

## БАЗА ДАННЫХ ДРИФТЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

*Ю.Б. Ратнер, А.П. Толстошеев,  
А.Л. Холод, Е.Г. Лунев*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net,  
antonholod@mail.ru

*В статье приведены основные результаты анализа и систематизации дрейфтерной информации, полученной в черноморских экспериментах 2001–2006 гг., с целью создания специализированной базы данных и основные принципы ее построения.*

**Введение.** В черноморском регионе дрейфтерные эксперименты были начаты в 1999 г. и к настоящему времени стали эффективным и практически единственным источником оперативной систематической информации о состоянии верхнего слоя моря и приповерхностной атмосферы. К 2007 г. продолжительность продуктивной работы дрейфтеров составила более 90000 часов. За это время получено около 1Мбайт информации о температуре поверхности, профилях температуры верхнего слоя моря, атмосферном давлении и поверхностных течениях. На рисунке 1 показана общая карта траекторий дрейфующих буйев, развернутых в Черном море в 2001–2006 гг.

При очевидных преимуществах дрейфтерного мониторинга остается малоэффективным использование его результатов для принятия решений по окружающей среде. Причина этого в отсутствии формализованных в соответствии с современными требованиями массивов дрейфтерных данных и, как следствие, ограниченном доступе пользователей к полученной информации. В статье приведены основные результаты анализа и подготовки дрейфтерной информации с целью создания специализированной базы данных.

Работа включала в себя следующие основные этапы:

- отбраковка ошибочных данных;
- формирование массивов лагранжевых данных;
- интерполяция данных на равномерный временной интервал;

- выбор формата представления данных;
- разработка структуры специализированной базы данных.

Отбраковка ошибочных данных. Получаемая по глобальной телеметрической системе распределения (GTS) дрейфтерная информация содержит сбои различных типов и использование таких данных может привести к ошибочным результатам. В связи с этим для создания достоверной базы данных были разработаны интерактивные программы выявления и исключения сбойных ситуаций. Отбраковка результатов измерений температуры воды и атмосферного давления выполняется на основании двух последовательно применяемых критериев. В качестве первого критерия принимается во внимание физически значимый диапазон изменчивости параметра в районах дрейфов буйев. Оставшиеся после такой фильтрации данные подвергаются анализу на соответствие второму критерию, позволяющему исключить одиночные выбросы. Эта процедура заключается в создании экспоненциально сглаженного ряда данных и сравнении этого ряда с исходными данными. Данные анализируемого ряда, абсолютное значение разности между которыми и соответствующими отсчетами сглаженного ряда превышает принятое пороговое значение, считаются сбойными и переносятся оператором в файл сбойных измерений. Физически значимый диапазон изменчивости параметра, а также значения параметра сглаживания и порога могут быть изменены оператором в зависимости от условий измерений (время года, географическое положение буя, горизонтизмерений и др.).

Формирование массивов лагранжевых данных. Свойства дрейфтера как трассировщика поверхностных течений определяются соотношением между площадями подводного паруса и остальных элементов конструкции. Показано [1], что при величине этого соотношения близкой к 40 дрейфующий буй представляет собой частицу лагранжевого типа и его траектория воспроизводит перенос водных масс с погрешностью не более 5 %. Однако в процессе автономного дрейфа в силу ряда причин возможен обрыв паруса. Критерием наличия паруса служит информация о средней продолжительности пребывания поплавка дрейфтера в притопленном состоянии, полу-

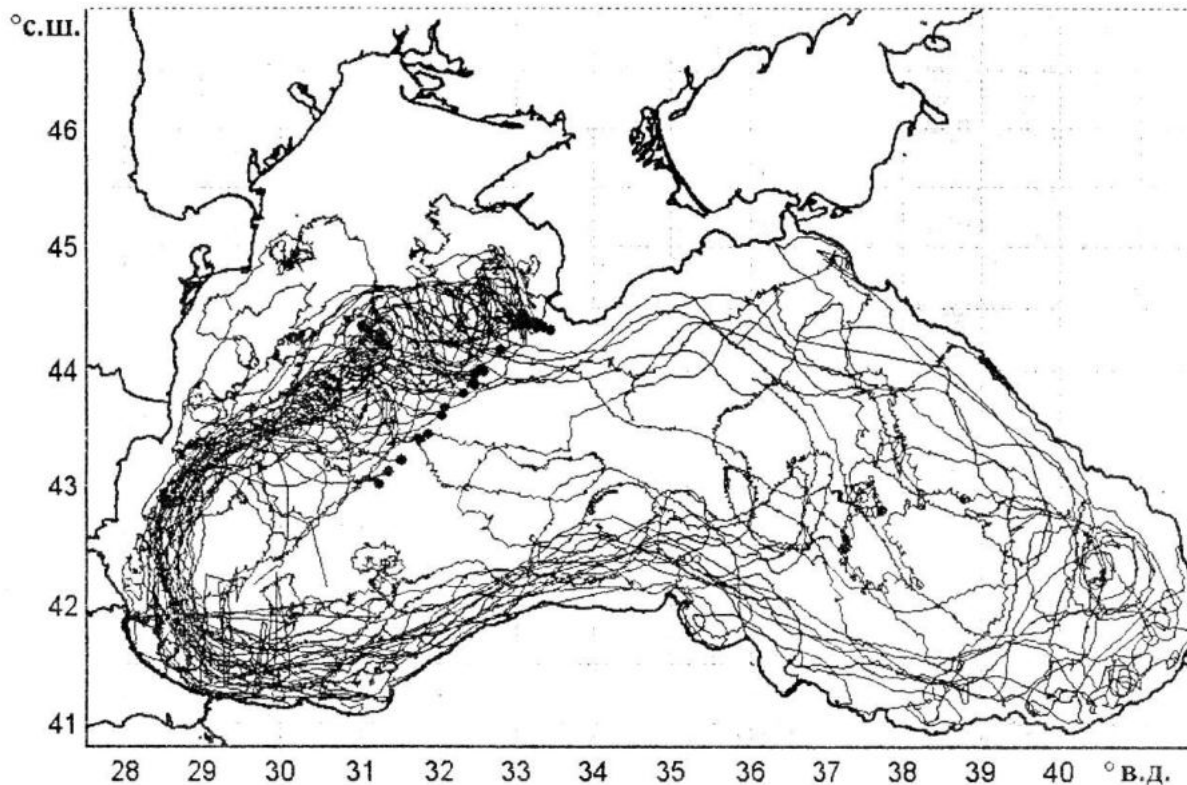


Рисунок 1 – Общая карта траекторий дрейфующих буйев в черноморских экспериментах 2001–2006 гг. Черные маркеры – точки развертывания дрейфтеров

чаемая по каналу измерения занывривания (SubM). Продолжительные нулевые показания по этому каналу свидетельствуют об обрыве подводного паруса. В массиве лагранжевых данных сохраняются только данные о координатах, полученные до этого времени.

*Интерполяция данных на равномерный временной интервал.* Координаты дрейфтера оцениваются в системе спутниковой связи Argos по величине доплеровского сдвига частоты сигнала передатчика (кроме буйев с интегрированным приемником глобальной системы позиционирования (GPS)). При использовании этих данных для изучения переноса водных масс необходимо принимать во внимание неравномерность интервалов времени между наблюдениями. В зависимости от погодных условий, количества обслуживающих спутников и других факторов интервалы времени между наблюдениями могут изменяться от 2 до 12 часов. При применении простых способов интерполяции таких временных рядов возрастает вероятность получения ошибочных результатов в оценках вектора скорости потока, особенно при дрейфе буйа в условиях отно-

сительно высокочастотных, например, инерционных, колебаний. Как следует из рисунка 2, где в качестве примера показаны фрагменты траектории дрейфтера № 47621, построенные по показаниям приемника GPS и данным доплеровского метода, линейная интерполяция последних приводит к значительным искажениям траектории.

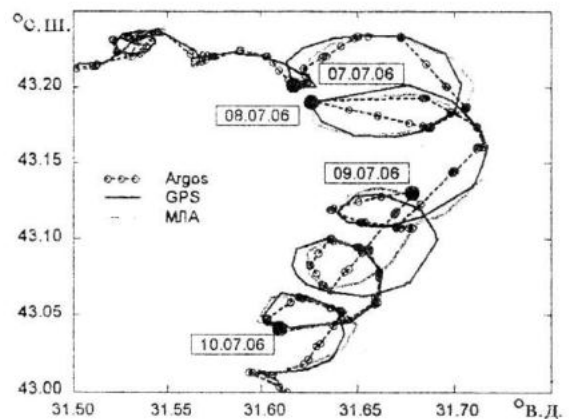


Рисунок 2 – Фрагменты траектории буйа № 47621, построенные по данным, полученным по доплеровскому методу системы Argos, показаниям приемника GPS и рассчитанные по МЛА

Существенно более точные результаты могут быть получены применением более сложных методов обработки первичных рядов координат, учитывающих априорные сведения о возможных диапазонах изменчивости исследуемых физических процессов. На том же графике показан результат интерполяции “доплеровских” данных методом локальной аппроксимации (МЛА) [2] с учетом особенностей переноса дрейфтеров морскими течениями. В специализированную базу дрейфтерных данных включены первичные отфильтрованные от сбоев временные ряды координат, а также координаты, полученные линейной интерполяцией, кубической сплайн-интерполяцией и методом локальной аппроксимации. Вообще говоря, выбор того или иного алгоритма интерполяции не ограничивается упомянутыми выше методами и определяется пользователем в зависимости от решаемой задачи.

#### Выбор формата представления данных.

Форматы представления научных данных должны отвечать следующим основным требованиям:

- способность к объединению в одном файле записей самых разных типов и структур;
- ориентация на большие объемы данных;
- гарантируемая форматом и поддерживаемая его инструментарием мобильность;
- обеспечение быстрого ввода/вывода;
- эффективное хранение на различных носителях;
- расширяемость.

С учетом этих требований авторами проекта для создания специализированной базы дрейфтерных данных был выбран формат netCDF (network Common Data Form), разработанный в рамках программы Unidata Университетской корпорации по атмосферным исследованиям (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR).

Формат и интерфейс netCDF способен обеспечить хранение и обработку дрейфтерных данных в переносимом и самоопределяемом виде. Во время разработки базы данных большое внимание было уделено эффективности представления данных. Разработан пакет утилит для манипулирования

данными, представленными в формате netCDF, обеспечивающий произвольный доступ к данным как поэлементно, так и к нужным частям данных большого размера.

Разработка структуры специализированной базы данных. База данных дрейфтерных измерений была создана с использованием пакета программ MatLAB 7.0. Она состоит из 4 файлов, каждый из которых содержит результаты последовательно усложняющихся уровней обработок:

- база данных уровня 1 – первичные данные;
- база данных уровня 2 – данные уровня 1, отфильтрованные по заныванию (лагранжева база данных);
- база данных уровня 3 – отфильтрованные на предмет сбоев данные по атмосферному давлению и лагранжевые данные по температуре и координатам;
- база данных уровня 4, в которую добавлена таблица координат, полученных с помощью разных методов интерполяции координат буев из базы уровня 3.

Программно управляемая структура предложенной версии специализированной базы данных обеспечивает возможности оперативного пополнения данными наблюдений и функционального наращивания.

**Заключение.** Основные результаты работы состоят в систематизации дрейфтерной информации, как архивной, полученной в черноморских экспериментах в 2001-2006 гг., так и текущей, разработке алгоритмов фильтрации, позволивших повысить достоверность дрейфтерной информации, созданию специализированной базы данных измерений дрейфтеров, обеспечивающей доступ пользователей к данным дрейфтерного мониторинга Черного моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lumpkin, R., Pazos, M. Measuring surface currents with SVP drifters: the instrument, its data and some results. Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics Cambridge University Press, 2005. (in press). / Eds. Griffa A. et al.
2. В.Я. Катковник Непараметрическая идентификация и сглаживание данных: метод локальной аппроксимации. – М.: Главная редакция физико-математической литературы. 1985. – 336 с.