в Геленджикскую бухту, на котором также расположена стационарная метеостанция и уровнемерный пост.

На траверзе Голубой бухты, примерно в 4 милях от Толстого мыса, размещены донная станция ADCP и термокоса, которые связаны с береговым центром обработки данных кабельной линией, что обеспечивают поступление измерительной информации в реальном времени.

Данные проводимых на полигоне измерений поступают в береговой центр с различной периодичностью – данные донного ADCP и термокосы, расположенных на траверзе Голубой бухты, поступают по донному кабелю

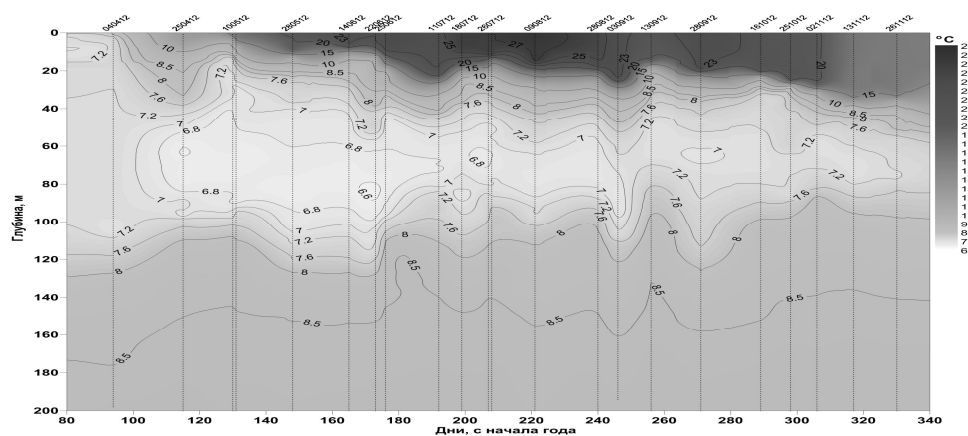


Р и с . 1 . Схема экспериментального гидрофизического полигона. Звездочками обозначены станции судовых СТД-зондирований. Пунктирной линией обозначены галсы судна при проведении измерений поля скорости течения с помощью буксируемого ADCP.

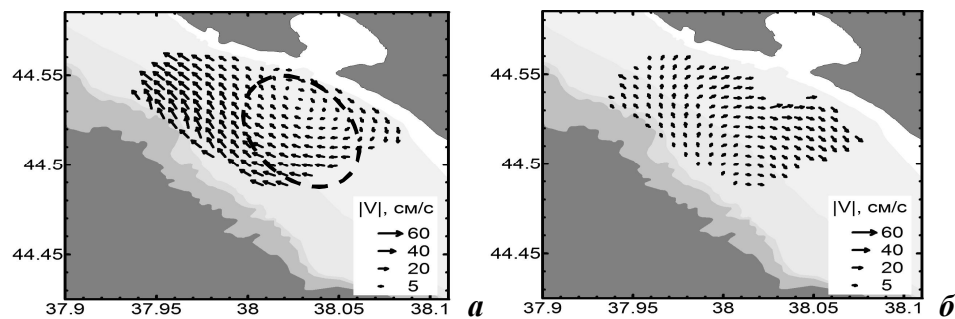
в реальном времени. Информация, с других донных станций *ADCP* и термокос, а также с зонда-профилографа «Аквалог» в настоящее время доставляется на съемных носителях через каждые 3 – 6 месяцев. Данные STD-зондирований и буксируемого *ADCP* поступают в результате судовых рейсов БПМ «Ашамба» в период с апреля по ноябрь с примерной периодичностью 1 раз в 2 недели.

Частные примеры результатов, полученных при проведении натурных измерений, приведены ниже – долговременная временная изменчивость профилей температуры в фиксированной точке шельфово-склоновой зоны в период с апреля по ноябрь (рис.2), а также поле скоростей приповерхностных течений, построенное по данным буксируемого *ADCP* (рис.3).

Дальнейшая комплексная обработка массивов измерительной информации, поступающих и накапливаемых в береговом центре ЮО ИО РАН, в том числе совместный анализ данных, поступающих от различных измерительных средств, является актуальной и непростой задачей, которая будет решаться на последующих этапах работы.



Р и с . 2 . Временная изменчивость вертикального распределения температуры верхнем 200-м слое в период с апреля по ноябрь 2012 г. в точке зондирования с глубиной места 500 м (данные БПМ «Ашамба»).



Р и с . 3 . Поле горизонтальных скоростей течения, построенное по измерениям буксируемого *ADCP* 24 июня 2012 г., осредненное по слою выше (а) и ниже (б) слоя скачка температуры ($H \sim 20$ м). Пунктирный овал – шельфовый антициклон.

Работа выполнялась в рамках Госконтракта № 11.519.11.5020 «Черноморский экспериментальный подспутниковый полигон в целях мониторинга состояния и исследования прибрежной экосистемы» с Минобрнауки России (2011-2013 гг.), Программы 23 РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология», Программы сотрудничества РАН – НАН Украины «Черное море как имитационная модель океана» и грантов РФФИ №11-05-00830, 13-05-92608, 13-05-00777.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зацепин А.Г., Пиотух В.Б., Корж А.О., Куклева О.Н., Соловьев Д.М.* Изменчивость поля течений в прибрежной зоне черного моря по измерениям донной станции ADCP // *Океанология.*– 2012.– т.52, № 5.– С.629-642.
2. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.* Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // *Океанология.*– 2013.– т.53, № 2.
3. *Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G.* Short-term hydrophysical and biological variability over the north-eastern Black Sea continental slope as inferred from multiparametric tethered profiler surveys // *Ocean Dynamics.*– 2011.– v.61.– P.797-806.

Материал поступил в редакцию 15.08.2013 г.

АНОТАЦІЯ Представлені попередні результати та плани робіт по створенню і розвитку підспутникового гідрофізичного полігону на шельфі і континентальному схилі Чорного моря в районі м.Геленджик, призначеного для безперервного автоматизованого моніторингу стану водного середовища. Розміщуються на полігоні вимірювальні системи – донні акустичні профілографи (ADCP), автоматичні зонди-профілографи «Аквалог» і термокоси на заякорених валерів станціях повинні забезпечити регулярне отримання гідрофізичних і біооптичних даних (вертикальні профілі температури, солоності, щільності, швидкості течій, акустичного розсіювання, прозорості води, концентрації хлорофілу-а і т.д.) і їх оперативну передачу в береговій центр. Отримувані натурні дані будуть використані для дослідження механізмів формування та мінливості параметрів морського середовища і біоти, водообміні процесів в системах шельф – глибоководна зона, океан – атмосфера та інших. Вони затребувані для калібрації супутникових вимірювань, верифікації результатів чисельного моделювання циркуляції вод, для контролю екологічного стану морського середовища та його змін під впливом антропогенних і природних чинників, включаючи кліматичні тренди, а також з метою аналізу і прогнозу небезпечних природних явищ. Розвиваються методи і засоби підспутникового моніторингу водного середовища можуть бути в перспективі використані в інших секторах Чорного моря з метою створення комплексної системи моніторингу його шельфових-схилової зони.

ABSTRACT First results and plans for the development of the hydrophysical testing area at shelf-slope zone of the Black Sea near Gelendzhik, are presented. This testing area, designed in 2012 – 2013, is used for permanent and automatic monitoring of the aquatic environment with the help of autonomous measuring stations. Three types of stations are exploited: acoustic Doppler velocity profiler (ADCP) at the bottom station; robotic profiler "Akvalog" at the moored buoy line; thermochain at the mooring line. The long rows of hydrophysical and bio-optical data (vertical profiles of temperature, salinity, density, current velocity, acoustic backscatter, water transparency, chlorophyll_a fluorescence, etc.) are obtained. These data valuable for studies of the variability of vertical distribution of key parameters for marine environment and biota, exchange processes in the "shelf-deep basin" system, ocean-atmosphere interactions, climate change. The data seems to be useful for validation of satellite measurements, verification of the results of numerical modeling of the Black Sea circulation, ecology monitoring, etc. The developed methods and technical facilities can be used to explore other areas of the shelf-slope zone of the Black Sea.