

А.П. Толстошеев

*Морской гидрофизический институт, г. Севастополь***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩИХ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ**

В работе представлены результаты дрейфтерного эксперимента с новой модификацией термопрофилирующих дрейфующих буюв, развернутых в августе 2009 г. в западной части Черного моря. Эксперимент подготовлен в Морском гидрофизическом институте НАН Украины в рамках третьей фазы международного пилотного проекта «*Iridium*». Получены долговременные, с интервалом 30 мин, ряды данных о распределении температуры в верхнем слое моря до глубины около 80 м. Данные поступали с запаздыванием не более 10 мин после выполнения измерений. Погрешность пространственной привязки результатов измерений по данным встроенных приемников системы глобального позиционирования – не хуже 100 м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *бую дрейфующий, бую термопрофилирующий, термолиния, Черное море, температура морской воды.*

Термопрофилирующие дрейфующие бую (термодрифтеры) с термолинией до глубины около 60 м были разработаны в Морском гидрофизическом институте НАН Украины (МГИ НАН Украины) в 2004 г. по проекту УНТЦ № 2241 и к настоящему времени остаются уникальным средством для получения долговременной оперативной систематической информации о пространственной (вертикальной и горизонтальной) структуре поля температуры морской воды в верхнем слое моря. Информационно-измерительные возможности термодрифтеров в сочетании с их удачной конструкцией и невысокой стоимостью определили интерес к ним со стороны исследователей разных стран. К 2009 г. была разработана новая модификация термодрифтера *SVP-BTC80 RTC/GPS* с термолинией до глубины около 80 м. Новый термодрифтер оборудован аппаратурой связи спутниковой системы *Iridium* и приемником системы глобального позиционирования *GPS*. В алгоритм работы дрейфтера были внесены изменения, позволившие, во-первых, синхронизировать измерения во времени; во-вторых, оценивать поправки на отклонения термолинии от вертикали и передавать данные о температуре каждого датчика совместно с данными о его действительном положении (глубине). Основные показатели назначения термодрифтеров *SVP-BTC80 RTC/GPS* приведены в табл. 1, в которой приняты следующие обозначения: Δ – погрешность измерения; μ – цена единицы младшего разряда выходного кода.

В 2009 г. в рамках пилотного проекта «*Iridium*» (см. сайт «*Data Buoy Cooperation Panel. Iridium Pilot Project*»: <http://www.jcommops.org/dbcp/iridium-pp/>) был подготовлен и выполнен широкомасштабный черноморский эксперимент с термодрифтерами *SVP-BTC80 RTC/GPS*. Эксперимент стал возможен благодаря тесному сотрудничеству МГИ НАН Украины (разработка дрейфтеров и планирование эксперимента), украинской научно-производственной фирмы «Марлин-Юг» (изготовление и испытание дрейфтеров), французской национальной метеорологической службы *Meteo-France* (финансовая

© А.П. Толстошеев, 2011

поддержка по оплате передачи данных через систему *Iridium*). В начале августа 2009 г. кластер из трех дрейфтеров *SVP-BTC80 RTC/GPS* *IMEI* 12630380, *IMEI* 12638390 и *IMEI* 12630410 был развернут в западной части Черного моря. В табл. 2 приведены основные сведения об эксперименте, а на рис. 1 показаны траектории дрейфов буюв.

Таблица 1. Основные показатели назначения термопрофилирующих дрейфующих буюв *SVP-BTC80 RTC/GPS* с передачей данных по каналам спутниковой связи *Iridium*

Атмосферное давление, гПа		Температура воды, °С		Номинальные горизонты измерения температуры воды в верхнем слое моря, м	Погрешность измерения координат, м	
\Delta	μ	\Delta	μ		по приемнику <i>GPS</i>	по доплеровскому методу системы <i>Iridium</i>
≤ 1,0	0,1	≤ 0,1	0,04	0,2; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80	≤ 100	по долготе: ≤ 10000 м по широте: ≤ 1000 м

Таблица 2. Основные данные о черноморском эксперименте 2009 г. с термопрофилирующими дрейфующими буюми *SVP-BTC80 RTC/GPS*

Идентификационный номер	Развертывание		Окончание работы			Время работы, сутки
	дата	координаты	дата	координаты	причина	
<i>IMEI</i> 12630380/ <i>WMO</i> 61690		43°34'29" с. ш. 31°59'26" в. д.	02.10. 2009 г.	43°17'52" с. ш. 28°09'41" в. д.	вандализм	60
<i>IMEI</i> 12630410/ <i>WMO</i> 61691	03.08. 2009	43°34'25" с. ш. 31°59'23" в. д.	23.11. 2009 г.	43°42'53" с. ш. 35°40'10" в. д.	утонул	112
<i>IMEI</i> 12638390/ <i>WMO</i> 61689		43°34'24" с. ш. 31°59'26" в. д.	13.09. 2009 г.	43°17'50" с. ш. 28°09'40" в. д.	вышел на берег	41

Дрейфтеры были развернуты с борта коммерческого судна в течение одного часа. Дистанции между точками развертывания, расположенными приблизительно на линии Севастополь-Стамбул, составляли около 200 м. До конца августа бую дрейфовали в западном направлении по схожим траекториям. В конце месяца в районе свала глубин дрейфтеры повернули на север и в условиях колебаний, близких к инерционным, их траектории начали расходиться. Последующие траектории дрейфа определялись процессами переносов вод шельфовой зоны западной части Черного моря и ОЧТ. В начале октября 2009 г. дрейфтер *IMEI* 12630380 был захвачен (вандализм) неизвестным судном и доставлен на берег в районе г. Варна (Болгария). Бую *IMEI* 12638390 достиг в середине сентября береговой линии в районе болгаро-турецкой границы и прекратил передачу данных. Бую *IMEI* 12630410 дрейфовал вдоль береговой линии на юг, а затем на восток вдоль Анатолийского побережья и прекратил передачу данных в конце ноября 2010 г. Предполагаемая причина прекращения работы – притапливание в результате обрастания подводного паруса.

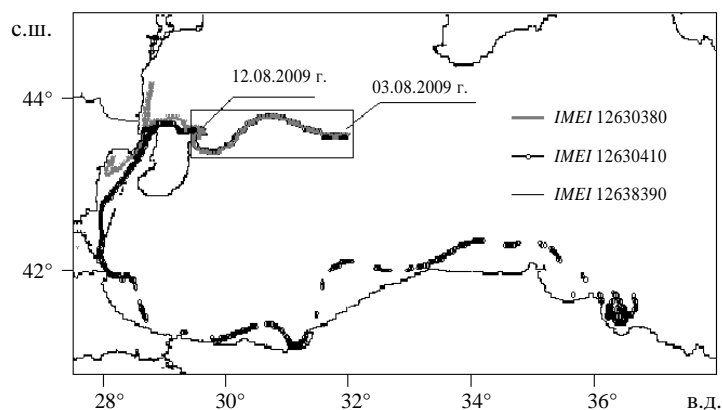


Рис. 1. Траектории дрейфов термопрофилирующих буев *SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 12630380*, *IMEI 12630410* и *IMEI 12638390* в августе – ноябре 2009 г. Прямоугольником выделены начальные участки дрейфов.

Рассмотрим некоторые результаты, полученные по данным эксперимента.

За время эксперимента с июля по ноябрь 2009 г. общее время продуктивной работы дрейфтеров составило 5 370 ч; объем переданной научной информации – 571 Кбайт при среднем уровне потерь 3 %. За время дрейфов буев получено более 9 700 профилей температуры верхнего слоя моря до глубин порядка 80 м. Измерения проводились с периодом 30 мин, а среднее время доставки сообщений пользователю не превышало 3 мин.

Один из наиболее интересных результатов наблюдений вертикальной изменчивости температуры верхнего слоя моря – ряды синхронных во времени данных о профилях температуры, полученные с дискретностью 30 мин на начальных участках дрейфов (см. рис. 1). На этих участках буи двигались по схожим траекториям, дистанции между которыми в первые десять суток дрейфа не превышали 3 000 м, что дает возможность оценить пространственную изменчивость полей температуры на разных горизонтах верхнего слоя моря.

На рис. 2, показан фрагмент данных по результатам измерений температурных профилей в верхнем слое моря вдоль траектории дрейфтера *SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 12630380* в августе-сентябре 2009 г. По совокупным вертикальным профилям температуры воды, которые показаны на рис. 3, интерполированным по глубине с шагом 5 м, были оценены средние квадратические отклонения температуры на горизонтах от 0 до 60 м. Результаты оценивания для начального участка траектории дрейфтера *SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 12630410* представлены на рис. 4. Наибольшее значение температуры в августе зафиксировано на поверхности моря и составило около 26,5 °С, а наибольшая изменчивость температуры со средним квадратическим отклонением 4,2 °С наблюдалась на глубине около 15 м.

Для участка траектории дрейфтера *IMEI 12630410* вдоль побережья Турции была характерна неустойчивая работа приемника системы глобального позиционирования *GPS*. Возможная причина этого – значительное притапливание поплавка дрейфтера из-за биологического обрастания подводных элементов конструкции в шельфовой зоне моря.

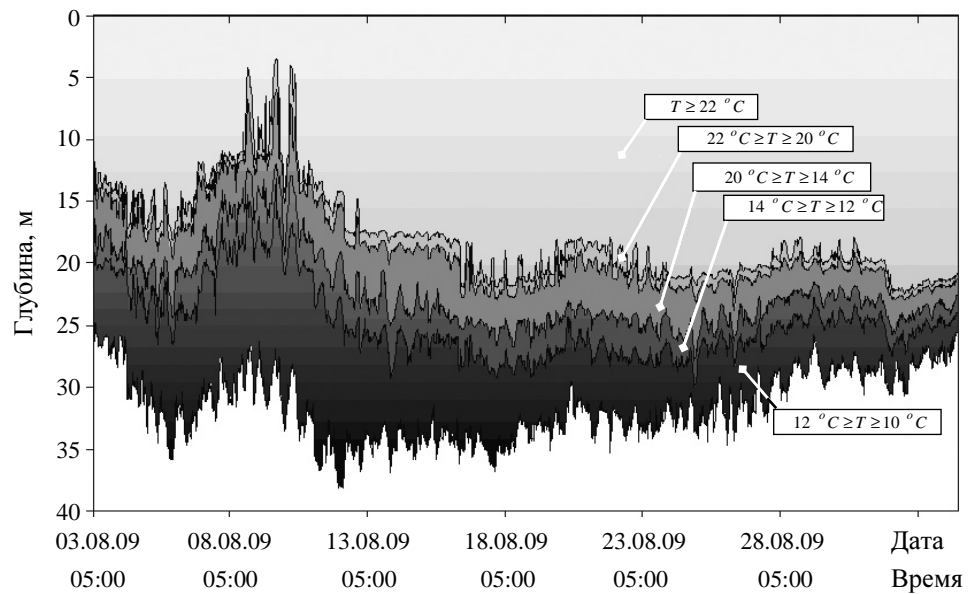


Рис. 2. Распределение температуры воды в верхнем слое моря по данным дрейфера *IMEI* 12630380 в августе-сентябре 2009 г.

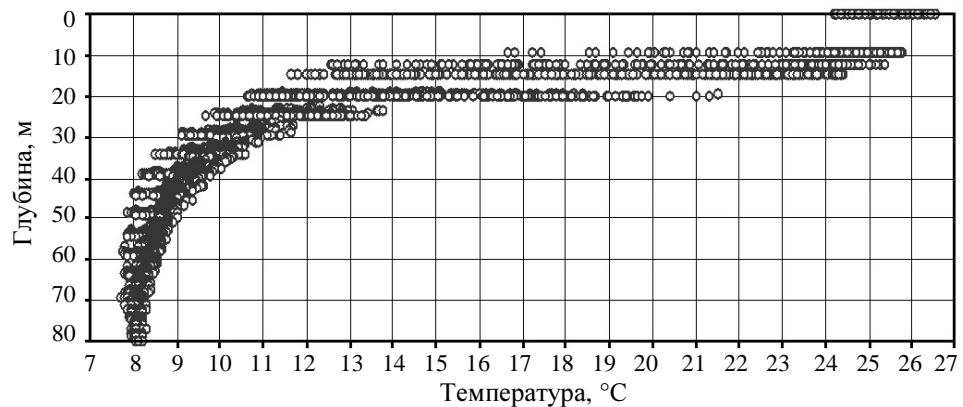


Рис. 3. Совокупность вертикальных профилей температуры воды в августе 2009 г. по данным дрейфера *IMEI* 12630410.

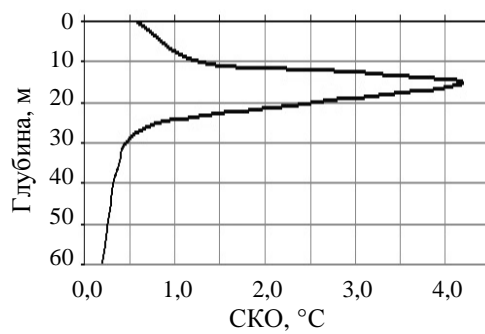


Рис. 4. °Средние квадратические отклонения (SKO) температуры воды в августе 2009 г. по данным дрейфера *IMEI* 12630410.

По данным канала измерения уровня занырявания дрейфера начиная с 18 сентября поплавок буя в течение более 30 % времени дрейфа находился в подводном положении и к моменту прекращения работы дрейфера 22 ноября этот показатель достиг 98 %. Следствием такого поведения буя явилось возникновение пропусков в определении координат дрейфера по результатам измерений приемника *GPS*, антенна которого размещена в поплавке буя. Длительность пропусков постепенно увеличивалась вплоть до полной потери данных о траектории буя по показаниям приемника. Наряду с этим устойчиво продолжали поступать данные о траектории, полученные по доплеровскому сдвигу частоты передатчика дрейфера. Однако возможности воспроизведения траектории дрейфера по этим данным существенно ограничены значительной неопределенностью результатов оценивания координат доплеровским методом в системе *Iridium*. Так, в работе [3] показано, что среднее квадратическое отклонение этих результатов составляет около 3 500 м. Результаты траекторных измерений дрейфера *IMEI 12630410* доплеровским методом системы *Iridium* представлены на рис. 5. В работе [4] рассмотрена возможность повышения достоверности воспроизведения траектории дрейфера по доплеровским данным. Показано, что в результате фильтрации этих данных с помощью функции *sgolay*, реализованной в среде *MATLAB*, оценка среднего квадратического отклонения может быть существенно снижена. На рис. 5 приведена также и траектория (*Iridium sm*), полученная в результате такой фильтрации, и соответствующие оценки средних квадратических отклонений от координат, полученных по данным приемника *GPS*. Оценки рассчитаны для тех участков траектории, где приемник сохранял работоспособность.

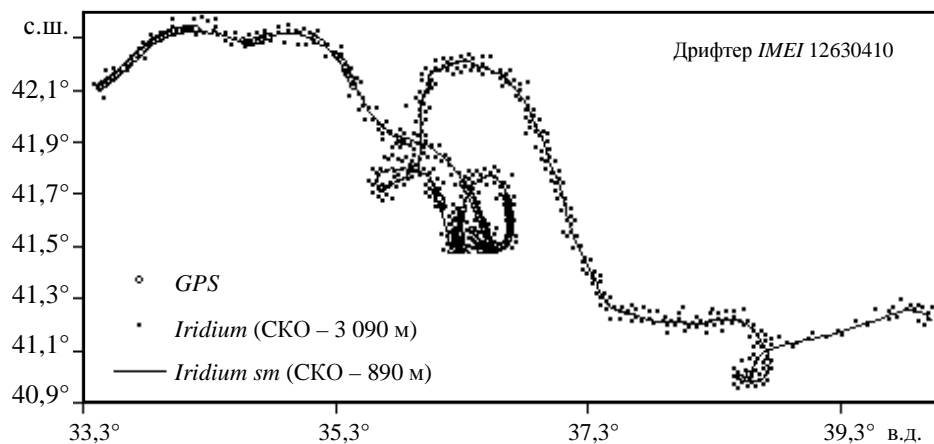


Рис. 5. Фрагменты траекторий дрейфера *IMEI 12630410*. Координаты буя определялись по данным системы *GPS* и доплеровским методом до и после фильтрации – *Iridium* и *Iridium sm* соответственно.

Данные, полученные в черноморском эксперименте 2009 г., позволили также оценить качество работы каналов измерения атмосферного давления дрейфующих буев в реальных условиях. Как уже было сказано, на начальных участках дрейфов буи двигались по траекториям, дистанции между которыми не превышали 3 000 м. Поскольку измерения буями выполнялись синхронно с

интервалом 30 мин, можно, учитывая возможную изменчивость поля атмосферного давления, обоснованно предположить однородность поля давления для всех трех дрейфтеров. Это позволяет сопоставить данные об атмосферном давлении, полученные дрейфтерами. На рис. 6 показаны шестичасовые фрагменты изменчивости давления, построенные по данным буйев *IMEI 12630380*, *IMEI 12638390* и *IMEI 12630410*.

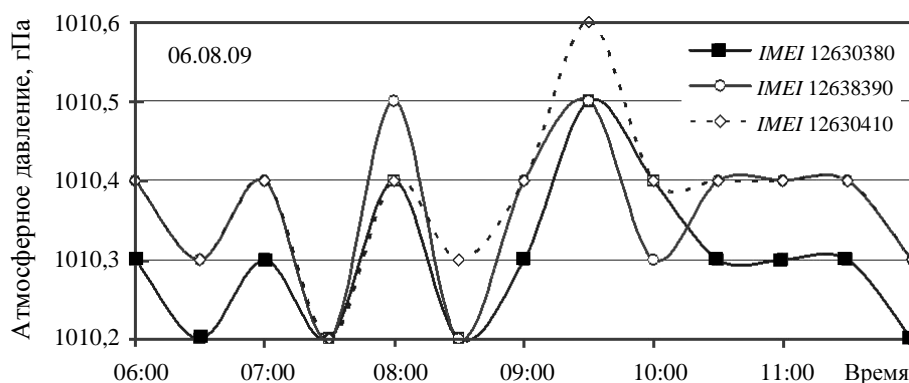


Рис. 6. Результаты сопоставления данных об атмосферном давлении, полученных с помощью дрейфтеров *IMEI 12630380*, *IMEI 12638390* и *IMEI 12630410*.

Средние квадратические отклонения между результатами измерений дрейфтеров не превысили 0,07 гПа, что, при допустимой погрешности 1 гПа, свидетельствует о высокой стабильности воспроизведения поля атмосферного давления измерительными каналами дрейфтеров в реальных условиях дрейфов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Коротаев Г.К., Мотыжнев С.В. Термопрофилирующий дрейфующий буй // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – вып. 11. – С. 143-154.
2. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжнев С.В. Исследование верхнего слоя Черного моря с помощью термопрофилирующих дрейфующих буйев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2008. – вып. 16. – С. 116-123.
3. Мотыжнев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. Основные результаты развития дрейфтерных технологий и их внедрения в практику океанографических наблюдений в Черном море и Мировом океане // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2011. – вып. 24. – С. 259-272. (Настоящий сборник).
4. Мотыжнев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Литвиненко С.Р. Результаты применения спутниковой системы связи *Iridium* для задач дрейфтерного обеспечения работ в океане // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика» – 2010. – вып. 23. – С. 217-227.

Материал поступил в редакцию 18.02.2011 г.