

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

УДК 551.46.08

С.В.Мотыжев, Е.Г.Лунев,
А.П.Толстошеев, С.Р.Литвиненко

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ IRIDIUM ДЛЯ ЗАДАЧ ДРИФТЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТ В ОКЕАНЕ

Представлены результаты работ по интеграции автономных дрейфующих буйев – дрейфтеров – в систему спутниковой связи *Iridium*. Актуальность работ связана с необходимостью расширения информационно-измерительных возможностей дрейфтерного сегмента глобальной системы контроля океана и приподной атмосферы. В рамках международного пилотного проекта *Iridium* в 2006–2010 гг. в Морском гидрофизическом институте НАН Украины были разработаны структуры построения различных модификаций *Iridium*-дрейфтеров, алгоритмы их работы и информационные стандарты для передачи данных. Комплексные испытания 16 таких дрейфтеров в Черном море, Атлантическом и Индийском океанах показали высокую эффективность применения *Iridium*-дрейфтеров для решения задач глобального дрейфтерного мониторинга океана и приподной атмосферы. По данным экспериментов при интервале времени между измерениями 30 мин и пространственном разрешении не хуже 150 м среднее время доставки сообщений пользователям составило 3 мин, потери данных – не более 3 %. Рассмотрена методика повышения достоверности результатов траекторных измерений по данным доплеровского метода системы *Iridium* и приведены количественные оценки погрешности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *система связи, передача данных, дрейфтерный мониторинг, натурные испытания.*

Возможности спутниковой связи, пригодной для автономного использования, существенно изменили структуру построения сети контактных наблюдений Мирового океана и приподной атмосферы. Неотъемлемым компонентом современной системы оперативных наблюдений океана являются дрейфтерные технологии. Автономные поверхностные дрейфующие платформы сбора данных, оборудованные аппаратурой спутниковой связи, вошли в число наиболее эффективных средств исследования верхнего слоя океана и пограничной с ним атмосферы. Дрейфтерная информация используется для решений задач прогнозирования погоды, валидации данных, полученных дистанционными методами, изучения циркуляции вод и оценивания влияния динамических факторов на процессы водообмена. Дрейфтерные технологии позволяют оперативно получать систематические данные о со-

© С.В.Мотыжев, Е.Г.Лунев, А.П.Толстошеев, С.Р.Литвиненко, 2010

стоянии среды практически в любых метеорологических условиях при высокой экономической эффективности наблюдений. В связи с этим очевидна актуальность задачи повышения оперативности и пропускной способности систем связи, обслуживающих эти буи.

Количество дрейфующих в Мировом океане поверхностных буев постоянно поддерживается на уровне не менее 1250 штук, что обеспечивает среднюю плотность наблюдений 500×500 км. С расширением дрейфтерной сети обострилась проблема своевременной и достоверной передачи данных с большого количества буев различных модификаций в береговые центры. Обслуживающая дрейтеры международная система спутниковой связи *Argos* в ряде случаев оказалась не в состоянии обеспечить оперативную доставку увеличенных объемов данных. В то же время все большее применение среди производителей и операторов буйковых систем стала находить глобальная спутниковая система мобильной связи *Iridium*, состоящая из 66 низкоорбитальных спутников, качественно покрывающих всю территорию Земли (включая океаны, воздушные пути и полярные регионы) в реальном режиме отклика. *Iridium* включает в себя такие сервисы, как голосовая связь, интернет, SMS, пейджинг и др. Появление на рынке недорогих терминалов *Iridium* в сочетании с простотой их использования (например, отправить команду на буй или получить с него данные можно с любого компьютера при помощи обычной электронной почты) и разумными тарифами предопределило дальнейшее распространение этой системы для решения широкого круга задач оперативной океанологии и метеорологии.

В 2006 г. Межправительственной Океанографической Комиссией ЮНЕСКО и Всемирной Метеорологической Организацией был инициирован ряд пилотных проектов по оценке возможности применения новых перспективных спутниковых систем передачи данных, прежде всего, *Iridium*. Одним из участников проекта в рамках спутниковой системы *Iridium* стал Морской гидрофизический институт (МГИ) НАН Украины.

Задачи пилотного проекта 2006 – 2010 гг. по интеграции дрейфтерной технологии в систему спутниковой связи *Iridium* (<http://www.jcommops.org/dbcp/iridium-pp/>) состояли в следующем:

- 1) разработка структур построения *Iridium*-дрейфтеров, алгоритмов их работы и информационных стандартов обмена сообщениями по каналу «дрейфтер-оператор»;
- 2) адаптация информационных сообщений *Iridium*-дрейфтеров к форматам глобальной телекоммуникационной системы *GTS* (*Global Telecommunication System*);
- 3) организация технологии производства и методов тестирования буев;
- 4) оценка работоспособности канала передачи данных при дрейфах буев в различных районах Мирового океана в реальных условиях эксплуатации;
- 5) определение пропускной способности канала связи и оперативности доставки данных пользователям;
- 6) оценка надежности и удобства в эксплуатации;
- 7) комплексная оценка финансовой и информационной эффективности системы;

Т а б л и ц а 1. Общие сведения о применении дрейфующих буев с модемами связи спутниковой системы *Iridium* в экспериментах 2007 – 2010 гг.

№ п/п	идентифика- ционный но- мер буя	тип буя	район дрейфа	дата разверты- вания	продуктивная работа, сут		дата окончания работы передатчика	продолжитель- ность работы передатчика, сут
					дата окончания	продолжительность		
1	ID 513480/ WMO 61501	SVP-B-GPS	44° 18' с.ш. 32° 18' в.д.	15.09.2007	12.12.2007	88	12.12.2007	88
2	ID 518480/ WMO 61502	SVP-B-GPS mini	44° 24' с.ш. 32° 24' в.д.	15.09.2007	05.11.2007	51	05.11.2007	51
3	ID 517480/ WMO 71512	SVP-B-GPS mini	57° 48' ю.ш. 56° 42' з.д.	02.12.2007	10.08.2008	252	10.08.2008	252
4	ID 512480/ WMO 44612	SVP-B-GPS	58° 00' с.ш. 33° 36' з.д.	15.03.2008	07.01.2009	298	27.05.2009	438
5	ID 632400/ WMO 62526	SVP-B-GPS mini	49° 54' с.ш. 07° 48' з.д.	17.07.2008	22.07.2008	5	22.07.2008	5
6	ID 639400/ WMO 62529	SVP-B-GPS mini	49° 54' с.ш. 07° 48' з.д.	17.07.2008	25.08.2008	39	25.08.2008	39
7	ID 431140/ WMO 62503	SVP-B-GPS mini	51° 12' с.ш. 35° 00' з.д.	26.10.2008	02.11.2008	7	02.11.2008	7
8	ID 430270/ WMO 44744	SVP-B-GPS mini	52° 00' с.ш. 50° 00' в.д.	28.10.2008	25.11.2008	28	25.11.2008	28
9	ID 434270/ WMO 44745	SVP-B-GPS mini	52° 00' с.ш. 52° 00' з.д.	28.10.2008	09.11.2008	12	30.04.2009	184
10	ID 432270/ WMO 14532	SVP-B-GPS mini	36° 42' ю.ш. 53° 42' в.д.	09.12.2008	13.01.2009	35	13.01.2009	35

Таблица 1 (окончание)

№ п/п	идентифика- ционный но- мер буя	тип буя	район дрейфа	дата разверты- вания	продуктивная работа, сут		дата окончания работы передатчика	продолжитель- ность работы передатчика, сут
					дата окончания	продолжительность		
11	ID 436260/ WMO 14533	SVP-B-GPS mini	12° 00' ю.ш. 69° 00' з.д.	18.12.2008	01.01.2009	14	01.01.2009	14
12	IMEI 630380/ WMO 61690	SVP-BTC80- GPS	43° 34' с.ш. 31° 59' в. д.	03.08.2009	02.10.2009	61	02.10.2009	61
13	IMEI 630410/ WMO 61691	SVP-BTC80- GPS	43° 34' с.ш. 31° 59' в.д.	03.08.2009	23.11.2009	112	23.11.2009	112
14	IMEI 638390/ WMO 61689	SVP-BTC80- GPS	43° 34' с.ш. 31° 59' в.д.	03.08.2009	13.09.2009	41	13.09.2009	41
15	IMEI 486510/ WMO 17526	SVP-B-GPS	53° 00' ю.ш. 36° 00' з.д.	25.01.2010	в действии на 16.06.2010	—	—	—
16	IMEI 481500/ WMO 17572	SVP-B	50° 00' ю.ш. 01° 24' з.д.	15.12.2009	в действии на 16.06.2010	—	—	—
17	IMEI 480510/ WMO 16551	SVP-B	45° 00' ю.ш. 35° 22' в.д.	13.04.2010	в действии на 16.06.2010	—	—	—
18	IMEI 487510/ WMO 62510	SVP-BTC80- GPS	44° 48' с.ш. 5° 12' з.д.	09.05.2010	в действии на 16.06.2010	—	—	—
19	IMEI 481510	SVP-B	запуск в Южном океане запланирован на сентябрь 2010 г.			—	—	—
20	IMEI 638390	SVP-B				—	—	—

8) передача дрейфтерной технологии системы *Iridium* развивающимся странам.

Для решения этих задач в МГИ к 2010 г. были выполнены три этапа пилотного проекта, в рамках которых разработаны и испытаны 16 *Iridium*-дрейфтеров различных модификаций. Производителем буев являлась внедренческая фирма ООО «НПФ Марлин-Юг», которая на протяжении многих лет успешно сотрудничает с МГИ по продвижению научных разработок в практику экспериментальных исследований. Основные статистические данные о дрейфтерах представлены в табл.1. Приведем необходимые пояснения к названиям и терминам, используемым в таблице. В графе «Тип буя» указаны модификации дрейфтеров: *SVP-B* – барометрический лагранжевый дрейфтер, траектория которого оценивается по данным доплеровского метода системы *Iridium*; *SVP-B-GPS* – барометрический лагранжевый дрейфтер, траектория которого оценивается по данным встроенного приемника *GPS*; *SVP-BTC80-GPS* – барометрический дрейфтер с термопрофилирующей линией длиной 80 м, траектория которого оценивается по данным встроенного приемника *GPS*. Под продуктивной работой понимается функционирование дрейфтера с присоединенным подводным парусом, для буев *SVP-BTC80 GPS* и с термопрофилирующей линией.

На первом этапе проекта в рамках международного сотрудничества были получены модемы спутниковой связи *Iridium* модели 9601. Необходимо отметить, что появление на рынке именно этой модели модемов предопределило широкое внедрение аппаратуры *Iridium* в состав различных систем сбора данных. Это обусловлено рядом технических особенностей. Так, модем *Iridium* 9601 обладает ограниченным функционалом: отсутствуют возможности осуществления голосовой связи, нет сервисов прямого интернет-соединения, обмена SMS-сообщениями и ряда других возможностей. Тем не менее, в модеме реализована технология передачи так называемых сообщений *SBD* (*Short-Burst Data*) – простая и эффективная возможность передавать малые объемы данных (до 205 байт) в режиме времени, близком к реальному. Эта технология хорошо согласуется с требованиями к телеметрии современных морских автономных наблюдательных платформ: объем единоразово передаваемых данных – несколько десятков байт при относительно большой скважности (типичный интервал между измерениями 1 ч). Механизм передачи сообщений *SBD* предусматривает двухстороннюю связь между оператором и модемом с использованием сети интернет. Сообщение *SBD* может быть отправлено на модем или принято с модема с помощью любой программы – почтового клиента (*Outlook*, *The Bat!* и т.п.). Все это вкуче с малыми габаритами модема и антенны, низким энергопотреблением, приемлемой стоимостью и разумной тарификацией трафика явилось предпосылкой применения модемов *Iridium* 9601 в составе дрейфующих буев. В МГИ был разработан и интегрирован в структуру дрейфтера контроллер модема *Iridium* 9601. Для обеспечения трассировки буя в состав его аппаратуры был встроен приемник глобальной системы позиционирования *GPS*. На рис.1 показаны основные компоненты аппаратуры дрейфующего буя типа *SVP-B* со спутниковой связью *Iridium*.

Главной проблемой, препятствующей использованию *Iridium* для пере-

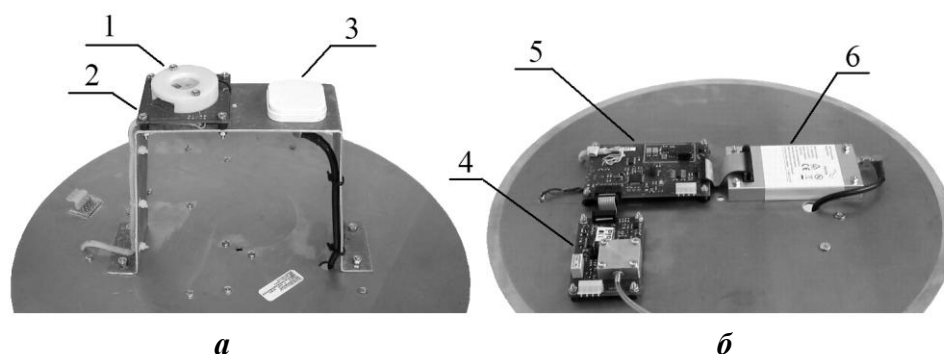


Рис. 1. Аппаратура дрейфующего буя типа *SVP-B* со спутниковой связью *Iridium*: вид сверху (*а*); вид снизу (*б*): антенна *GPS* (1); приемник *GPS* (2); антенна *Iridium* (3); измерительный преобразователь (4); контроллер модема *Iridium* (5); модем *Iridium* 9601 (6).

дачи дрейфтерной информации, была необходимость обеспечения устойчивой передачи данных в условиях взволнованной морской поверхности, при которых приемо-передающая антенна *Iridium* экранируется во время погружений буя под воду. Были проведены лабораторные испытания, ориентированные на изучение возможностей функционирования канала связи *Iridium* в условиях эксплуатации лагранжевых барометрических дрейфующих буюв типа *SVP-B*.

По результатам испытаний в 2007 г. разработаны оригинальный алгоритм передачи сообщений *SBD* с учетом механизмов квитирования, предусмотренных в системе, и информационный формат для передачи данных с дрейфующих буюв через спутниковую систему *Iridium*. В начале 2007 г. были изготовлены четыре дрейфующих буя *SVP-B*, оснащенных модемами *Iridium* 9601 и приемниками *GPS*. Буи развернуты 15 сентября 2007 г. в западной части Черного моря (два дрейфтера) [1], 2 декабря 2007 г. в южной части и 15 марта 2008 г. в северной части Атлантического океана.

Все *Iridium*-дрейфтеры были оснащены часами реального времени *RTC* (*Real Time Clock*) с синхронизацией от приемника *GPS*, что обеспечило привязку измерений к круглому часу.

Первые запуски дрейфтеров со связью *Iridium* показали высокую эффективность этой системы для задач глобального дрейфтерного мониторинга океана и приодной атмосферы и определили пути ее дальнейшего использования среди автоматических морских наблюдательных платформ.

В 2008 г. в рамках пилотного проекта *Iridium* в качестве международного стандарта была принята версия формата передачи данных с дрейфующих буюв, разработанная в МГИ совместно с метеорологическим бюро *Meteo-France* (Франция). В состав кадра был введен ряд технологических параметров: помимо длительности сеанса связи, в посылке введены еще три поля, которые используется производителями на свое усмотрение. Так, например, буи передают информацию о количестве попыток организации сеанса связи (количество сессий *SBD*), время с момента включения *GPS* до определения первой координаты и количество спутников *GPS* во время определения координаты. Эти параметры позволяют оценить качество работы навигаци-

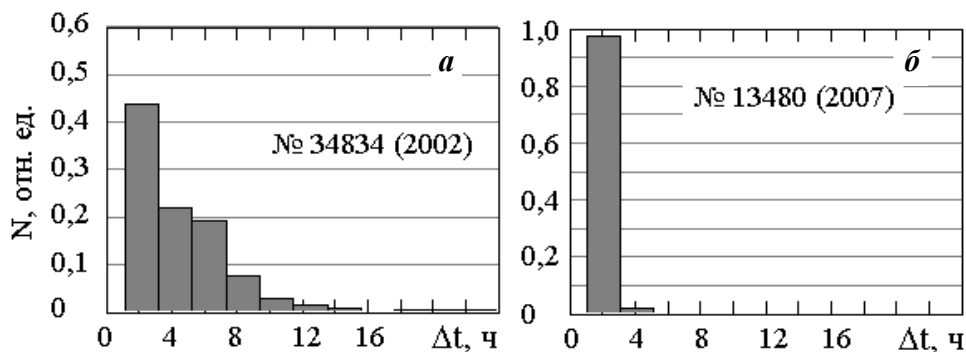
онной и телеметрической систем буя, а также уточнить энергетический бюджет его аппаратуры при проектировании следующих поколений дрейфтеров.

На втором этапе пилотного проекта были изготовлены 9 буюв. Все они были развернуты в разных регионах Мирового океана для тестирования возможностей связи *Iridium* обеспечивать надежную трансляцию дрейфтерных данных в различных географических районах и метеорологических условиях [2].

В 2009 г. на третьем этапе проекта в МГИ были разработаны, изготовлены и развернуты в Черном море три термопрофилирующих буя *Iridium SVP-BTC80-GPS*. Термопрофилирующие дрейфтеры предназначены для получения систематических оперативных данных о распределении температуры в верхнем слое моря. Начиная с 2004 г. с помощью этих дрейфтеров в ходе черноморского эксперимента получены уникальные долговременные ряды данных об изменчивости температурных полей верхнего слоя моря в условиях разномасштабных циркуляционных процессов. В [3] приведены некоторые результаты анализа этих данных. Специально для таких буюв совместно с *Meteo-France* была разработана модификация информационного формата передачи данных. Целью его создания явилась необходимость передачи дополнительных объемов данных, поступающих с термопрофилографа буя. Дополнительная страница объемом 320 бит содержит чередующиеся поля с данными о температурах воды на каждом горизонте с соответственным указанием глубин расположения датчиков температуры. Общий объем передаваемых в посылке данных составил 464 бита. Формат передачи информационного сообщения был адаптирован для автоматического распределения данных через глобальную телеметрическую систему с последующей их передачей в метеорологические центры для оперативного моделирования погоды. Кроме того, за счет использования возможностей системы *Iridium* удалось повысить пространственно-временное разрешение дрейфтерных измерений путем сокращения интервала между измерениями до 30 мин.

В конце июля 2009 г. кластер из трех термопрофилирующих дрейфтеров был развернут в западной части Черного моря. За время эксперимента с июля по ноябрь 2009 г. общее время продуктивной работы дрейфтеров *SVP-BTC80-GPS* составило 5370 ч, количество принятых посылок 10085, объем переданной научной информации 571 кБайт при среднем уровне потерь 3 %. Установлено, что в ходе эксперимента максимальное время задержки дрейфтерной информации не превышало 10 мин при среднем значении времени доставки сообщений от дрейфтера к пользователю около 3 мин.

Более подробного рассмотрения, на наш взгляд, заслуживает вопрос о достоверности результатов восстановления траекторий дрейфтеров в системе *Iridium*, которая, также как система *Argos*, поддерживает два метода определения координат буюв – по доплеровскому смещению несущей частоты сигнала передатчика дрейфтера и по данным приемника *GPS*, встроенного в буй. Преимущество системы *Iridium* состоит в том, что ее пропускная способность обеспечивает оперативное получение практически каждого сообщения, переданного буюм. Это позволяет восстанавливать координаты с заданным интервалом дискретности в режиме времени, близким к реальному. На рис.2 показаны гистограммы распределений интервалов времени между



Р и с . 2 . Распределения интервалов времени между последовательными наблюдениями по данным доплеровского метода системы *Argos* (а) и системы *Iridium* (б). N – повторяемость; Δt – интервал времени. На графиках указаны идентификационный номер и год развертывания дрейфера.

последовательными наблюдениями по данным дрейфтеров, полученным через системы *Argos* (рис.2, а) и *Iridium* (рис.2, б).

Из графиков видно, что если по данным *Argos*-дрейфера временной интервал между наблюдениями составлял не более 3 ч для 45 % реализаций, то по данным *Iridium*-дрейфера такой временной интервал обеспечивался для 98 % переданных сообщений.

Однако преимущество высокой пропускной способности канала связи системы *Iridium* реализуется только для восстановления координат дрейфующих буйев со встроенными приемниками *GPS*. Объясняется это очень большой погрешностью доплеровского метода измерения координат системы *Iridium*. Эллипс ошибок локализации в системе *Iridium* имеет большой эксцентриситет. Длина его большой оси, ориентированной в направлении «восток-запад», составляет около 10000 м, а длина малой – на один – два порядка меньше. На рис.3 показаны результаты восстановления траектории *Iridium*-дрейфера по данным приемника *GPS* и данным, полученным доплеровским методом системы *Iridium*. Очевидно, что погрешность измерения широтной координаты объекта весьма значительна и почти на порядок превышает погрешность измерения координат объекта доплеровским методом системы *Argos*. В то же время было бы полезно оценивать траектории *Iridium*-дрейфтеров без использования приемника *GPS* хотя бы по следующим причинам. Во-первых, для решения ряда задач восстановление траекторий дрейфтеров с высоким пространственно-временным разрешением, которое обеспечивает приемник *GPS*, является избыточным как с точки зрения количества информации, так и по экономическим соображениям. Во-вторых, в процессе черноморского эксперимента с термопрофилирующими *Iridium*-дрейферами мы столкнулись с тем, что при продолжительном дрейфе в определенных условиях буй притапливается из-за биологического обрастания подводного паруса. В результате этого работа приемника *GPS* нарушается, но спутниковый канал связи *Iridium* продолжает устойчиво функционировать. В таких обстоятельствах мы располагаем данными о координатах дрейфера, полученными лишь с помощью доплеровского метода системы *Iridium* (рис.3), т. е. данными с большой погрешностью.

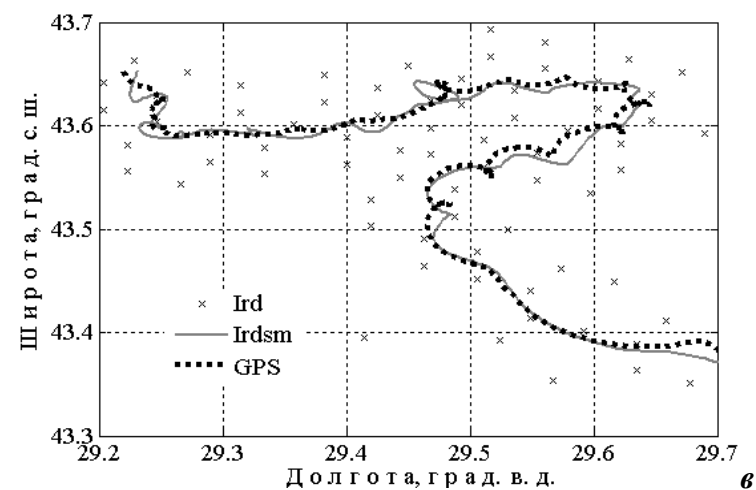
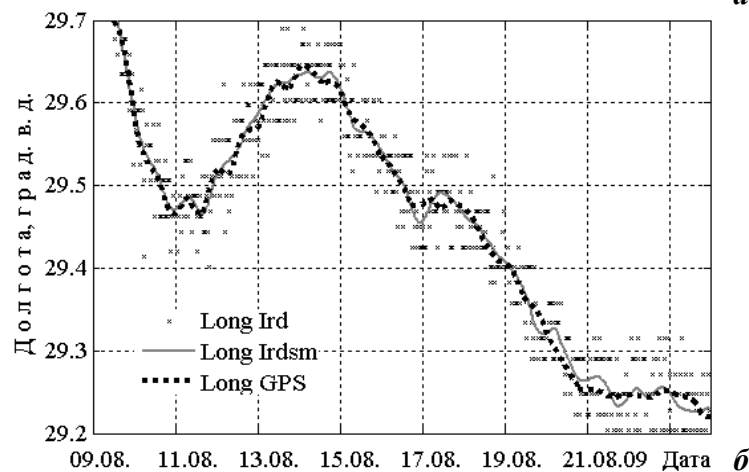
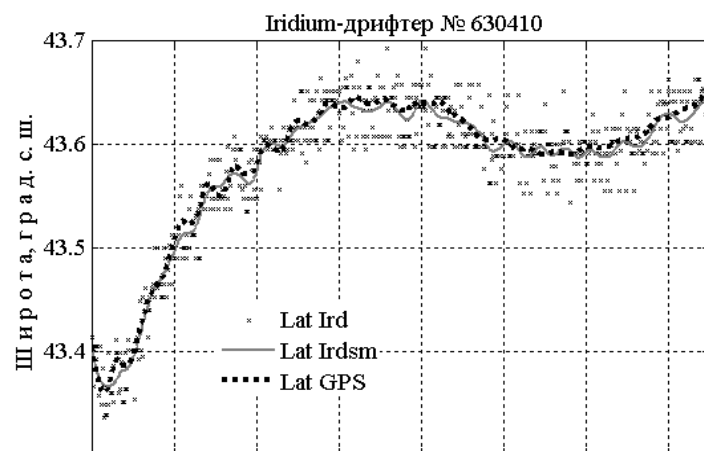


Рис. 3. Зональная (а) и меридиональная (б) компоненты траектории и траектория (в) движения дрифтера № 630410, восстановленные по данным доплеровского метода системы Iridium (Ird), по тем же данным после фильтрации (Irdsm) и по данным приемника GPS.

Мы попытались найти возможность использования результатов «доплеровских» обсерваций для оценивания траекторий *Iridium*-дрифтеров с погрешностью, приемлемой для решения указанных задач. Для анализа были выбраны ряды данных *Iridium*-дрифтеров № 630410 и № 75811. Выбор данных сделан по следующим соображениям. Во-первых, продолжительности лагранжевых дрейфов этих буев (табл.1) позволяют получить статистически обоснованные результаты анализа. Во-вторых, оба буйа были оборудованы приемниками *GPS*, данные которых использовались в качестве образцовых при сопоставлении траекторий. В-третьих, буйа были развернуты в разных точках Мирового океана, что дает основание распространить полученные результаты на все *Iridium*-дрифтеры, независимо от районов дрейфов. И, наконец, траектории этих буев определялись различными типами движений, характерными для процессов переноса поверхностных вод мезомасштабного и синоптического диапазонов. Ниже приведены методика и основные результаты обработки данных траекторных измерений дрифтеров, полученных с помощью доплеровского метода системы *Iridium*.

Ряды меридиональных и зональных координат дрифтеров № 630410 и № 75811 линейно интерполировались на равномерный интервал времени 1 ч и фильтровались по методу Савицкого – Голея. Сглаживающие фильтры Савицкого – Голея осуществляют полиномиальную аппроксимацию отдельных сегментов данных по критерию минимума квадратической ошибки. В этом смысле они являются оптимальными. Сглаживание данных выполнялось по программе, реализованной в среде *MATLAB*, с помощью функции *sgolay*. Линейно интерполированные данные каждого ряда разбивались на сегменты по 40 отсчетов. В пределах каждого сегмента данные аппроксимировались полиномом четвертой степени. Результаты фильтрации для фрагмента траектории дрифтера № 630410 показаны на рис. 3. Фрагмент содержит участки как относительно высокочастотных (мезомасштабных) колебаний, так и участков дрейфов в низкочастотной области спектра поверхностного течения. Полученные результаты сопоставлялись с соответствующими данными траекторных измерений, полученными с помощью встроенных в дрифтеры приемников *GPS*. Для количественного оценивания результатов фильтрации рассчитывались средние квадратические отклонения (СКО) от *GPS*-координат соответствующих по времени данных, полученных с помощью доплеровского метода системы *Iridium* (σ_{IRD}) и этих же данных после сглаживания (σ_{SM}). Полученные оценки СКО составили: 1) по данным дрифтера № 630410: для меридиональной компоненты $\sigma_{IRD} = 2568$ м, $\sigma_{SM} = 698$ м; для зональной $\sigma_{IRD} = 1987$ м, $\sigma_{SM} = 572$ м; 2) по данным дрифтера № 75811: для меридиональной компоненты $\sigma_{IRD} = 2377$ м, $\sigma_{SM} = 938$ м; для зональной – $\sigma_{IRD} = 2162$ м, $\sigma_{SM} = 991$ м. Наибольший вклад в погрешность сглаженных данных вносится на участках траектории с колебаниями вблизи инерционной частоты. Тем не менее, рассмотренная процедура позволяет существенно уменьшить погрешность восстановления траекторий дрифтеров по данным доплеровского метода системы *Iridium*.

Результаты работ, выполненных МГИ по испытанию и продвижению системы *Iridium* в практику международных дрифтерных исследований, были представлены в 2007 – 2009 гг. на международных конференциях Комис-

сии по буям сбора данных [1, 2] и высоко оценены участниками пилотного проекта *Iridium*. Основные результаты состоят в следующем:

1) выполнена интеграция модема *Iridium* в состав аппаратуры дрейфующих буев;

2) разработан оригинальный алгоритм работы модема *Iridium*, направленный на обеспечение устойчивой передачи данных при дрейфе буя в условиях поверхностного волнения;

3) разработаны информационные стандарты для передачи данных с буев через систему *Iridium*, совместимые с существующей глобальной телекоммуникационной системой *GTS*;

4) проведены натурные испытания 16-ти *Iridium*-дрифтеров трех модификаций в различных регионах Мирового океана, в том числе уникальных термопрофилирующих буев *SVP-BTC80-GPS*;

5) среднее время доставки сообщений пользователю не превышало 3 мин при потерях данных не более 3 %;

6) обеспечена синхронность измерений различными дрифтерами независимо от времени их активации;

7) предложена методика уменьшения погрешности результатов восстановления траекторий дрифтеров по данным доплеровского метода системы *Iridium*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Motyzhev S., Kirichenko A., Lunev E., Tolstosheev A., Yachmenev V. New generations of Iridium and Argos drifters // Development in Buoy Technology, Communication, Science and Data Application. Article № 9.– CD-ROM DBCP Technical Document Series № 32.– 2007.
2. Motyzhev S., Kirichenko A., Lunev E. Development and evaluation of Iridium SVP B mini and other versions of drifters // Development in Buoy Technology, Communication, Science and Data Application. Article № 9.– CD-ROM DBCP Technical Document Series № 34.– 2008.
3. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В. Исследование верхнего слоя Черного моря с помощью термопрофилирующих дрейфующих буев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.16.– С.116-123.

Материал поступил в редакцию 12.09.2010 г.