

УДК 551.465 (262.5)

С.А. Мысленков¹, А.Г. Зацепин², К.П. Сильвестрова³, В.И. Баранов⁴**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ И БУКСИРУЕМОГО ПРОФИЛОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ⁵**

Приводятся результаты апробации системы мониторинга поверхностных течений, основанной на отслеживании траекторий дрейфующих буюв, оснащенных GPS-приемником и GSM-связью. Основное достоинство разработанной системы — низкая стоимость оборудования и высокая пространственно-временная детализация данных о течениях. Благодаря использованию GSM-связи за движением дрейфующих буюв можно наблюдать в режиме реального времени.

Исследованы поверхностные течения на шельфе Черного моря в районе г. Геленджик. Используются данные о поверхностных течениях, полученные при помощи дрейфующих буюв и буксируемого профилографа течений. Приводятся данные трех экспериментальных запусков дрейфующих буюв и результаты сравнения траекторий их движения с полем скорости, полученным по профилографу. Продолжительность экспериментов составляла от нескольких часов до 2 сут. Для каждого эксперимента приводится информация о скорости и направлении ветра во время эксперимента. Выявлено наличие параллельно-струйных течений в районе исследования — буюв, выпущенные на расстоянии 30—40 м, двигались практически параллельно на протяжении 5—10 ч.

В одном эксперименте наблюдался диполь, характерный для субмезомасштабной вихревой динамики в рассматриваемом районе. Этот диполь, вероятно, возник в результате диссипации энергии и разрушения наблюдаемой в начале эксперимента вихревой структуры. Поле течений в ходе этого эксперимента не было связано с полем ветра. Однако в другом эксперименте направление течения в поверхностном слое вод совпадало с ветром, что позволяет сделать вывод только о периодическом влиянии вихрей на динамику вод. Показано, что поверхностные течения, полученные по данным профилографа течений, в целом совпадают с данными дрейфующих буюв, однако применение разных методов позволяет по-разному интерпретировать полученные картины циркуляции.

Данные экспериментов показали, что разработанная система наблюдения за течениями действенна, с помощью нее можно изучать структуру течений на шельфе. В будущем планируются более масштабные и продолжительные эксперименты.

Ключевые слова: дрейфующий буй, дрейфтер, буксируемый профилограф течений, шельф, морские течения, Черное море.

Введение. Шельфовые зоны океанов и морей отличаются чрезвычайной сложностью и многообразием морских природных условий, которые испытывают интенсивную пространственно-временную изменчивость в широком диапазоне масштабов. Морские течения на шельфе — одно из наиболее сложных и динамичных явлений. На шельфе северо-восточной части Черного моря ведется активная хозяйственная деятельность, связанная прежде всего с разведкой новых нефтегазоносных месторождений, транспортировкой нефтепродуктов и рекреацией, что в свою очередь вызывает высокую антропогенную нагрузку на морские шельфовые экосистемы. Согласно планам Правительства РФ на активную разработку месторождений углеводородов в шельфовой зоне арктических и

южных морей, на шельфе Черного моря ожидается бурное развитие строительства и хозяйственной деятельности. Следовательно, возрастет потребность в качественных инструментальных данных о течениях на шельфе, результатах моделирования течений и разливов нефти, поскольку информация о морских течениях чрезвычайно важна для инженерных расчетов, обеспечивающих строительство гидротехнических сооружений. Кроме того, течения — один из основных параметров при проведении экологического мониторинга состояния водной среды.

В этом аспекте очень актуальны исследования течений на шельфе Черного моря, так как информация о них используется для инженерных расчетов, обеспечивающих разработку нефтегазовых месторож-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; e-mail: stasocan@gmail.com

² ФГУБН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, заведующий лабораторией, докт. физ.-мат. н.; e-mail: zatsepin@ocean.ru

³ ФГУБН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, мл. науч. с.; e-mail: ksenia.ocean@yandex.ru

⁴ Атлантическое отделение Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН, гл. спец.; e-mail: baranovvlad@mail.ru

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 13-05-90438, 13-05-41450, 14-05-00159), в рамках договора № 11.Г34.31.0007, гранта Президента РФ МК-793.2013.5, договора №10/2013/РГО-РФФИ, соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ, Программы 23 РАН, проекта РНФ 14-17-00382.

дений и исследований, связанных с изучением сопутствующих этой деятельности загрязнений морской среды.

Постановка проблемы. Объект исследования — течения в поверхностном слое толщиной 1 м. Временной масштаб изменчивости исследуемых процессов начинается от 15 мин., а горизонтальный — 100 м, что обусловлено используемыми приборами и характером течений в исследуемом районе.

Побережье на северо-востоке Черного моря характеризуется узким шельфом (2—10 км), здесь нередко наблюдаются вихревые образования с горизонтальным масштабом 2—5 км. Динамика движения вод в этом районе Черного моря описана в работах [3—5].

В работах по численному моделированию циркуляции в Черном море, например в [16, 17], как правило, рассматривается все Черное море и исследуется сезонная и межгодовая динамика основного черноморского течения либо крупных вихревых образований. Одна из основных проблем в развитии этих исследований заключается в том, что качество большинства моделей не оценивается на основании инструментальных данных, либо это лишь косвенные оценки. Кроме того, модели созданы для большого пространственно-временного масштаба, что не дает представления о течениях с характерным масштабом нескольких сотен метров.

В последние годы широкое распространение получило изучение циркуляции вод по данным спутниковой альтиметрии. Применение спутниковых изображений для восстановления полей течений в Черном море описано в работах [16, 17], в них исследована главным образом динамика Основного черноморского течения. Это перспективное направление развивается очень быстро, однако пока эти данные имеют грубое пространственное и временное разрешение для исследования прибрежных течений. К тому же очень остро стоит проблема сравнения спутниковых данных с качественной подспутниковой информацией, которая чаще всего отсутствует.

Среди натурных (экспериментальных) исследований течений в северо-восточной части Черного моря можно отметить 5-летние наблюдения на заякоренной станции вблизи Геленджика [13], а также многократные судовые съемки гидрофизических условий у российского берега Черного моря в 1990—2000-х гг. [7—9, 15]. Но практически во всех перечисленных работах исследованы прибрежные антициклонические круговороты (вихри), измерения проводились точно и на достаточно большом расстоянии. По данным последних исследований, течения на шельфе характеризуются собственными модами изменчивости (например, субмезомасштабными вихрями [6]), а также сильно зависят от ветрового воздействия (прибрежного ветрового апвеллинга) и речного стока.

Первые комплексные дрейферные эксперименты в Черном море проводили с использованием буев “ЛОБАН”, данных съемок акватории Черного моря

в инфракрасном (ИК) диапазоне со спутников NOAA, а также материалов полигонных измерений с научно-исследовательских судов летом в 1987 и 1988 гг. Цель этих экспериментов состояла в исследовании поля скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) в западной части моря. Всего за 10 лет (1987—1997) в Черном море выполнено пять дрейферных экспериментов с использованием 14 дрейфующих буйев типа “ЛОБАН” [11].

В 1999 г. начались исследования Черного моря при помощи лагранжевых SVP- и SVPH-дрейферов, соответствующих международным стандартам, для изучения циркуляции вод в верхнем слое моря. Работы осуществлялись в рамках экспериментов для развития черноморского сегмента GOOS (Global Ocean Observing System). Описание изменчивости поля течений, полученных в ходе дрейферных экспериментов в период с 1999 по 2004 г., представлено в работе [2]. Траектории перемещения дрейферов подтвердили наличие интенсивных мезомасштабных вихрей (преимущественно антициклонических) как в прибрежной, так и в центральной части Черного моря. В некоторых из таких вихрей дрейферы вращались весьма продолжительное время (1,5—2,5 мес.) и показали очень высокую скорость (0,6—0,8 м/с в Батумском антициклоне). Однако из-за высокой стоимости и масштабности проектов по запуску дрейферов детальная информация о прибрежных течениях не была получена.

В 2009 г. в рамках проекта “Iridium” (<http://www.jcommops.org/dbcp/iridium-pp/>) выполнено несколько широкомасштабных экспериментов в Черном море с термопрофилирующими дрейферами “Iridium SVP”. Эксперимент выполнен при сотрудничестве Морского гидрофизического института (Украинская академия наук, до марта 2014 г.), украинской научно-производственной фирмы “Марлин-Юг” и Национальной метеорологической службы Франции (Meteo-France). Этот эксперимент также был направлен на исследование динамики ОЧТ. Более подробно история и развитие применения дрейферных технологий в Черном море и Мировом океане изложены в работе [11].

Пробный запуск дрейфующих буйев в Голубой бухте (Черное море) выполнен сотрудниками кафедры океанологии МГУ имени М.В. Ломоносова летом 2005 г. Слежение за дрейферами осуществлялось при помощи электронного тахеометра, поэтому эксперимент проходил только в пределах бухты [1].

Таким образом, результаты перечисленных и других исследований, отражающие современные представления о динамике вод в прибрежной зоне Черного моря, дают весьма ограниченное представление о структуре поверхностных течений на шельфе северо-восточной части Черного моря, особенно в пространственно-временном масштабе нескольких сотен метров и нескольких часов. Большинство исследований, базирующихся на натурных данных, математическом моделировании либо спутниковой информации, посвящено динамике ОЧТ или крупных вихревых образований,

нами же исследуются течения на порядок меньшего масштаба, ранее практически не описанные в научной литературе; знания о них востребованы в настоящее время в морской и прибрежной деятельности.

Также практически отсутствуют результаты сравнения данных о течениях с доплеровских измерителей течений ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) и лагранжевых измерителей. Одна из проблем используемого в нашем исследовании профилографа заключается в наличии “слепой” зоны измерений (3–4 м). В соответствии с теорией Экмана в поверхностном слое 1–4 м не предполагается сильный разворот течений, но достоверных подтверждений этого предположения нет.

Кроме того, работа была направлена на оценку применимости метода Эйлера (измерения в точке) и метода Лагранжа (отслеживание траекторий частиц) при измерении течений на шельфе.

Материалы и методы исследований. Для наблюдения за течениями применялась оригинальная технология, использующая дрейтеры с GPS-позиционированием и GSM- или GPRS-передачей данных, что позволяет получать данные о перемещении дрейфующего буя с дискретностью во времени до 1 мин. и в горизонтальном масштабе до 10 м.

Разработанный дрейфующий буй представляет собой конструкцию, состоящую из поплавка с закрепленным на нем ГНСС-приемником и GSM-модулем передачи данных, подводного паруса и груза (рис. 1). Основное требование к конструкции дрейфующих буюв для корректного измерения течений — такое соотношение надводной и подводной частей, которое позволяет минимизировать влияние ветра на движение поплавка. Для дрейфующего буя в соответствии с формулой из работы [14, с. 439] нами рассчитано предельное влияние ветра на дрейф поплавка. Эта формула учитывает скорость ветра (в нашем случае максимальная скорость ветра составляла 20 м/с), лобовое сопротивление надводной части и соотношение надводной и подводной частей. Если наблюдаемая скорость течений составляет 50–80 см/с, то влияние ветрового дрейфа не более 5%.

От высоты подводного паруса зависит толщина слоя воды, в котором измеряется течение. Используемая конструкция рассчитана на получение данных о скорости и направлении интегрального поверхностного слоя вод толщиной 1 м. Подводный парус представляет собой каркас из пластиковых труб сечением 20 мм, на каркас натянута полипропиленовая ткань. При помощи соединительного троса подводный парус можно поместить на необходимой глубине в зависимости от решаемой задачи.

Пластиковый каркас буя наполовину разборный, что позволяет при транспортировке складывать конструкцию, а перед запуском ее собирать в рабочее положение. Процесс сборки занимает не более минуты. В сложенном состоянии 5 буюв занимают объем ~1 м³. Массы груза (5 кг) достаточно, чтобы подводный па-

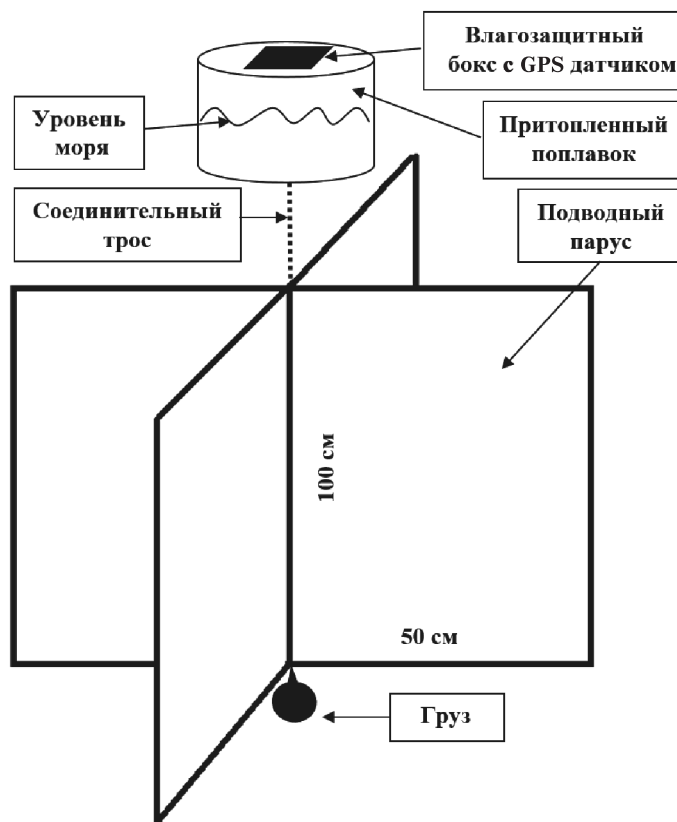


Рис. 1. Конструкция дрейтера

рус, имеющий положительную плавучесть, был полностью погружен в воду. В надводной части буя имеется петля из прочного троса для удобного извлечения устройства из воды при помощи багра после окончания эксперимента.

На надводном поплавке расположен влагозащитный бокс, в который помещен ГНСС-приемник “Proma-Sat 1000”, оснащенный модулем GSM для передачи координат.

Специальное программное обеспечение приемника позволяет осуществлять настройку параметров работы прибора для наиболее эффективного решения поставленных задач. В процессе настройки можно устанавливать непрерывный или периодический режим работы, периодичность отправки данных по GSM-или GPRS-каналу, реагирование на начало и конец движения и др. В нашем случае использовался режим постоянной отправки координат дрейфующего буя на сервер с интервалом 10 мин.

Технологическая схема работы дрейтерной системы выглядит следующим образом. В начале эксперимента буй запускают в заранее намеченных точках в море и оставляют в свободном дрейфе, ГНСС-приемники должны быть включены и запрограммированы на необходимый режим работы. Местоположение буюв определяется через заданный интервал времени (в зависимости от настроек). Полученные координаты отправляются на веб-сервер Proma-Sat (<http://map.proma-sat.ru>) через канал связи GSM/GPRS. Все приемники должны быть предварительно зарегистриро-

ваны на сервере по их индивидуальным идентификаторам. Картографическое веб-приложение позволяет в реальном времени наблюдать местоположение и путь, пройденный каждым датчиком.

Мониторинг дрейфующих буев в реальном времени позволяет полностью решить проблему их поиска после окончания эксперимента. Эта проблема всегда была актуальна, так как буй вместе с течением могут пройти большое расстояние, их поиск даже при штилевой погоде довольно сложен, потому что плавучий буй видно с борта судна на расстоянии не более 200—300 м. В нашем случае судно выходит прямо на точку последнего зафиксированного местоположения буя, что представляет несомненное преимущество. Веб-приложение можно использовать и с мобильных устройств, что существенно упрощает вылавливание буюв после окончания эксперимента.

Следует учитывать, что покрытие GSM характеризуется неравномерностью и нестабильностью во времени. Необходимо опытным путем определить зону устойчивого сигнала и через пользовательский интерфейс следить, чтобы буй не уходил из указанной зоны. Другой вариант — отправка приемником SMS-сообщения с координатами на мобильный телефон пользователя через заданный промежуток времени; если в назначенный срок датчик находится вне зоны действия сети, то команда будет выполнена сразу, как только появится сеть.

К удобствам использования картографического веб-приложения и ГНСС-мониторинга относится возможность визуального просмотра истории треков и экспорта данных треков в текстовый файл, что позволяет в дальнейшем работать с траекториями буюв в любых программах обработки данных и ГИС. Более полное техническое описание работы этой системы изложено в работе [12].

Измерения скорости течения также проводились с помощью буксируемого в специальной гондоле прибора “ADCP RDI WH Sentinel” (300 кГц), обеспечивающего измерение вертикальных профилей течения в шельфовой зоне на глубине до 250 м. ADCP работал в режиме, позволяющем вычислять реальную скорость течения во время движения судна (bottom tracking). Точность измерения горизонтальных составляющих скорости течения составляла 2—3 см/с с вертикальным разрешением 1,5—2,5 м. В нашем случае буксировка производилась на НИС “Ашамба” 5-ю галсами от берега до бровки шельфа (изобата 200 м).

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим результаты трех экспериментов, которые выполнены в районе г. Геленджик на шельфе Черного моря 20, 24 и 29 июня 2013 г.

Пробный запуск 3-х дрейфующих буюв был осуществлен 20 июня 2013 г. в районе Голубой бухты (Геленджик, Краснодарский край). На рис. 2 приведены траектории движения буюв во время эксперимента, продолжительность которого составила около 6 ч. Буй двигались в среднем со скоростью 10—15 см/с, преимущественно в юго-западном направлении.

Для анализа траекторий движения буюв привлечены данные автоматической метеостанции, расположенной на пирсе Голубой бухты на расстоянии 1—2 км от района дрейфа буюв (рис. 2). Привлечение данных этой метеостанции вызвано тем, что локальная метеорологическая обстановка может отличаться от данных сетевых метеостанций Росгидромета, ближайшие из которых находятся в 15—20 км от района запуска буюв. На рис. 2 видно, что до начала эксперимента ветер был северо-восточных румбов, а в течение эксперимента преобладал северный ветер, причем его сила уменьшилась от 6 до 2 м/с, в конце эксперимента вновь стало преобладать северо-восточное направление. Для вычисления скорости и направления ветровых (дрейфовых) течений часто применяют модель Экмана и ее улучшенные версии, согласно которым течение на поверхности отклоняется от направления ветра под углом 10—15° вправо (в Северном полушарии) [10]. Однако в нашем случае можно наблюдать полное согласие движения буюв с направлением ветра. Поскольку наблюдаемая скорость ветра не превышала 6 м/с, то полученные траектории не могли быть вызваны непосредственным влиянием ветра на буй, т.е. они отражают реальное перемещение верхнего слоя воды. Полученный результат свидетельствует о том, что в ряде случаев течение в поверхностном слое вод направлено согласно с ветром.

Дрейфующие буй были выпущены 24.06.2013 в трех точках парами на расстоянии 20—30 м (рис. 3). Расстояние между траекториями буюв, выпущенных рядом, практически не менялось на всем протяжении эксперимента. Отсюда следует важный вывод: в некоторых ситуациях в установившемся потоке движение лагранжевых частиц объемом 1 м³ (объем подводной части дрейфующего буя) выглядит параллельно-струйным. Движение же воды в Черном море, несомненно, сильнотурбулентное, однако объем запущенных частиц, с одной стороны, гасит и усредняет мелкие пульсации скорости, а с другой — так как рассматривается горизонтальный масштаб 5—10 км, то невозможно наблюдать турбулентность более высоких порядков, какова, например, нестабильность ОЧТ (масштаб >50 км). Таким образом, в масштабе 5—10 км можно наблюдать параллельно-струйное движение жидкости.

Запуск буюв сопровождался также измерением течений при помощи буксируемого акустического доплеровского профилографа. На рис. 3 представлены значения скорости течений на глубине 3,2 м (верхний горизонт измерений профилографа), полученные в ходе буксировки, а также траектории 3-х буюв и данные метеостанции на пирсе Голубой бухты. В результате совместного анализа направления течения по дрейфтерам и профилографу можно заключить, что в мористой части исследуемого района направления течений, полученные разными методами, совпадают, а ближе к берегу траектории дрейфтеров отклоняются от направления по профилографу на 40—60° вправо.

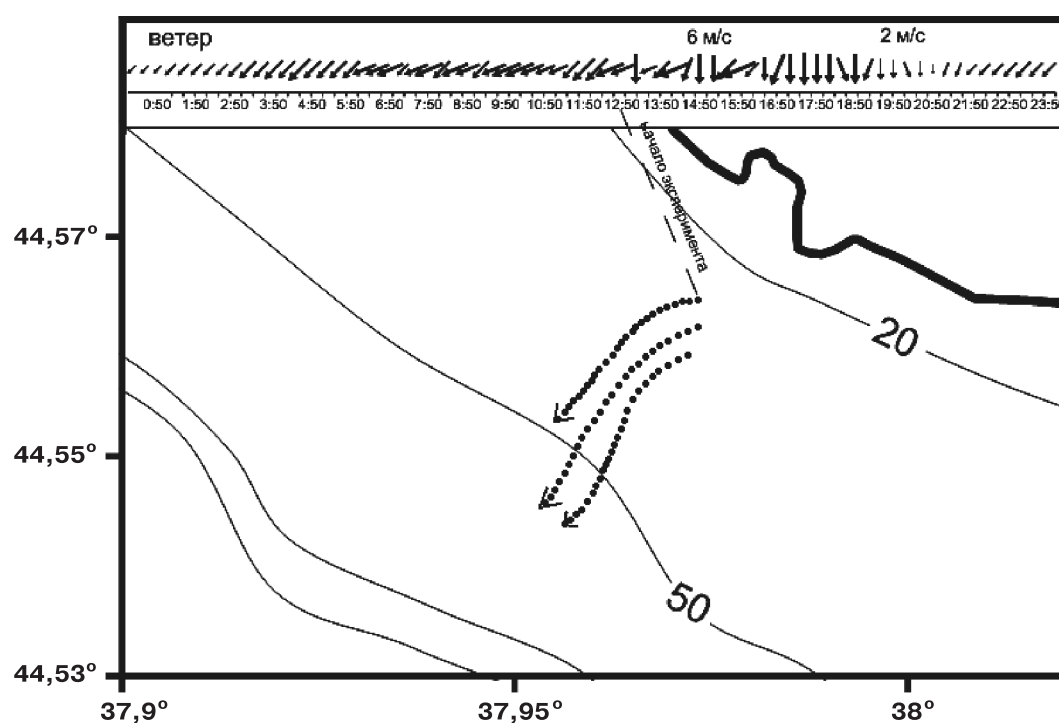


Рис. 2. Траектории движения дрейфующих буйев (пунктирные линии), скорость и направление ветра. Дрифтерный эксперимент 20 июня 2013 г.

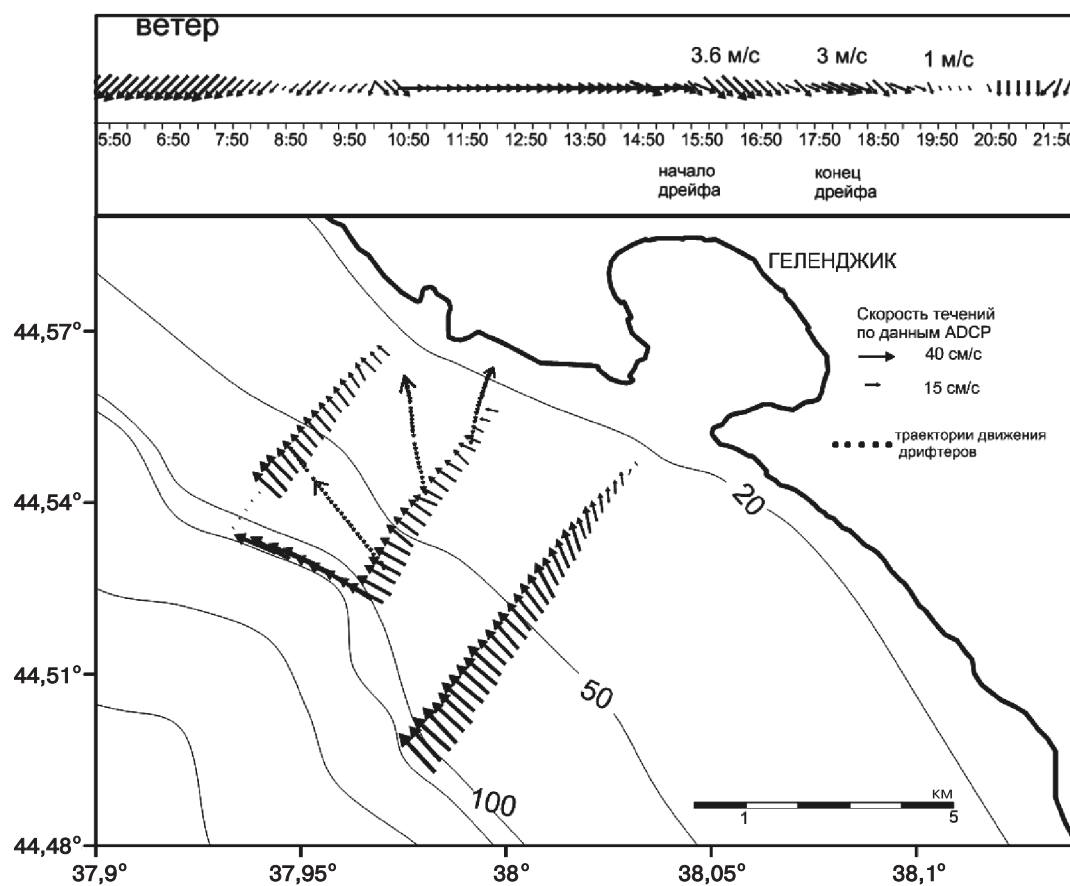


Рис. 3. Траектории дрейфа, векторы скорости по профилографу течений, скорость и направление ветра. Дрифтерный эксперимент 24 июня 2013 г.

Затухание скорости от 35–40 м/с в мористой части до 7–10 см/с наблюдается также по данным обоих методов. С направлением ветра течения практически не связаны, дрейтеры двигались почти против ветра, что связано с малой скоростью ветра и сильным влиянием фонового течения. Отметим, что не совсем корректно сравнивать скорость течений на глубине 1 и 3 м, однако, как видно на рис. 3, течения на этих горизонтах могут быть как одинаковыми, так и отличаться. Теория Экмана вновь не подтверждается, так как течения на глубине 3 м должны отклоняться вправо, а фактически наблюдается обратная картина.

Дрейфующие буи были выпущены 29.06.2013 также в 5 точках парами на расстоянии 20–30 м. Буи запускались во время буксировки профилографа течений, во время которой данные о течениях поступали в режиме реального времени на компьютер. По данным профилографа выделены контуры предполагаемого вихря, а запуск буев был осуществлен по линии, проходящей через центр этого контура.

На рис. 4 представлены траектории 5 буев и векторы течений по данным буксировки профилографа. На этом рисунке видно, что траектории движения буев совпадают с направлением течений по данным профилографа в момент запуска. В целом буи описали трансформированную дипольную вихревую структуру, которая хорошо видна на рис. 4 по данным буев. По данным профилографа удалось однозначно выделить несколько циклонических и антициклонических образований, которые вследствие диссипации энергии выродились в затухающий диполь. Поэтому можно заключить, что дипольная структура просуществовала не менее суток. В конце эксперимента скорость движения буев составляла ≤ 2 –3 см/с, течения практически отсутствовали, о чем также свидетельствовало скопление плавучего мусора. Как и в предыдущих экспериментах, вначале течения выглядели параллельно-струйными, однако к концу эксперимента эта структура нарушилась и буи разошлись на значительное расстояние.

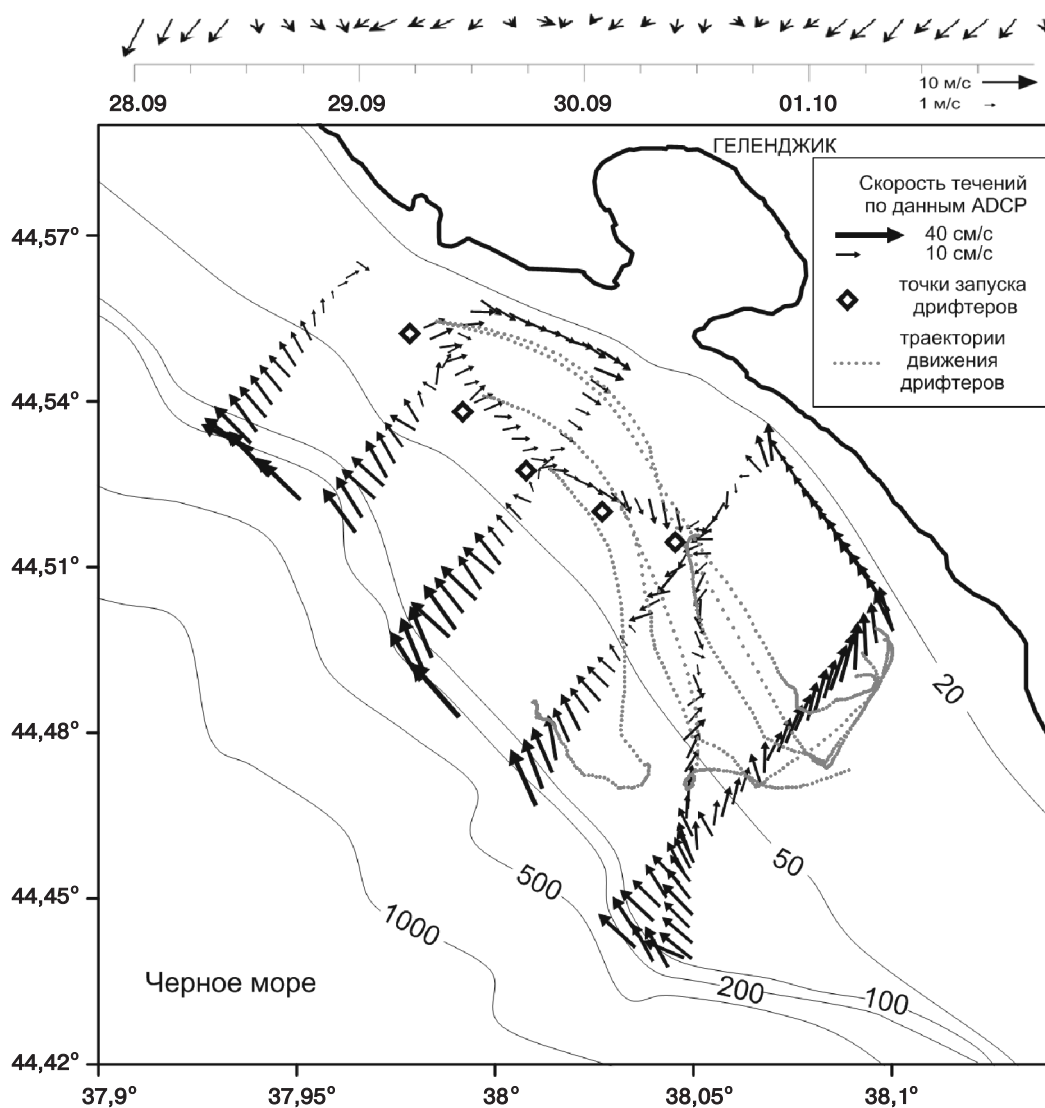


Рис. 4. Траектории дрейфа, вектора скорости по профилографу течений, скорость и направление ветра. Дрейфтерный эксперимент 29–30 сентября 2013 г.

Выводы:

— протестирована система мониторинга поверхностных течений и получены первые результаты. К достоинствам разработанной системы относятся относительно невысокая стоимость экспериментов, высокая пространственно-временная детализация получаемых данных, простота сборки и настройки дрейфующих буюв, компактный размер в сложенном виде. Удобен веб-интерфейс ГНСС-приемника “Proma-Sat”, благодаря которому можно в режиме реального времени наблюдать за положением буюв. Использование GSM для передачи координат на сервер, с одной стороны, представляет преимущество, так как этот метод намного удобнее, чем использование радиолокационных каналов связи, и дешевле, чем спутниковая связь, однако неравномерное покрытие сетями GSM в некоторых акваториях создает ограничения для ее использования;

— получены первые данные о траекториях движения дрейфующих буюв. Анализ информации показал, что течения в прибрежной зоне могут быть направлены строго по ветру в случае отсутствия фонового течения, а в случае сильной вихревой динамики течения направлены в соответствии с главным потоком, с небольшим отклонением при наличии ветра;

— успешно проведены одновременные измерения течений дрейфующими буюми и при помощи буксируемого профилографа течений. Течения, полученные разными методами, в целом совпадают по скорости и

направлению. Однако поскольку данные профилографа получены для глубины 3,5 м, а данные буювов соответствуют глубине 1 м, то и отличия в течениях, измеренных разными способами, можно объяснить изменчивостью течений в этих слоях. Это несоответствие горизонтов наблюдения будет ликвидировано в дальнейших экспериментах. Подчеркнем, что акустический доплеровский профилограф измеряет мгновенную скорость в точках, а траектории буювов — развитие процесса во времени и пространстве, поэтому в случае сильной изменчивости течений проводить сравнение результатов некорректно;

— отметим, что в ряде случаев в установившемся потоке движение лагранжовых частиц объемом 1 м^3 , выпущенных на близком расстоянии (20–30 м), параллельно-струйное. Это наблюдалось как при устойчивом ветровом дрейфе, так и при движении буювов в поле действия субмезомасштабных вихревых структур. Значительное расхождение частиц наблюдалось только при диссипации вихревых структур.

В ближайшее время планируется доработать конструкцию паруса буювов, чтобы соотношение надводной и подводной частей составляло 1:40 и соответствовало международным требованиям. Также планируется ряд экспериментов с расположением подводного паруса на разной глубине, что позволит корректнее сравнивать траектории движения буювов с данными профилографа течений, а также выявить проявление экмановского сдвига скорости по глубине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В.С., Шербак С.С. Численное моделирование циркуляции вод в Геленджикской и Голубой бухтах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. № 3 (2). С. 15–20.
2. Журбас В.М., Зацепин А.Г., Григорьева Ю.В. и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрейфтерным данным // Океанология. 2004. Т. 44, № 1. С. 34–48.
3. Зацепин А.Г., Кондрашов А.А., Корж А.О. и др. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. 2011. Т. 51, № 4. С. 592–605.
4. Зацепин А.Г., Корж А.О., Кременецкий В.В. и др. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов измерений // Океанология. 2008. Т. 48, № 4. С. 510–519.
5. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б. и др. Формирование прибрежного плотностного течения из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 176–192.
6. Зацепин А.Г., Пиотух В.Б., Корж А.О. и др. Изменчивость поля течений в прибрежной зоне Черного моря по измерениям донной станции ADCP // Океанология. 2012. Т. 52, № 5. С. 629–642.
7. Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Титов В.Б. К вопросу о режиме течений на шельфе северо-кавказского побережья Черного моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 358–363.
8. Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б. и др. Динамика вод и изменчивость температуры воды у северо-кавказского побережья Черного моря // Океанология. 1996. Т. 36, № 3. С. 355–363.
9. Кривошея В.Г., Плахин Е.А., Савин М.Т., Титов В.Б. О внутригодовой изменчивости течений на шельфе кавказского побережья Черного моря // Океанология. 1980. Т. 20, № 1. С. 34–39.
10. Лебедев В.Л. Введение в теорию морских течений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 128 с.
11. Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. Развитие дрейфтерных технологий и их внедрение в практику океанографических наблюдений в Черном море и Мировом океане // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: НПП “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2011. Вып. 24. С. 259–273.
12. Мысленков С.А., Самсонов Т.Е. Исследование течений на шельфе Черного моря с помощью ГНСС-мониторинга // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 3. С. 60–68.
13. Овчинников И.М., Титов В.Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря // Докл. АН СССР. 1990. Т. 314, № 5. С. 1236–1239.
14. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
15. Титов В.Б. Характеристики Основного черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в российском секторе Черного моря // Океанология. 2002. Т. 42, № 5. С. 668–676.

16. Korotaev G.K., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108, N 4. P. 22—31. doi: 10.1029/2002JC001508.
17. Stanev E.V., Staneva J.V. The sensitivity of the heat exchange at sea surface to meso and sub-basin scale eddies. Model

study for the Black Sea // *Dyn. Atm. and Oceans*. 2001. Vol. 33. P. 163—189.

18. Tolstosheev A.P. A method of estimation of the results of reconstruction of the trajectories of drifting buoys // *Physical Oceanography*. 2010. Vol. 19, N 6. P. 358—365.

Поступила в редакцию
04.06.2014

S.A. Myslenkov, A.G. Zatsepin, K.P. Silverstova, V.I. Baranov

COASTAL DYNAMICS OF THE BLACK SEA SHELF ZONE INVESTIGATED BY DRIFTING BUOYS AND TOWED ADCP

The sea current monitoring system consists of drifting buoys with GPS receiver and GSM connection was created. The results of testing this system are presented in this paper. One of the main advantages is high temporal and spatial scale of the data furthermore there is option of real time observation due to GSM-connection.

Surface currents of the Black sea shelf zone are studied near Gelendzhik. Data are obtained from drifting buoys and towed ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Three experimental launches of buoys and result of comparison their trajectories with velocity field from ADCP are presented. Experimental time varies from hours to 2 days. There is also information about wind velocity and direction for each experiment. Buoys launched 30—40 m one from another were moving quasi-parallel for 5—10 hours during one of the experiments. Thus parallel jet currents were identified in the studied area.

A dipole typical for sub-mesoscale eddy dynamics was observed during another day. The dipole was probably formed as a result from energy dissipation and destruction of eddy marked in the beginning of this experiment. There was no correlation between wind and currents in previous case. Third experiment shows that wind and current had the same direction. In conclusion eddies have temporary influence on coastal water dynamics. Coastal currents described by drifting buoys matches with ADCP data in general, but application of different methods leads to different interpretation of circulation.

The experimental data prove the efficiency of presented monitoring system, which allows study coastal currents. There is a future research plan for extended experiments.

Key words: drift buoy, drifter, towed current profiler, continental shelf, ocean currents, the Black Sea.