

УДК 551.465.4+681.518

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ ВОД ЯПОНСКОГО МОРЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ СИНОПТИЧЕСКОГО МАСШТАБА

Д.Д. Каплуненко, В.Б. Лобанов,
В.И. Ростов

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

Рассматриваются вопросы создания и функционирования системы управления разнородной океанографической информацией для изучения структуры и динамики вод синоптического масштаба в Японском море. Данная система реализована в виде виртуальной базы данных (ВДБ), имеющей web-интерфейс и содержащей данные и метаданные, формирующие единое информационное пространство из данных контактных (in situ) судовых измерений, доступных в рамках проекта NEAR-GOOS, базы данных ТОИ и других организаций, данных измерений дрейфующих зондирующих буев проекта Арго, а также данных спутникового дистанционного зондирования уровня поверхности моря (AVISO) и температуры поверхности моря (NGSST). Для указанных данных выполняется виртуальное объединение, позволяющее рассматривать их в новом качестве, как инструмент изучения синоптической динамики Японского моря. Данная ВДБ имеет ГИС-интерфейс и предоставляет в настоящий момент доступ к данным с 1999 по 2006 г. Приводятся примеры использования системы и обсуждение вариантов ее развития. Показано, что комбинации из данных судовых измерений, дрейфующих буев, а также данных спутникового дистанционного зондирования позволяют улучшить представление о синоптических структурах в Японском море, получить их кинематические и динамические параметры, оценить характеристики водных масс даже для относительно небольших по размеру антициклонических вихрей, обнаруженных в северной части Японском море.

ВВЕДЕНИЕ

Синоптическая динамика вод является важным компонентом циркуляции Японского моря [5, 14, 28]. Она характеризуется пространственно-временными масштабами от нескольких суток до месяцев и от десятков до сотен километров и ассоциируется с меандрированием течений и формированием вихревых образований [2, 7]. Мониторинг эволюции таких структур требует регулярно повторяемых детальных гидрологических съемок, выполнение которых связано со значительными затратами и редко реализуется для большей части Мирового океана. Однако для

Японского моря имеющийся объем океанологической информации, доступной через Интернет, в некоторых случаях может быть уже достаточным для отслеживания синоптических структур. В ходе серии международных проектов, реализованных в последнее десятилетие, таких как CREAMS (Circulation Research in East Asian Marginal Seas – Исследование циркуляции окраинных морей Восточной Азии) и CREAMS-II [10, 25], а также национальных программ мониторинга вдоль повторяющихся разрезов были выполнены значительные объемы СТД-зондирований, дающих представление о вертикальном распределении солености, температуры и давления морской

воды, с хорошим покрытием в японских и корейских водах и менее детальными наблюдениями в российском секторе моря [19, 29].

Однако пробелы в пространственном распределении судовых измерений могут быть во многих случаях заполнены на основе данных дрейфующих зондирующих буев программы Арго (Argo), которые весьма интенсивно начали использоваться в Японском море с 1999 года [11, 24]. Объединение данных СТД-измерений, полученных с судов и с буев, может дать весьма детальную картину распределения гидрологических параметров [15, 16]. Кроме того, отслеживание траекторий буев позволяет

получать информацию о течениях в толще вод, характеризующихся как стационарной непериодической составляющей [11], так и движениями синоптического и инерционного масштабов [22, 23].

Другим важным источником информации о синоптической динамике вод являются данные дистанционного зондирования с искусственных спутников Земли. Использование спутниковых данных позволяет перейти к исследованию более мелких деталей с более высоким пространственно-временным разрешением, например, как в случае с аномалией уровневой поверхности моря (УПМ) [20] и температурой поверхности океана (ТПО) [9]. Преимущества получаемых со спутников данных позволяют использовать их во множестве работ, связанных с исследованием формирования и эволюции синоптических вихрей в Японском море и прилегающих регионах [5, 6, 13, 17, 19, 27].

Однако все эти данные находятся в различных онлайн-архивах и информационных базах. В настоящий момент большая доля данных предоставляется через системы оперативных и архивных баз стран-участниц Регионального проекта глобальной системы наблюдения океана для северо-восточной Азии (NEAR-GOOS), которыми являются Китай, Республика Корея, Россия и Япония. В этом проекте национальные базы «замыкаются» на региональные, к которым организован свободный доступ через Интернет. В то же время другие виды данных распространяются исключительно через ведомственные ресурсы или базы данных информационных агентств отдельных стран. При этом объем всех видов данных,

особенно получаемой со спутников оперативной информации, в последнее время существенно возрастает [4], что делает малопродуктивным физическое «коллекционирование» всей информации в одном месте. Более разумным выглядит создание виртуальной базы данных (ВДБ), специфически ориентированной на определенные задачи и обновляемой через изменение ссылок на метаданные. В связи с этим основной целью настоящей работы является разработка системы ассимиляции данных, использующей указанные данные и технологии с предоставлением информации о синоптических процессах в Японском море в интерактивном режиме. Некоторые примеры использования системы и ее данных будут рассмотрены ниже. Вопросы функционирования интерфейса системы рассматриваются вне этой статьи, в технической документации [3].

■ ДАННЫЕ

В процессе создания системы нами были использованы данные за период с 1998 по 2004 г., когда наиболее активно выполнялись океанографические наблюдения по международным программам CREAMS-II и CREAMS-III с участием Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева (ТОИ). Проведенные наблюдения обеспечивали довольно хорошее пространственное покрытие СТД-зондированиями северной и особенно северо-восточной части моря. Данные по южной части моря были получены их архивной базы (Regional Delayed Mode Data Base, RDMDB) проекта NEAR-GOOS, поддерживаемой Японским океанографи-

ческим центром данных (Japan Oceanographic Data Center, JODC, <http://near-goos1.jodc.go.jp> и <http://jdoss1.jodc.go.jp>) и Корейского океанографического центра данных (Korean Oceanographic Data Center, KODC, <http://www.nfrda.re.kr/kodc>). Траектории дрейфа и профили СТД-зондирования буев Арго были получены с официального сайта проекта (<http://www.argo.ucsd.edu>). Особенностью этих буев является их постоянный дрейф на глубине 800 метров (в случае Японского моря) с периодическим подъемом к поверхности для выполнения СТД-зондирования и передачи оперативной информации через спутниковую систему связи каждые 7 дней [11] (частота всплытия и глубина дрейфа буев при необходимости могут быть изменены).

Данные по аномалии уровневой поверхности моря (УПМ) были взяты по результатам альтиметрических измерений со спутников TOPEX/POSEIDON и ERS-2, объединенных в проекте AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data, проект архивации, валидации и интерпретации спутниковых океанографических данных, <http://www.aviso.oceanobs.com/duacs>). Данные представляют собой интерполированные сеточные поля с недельным разрешением по времени и $1/3^\circ$ по пространству в течение 11 лет (с октября 1992 г. по настоящее время). Данные ТПО были получены со спутников серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, Национальной Администрации по исследованию Океана и Атмосферы, США), имеющих на борту улучшенный радиометр очень высокого разрешения (Advanced Very High Resolution

Radiometer, AVHRR) в Межинститутском центре космического мониторинга Дальневосточного отделения Российской академии наук (<http://www.satellite.dvo.ru/>). Кроме этого, нами были использованы ТПО-данные проекта NGSST (New Generation Sea Surface Temperature, Новое поколение данных ТПО), который был недавно реализован в Университете Тохоку (Япония) (<http://www.ocean.caos.tohoku.ac.jp>) [12]. Продукты NGSST основаны на объединении различных спутниковых данных о ТПО, включая традиционные измерения инфракрасного радиометра NOAA AVHRR и данные микроволновых спектрометрических MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer - сканирующий спектрометрический среднего разрешения) и AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System - улучшенный микроволновый сканирующий радиометр системы наблюдения за Землей) спутника Aqua. Таким образом, используются преимущества данных типов сенсоров: высокое пространственное разрешение инфракрасного диапазона и независимость от облаков для микроволновых измерений. Данные проекта NGSST доступны с 2002 года по настоящее время.

■ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Для адекватного мониторинга процессов синоптического масштаба в Японском море необходима регулярная обработка большого количества данных из различных источников. Такие данные пространственно распределены в различных национальных, региональных и международных агентствах. Это вызывает трудности и огра-

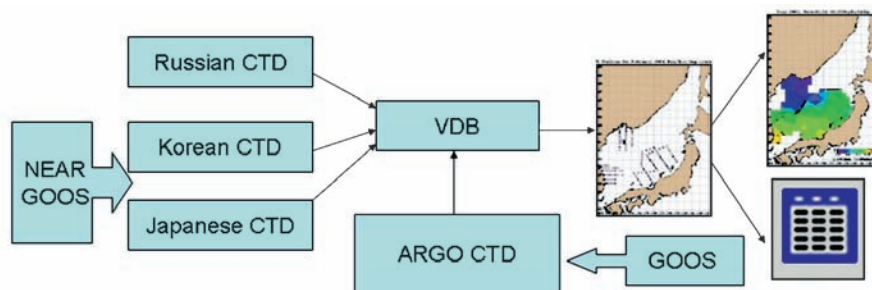


Рис. 1. Схема обработки данных, реализованная в использованной технологии ВДБ

ничения в обмене данными и получении объективного результата анализа данных. Таким образом, мы предполагаем, что виртуальное объединение данных *in-situ* СТД-зондирований [15] и их сочетание со спутниковыми альтиметрическими данными TOPEX/POSEIDON и ERS-2 и спутниковой информацией проекта NGSST позволят представить результаты в простой и удобной форме, дающей возможность провести анализ синоптической динамики вод Японского моря.

Объединение данных, относящихся к предмету изучения, в «единое информационное пространство» [4] было выполнено с использованием технологии виртуальных баз данных (ВДБ), известной также как GRID-технология. В данном случае ВДБ-технология состоит в том, чтобы объединить удаленные друг от друга пространственно разнородные данные в единую систему с функциями системы управления базы данными. При этом входящие в систему источники данных могут быть как базами данных или архивами, так и просто структурированной информацией, описание которой доступно в виде метаданных. В настоящее время реализация ВДБ представляет собой web-сайт, содержащий «ядро», выполняющее оптимальную интерполяцию гидрологического полей на осно-

ве данных дистанционного зондирования и измерений *in-situ*. При этом отличие от обычных проблемно-ориентированных баз данных состоит в том, что в данном случае более широко используются метаданные, содержащие описание необходимой информации, нежели сами данные в виде проблемно-ориентированной базы данных. Таким образом, если информация на сайте-владельце оригинальных данных каким-либо образом обновляется или исправляется, то и информация на web-сайте ВДБ также обновляется.

Схема обработки данных по ВДБ-технологии в описываемой реализации дана на рис. 1. По сути ВДБ представляет собой web-сайт, расположенный по адресу <http://vdb-jes.poi.dvo.ru>. Сайт содержит ядро, позволяющее просматривать, объединять и получать интерполированные поля гидрологических параметров, содержащих информацию GOOS, NEAR-GOOS с дополнением спутниковой и батиметрической информации, если необходимо.

Современное состояние Интернет и Интранет сетей (объем трафика, пропускная способность канала) в целом в настоящее время не позволяет предоставлять быстрый доступ и необходимые протоколы обмена между всеми данными, усваиваемыми системой. Таким об-

разом, для функционирования системы в настоящее время используется экспериментальная схема обмена данными между локальными и удаленными ресурсами, с использованием ГИС сервера ТОИ (<http://gis.poi.dvo.ru/>), проект по сбору перспективных океанографических данных, в т.ч. океанологических съемок, спутниковых наблюдений по Дальневосточному региону и северо-западной части Тихого океана, а также интегрированной базы информационных ресурсов по океанографии и состоянию морской среды Дальневосточного региона России (<http://pacificinfo.ru/>), специализированный веб-сайт ТОИ в сети ДВО РАН, самостоятельный региональный сегмент Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), поддерживающий базу данных по морским экспедициям ТОИ, проведенным начиная с основания института [1, 8]). Схема информационного обмена приведена на рис. 2. Соединение и кэши-

рование информации с удаленными источниками проходит через сервер ГИС ТОИ (данные национальных баз NEAR-GOOS), данные по российскому сегменту NEAR-GOOS и рейсам ТОИ берутся из базы POI DMDB NEAR GOOS.

Данные из архивов спутниковой информации выбираются напрямую из баз данных об альтиметрии и ТПО указанных выше проектов. Выбор такой схемы информационного обмена обусловлен не только недостатками текущего состояния интернет и интранет сетей, но и ожиданием увеличения количества данных, связанных с региональными исследовательскими работами и проектами по мониторингу окраинных морей России.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера использования схемы объединения данных, как указано выше, рассмотрим возможность работы с метаданными буев Argo

(рис. 3) и результаты обработки объединенных данных *in-situ* по судовым наблюдениям и данным дрейфующих зондирующих буев для анализа синоптической динамики вод.

Как известно, наиболее крупные и интенсивные вихревые образования наблюдаются в области взаимодействия течений Куроисио и Ойясио, известной под названием области субарктического фронта. Чаще всего они располагаются непосредственно к востоку от о-ва Хонсю, и связаны с развитыми меандрами течения Куроисио [2, 6, 17, 27]. К северу от основной ветви Куроисио формируются антициклонические вихри, имеющие вращение частиц воды по часовой стрелке и выделяющиеся на окружающем фоне как области более теплых вод (теплое ядро) и положительной аномалии УПМ, регистрируемой по данным спутниковой альтиметрии. В левой части рис. 3 отдельно представлены траектории движения буев, а в правой части траектории наложены на поле УПМ. Можно отметить, что согласно этому рисунку дрейф буев определенно подвержен влиянию вихрей и меандров Куроисио. Рисунки 3,а и 3,с демонстрируют траекторию буя АРЕХ под номером 29014, запущенного в июле 1999 г. и вовлеченного в антициклонический вихрь Куроисио, расположенный около о-ва Хоккайдо, до марта 2000 г. Траектория буя позволяет рассчитать скорости течений внутри вихря, в то время как СТД-зондирования дают информацию о его гидрологической структуре и ее эволюции. В частности, на основании этих данных были выполнены расчеты теплосодержания в верхнем изотермическом слое вихря и его изменения за указанный период [30].

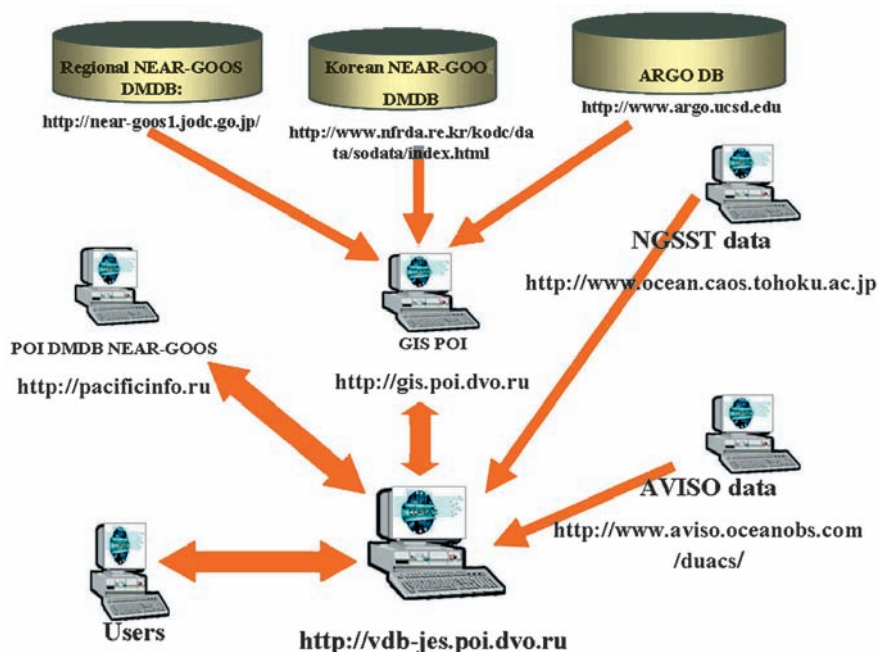


Рис. 2. Схема информационного обмена между серверами данных и ВДБ-сайтом

Другой пример повторяющегося дрейфа буев по петлеобразной траектории в направлении по часовой стрелке, соответствующем антициклоническому движению вод, можно увидеть к востоку от южного побережья о-ва Хонсю, где наиболее часто возникает первый меандр течения Куроисио (рис. 3,б). Комбинация данных с УПМ (рис. 3,д) подтверждает, что эта область ассоциируется с антициклонической завихренностью течений, определяемой меандром Куроисио и формированием вихря с теплым ядром. В течение периода с января по июль 2001 г. в данном регионе наблюдалось не менее 7 буев, прошедших через область вихря. По классификации Всемирной Метеорологической Организации (ВМО), их идентификационные номера 21856, 29044, 29045, 29046, 29047, 29048, 29078. В нашей системе каждый из этих буев может быть отслежен отдельно с использованием функций ГИС-интерфейса системы.

Синоптические вихри в Японском море имеют меньший пространственный масштаб и меньший контраст в полях ТПО и УПМ по сравнению с вихрями и меандрами Куроисио [5, 19, 27]. При этом их параметры и эволюция аналогичным образом могут быть определены с помощью нашей системы. В качестве примера рассмотрим период выполнения экспедиционных работ ТОИ ДВО РАН на НИС «Профессор Гагаринский» (рейс №30) с 12 октября по 12 ноября 2000 г. Наблюдения охватывали только северо-западную часть Японского моря (рис. 4). Для характеристики структуры вод южной части моря система привлекает данные СТД-зондирований, выполненных в этот же период японскими

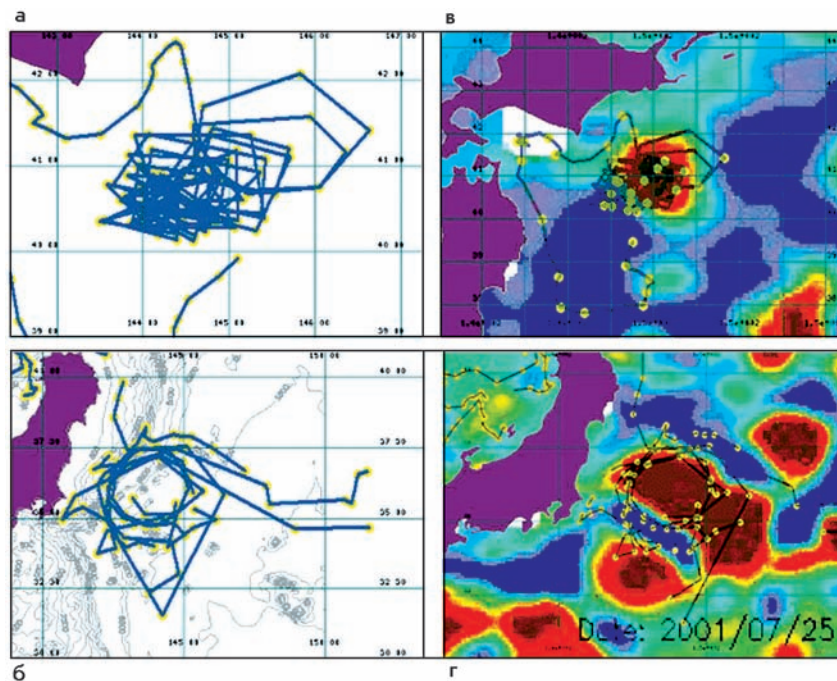


Рис. 3. Поведение дрейфующих буев Арго в области антициклонических меандров и вихрей Куроисио

и корейскими экспедициями, доступные через базы данных проекта NEAR-GOOS, а также данные буев Арго за сентябрь-ноябрь 2000 г. На рис. 4,а,б указаны метаданные наложены на данные спутниковой альтиметрии за этот же период времени. В поле УПМ выделяются четыре изолированные области положительных аномалий, ассоциируемые с антициклоническими вихрями в северной части моря. Рассмотрим два из них, отмеченные как А и В. В области вихря А были выполнены специальные измерения, пересекающие его центр в рейсе НИС «Профессор Гагаринский». В то время как в области вихря В была выполнена только одна станция. Однако массив СТД-наблюдений удалось значительно расширить за счет включения данных с буев Арго. Как оказалось, два буя (номера 21863 и 21867 по классификации ВМО) были захвачены вихрем В и некоторое время совершали движение по

петлеобразным траекториям в его пределах (рис. 4,б).

Характеристики дрейфа буев, аномалии УПМ и данные СТД-зондирований могут быть использованы для расчета динамических характеристик и оценки структуры вод вихря. В качестве примера на рис. 4,с,д показано вертикальное распределение солёности вдоль разрезов пересекающих области вихрей. Специфической особенностью обоих вихрей является ядро вод относительно высокой солёности в верхнем слое (50-150 м), генетически связанное с Цусимским течением, и ядро вод пониженной солёности в слое 200-350 м. Эта водная масса захватывается вихрем в процессе его формирования в северо-западной части моря [5, 19].

Продемонстрированные экстремально низкие значения солёности в нижнем ядре вихрей подтверждают возможность их перемещения на значительные расстояния от

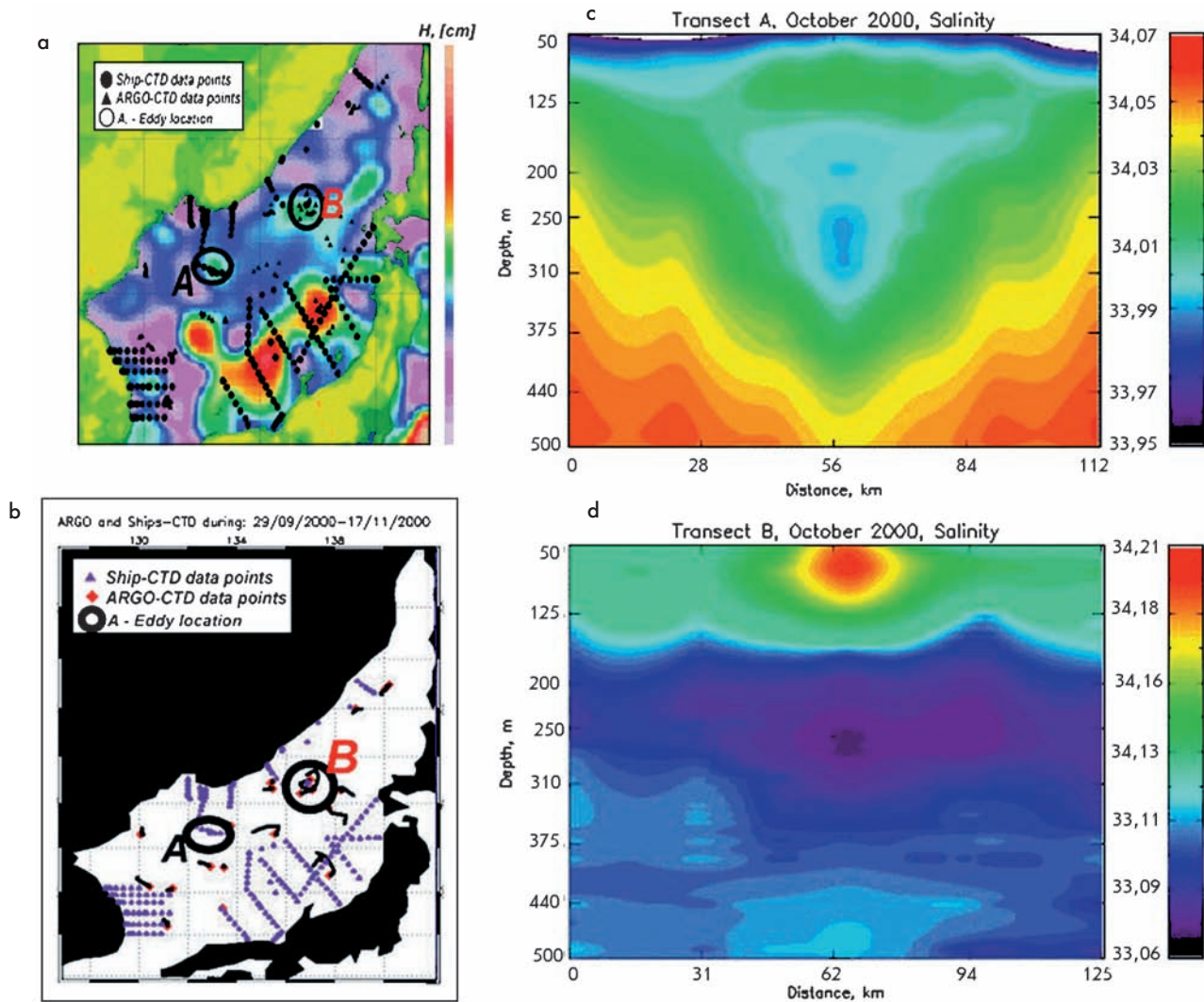


Рис. 4. Пример объединения данных нескольких судовых экспедиций, дрейфующих буев и спутниковых измерений для Японского моря. Точки расположения СТД-зондирований (за период 29.09-17.11.2000 г.) наложены на поле спутниковой альтиметрии (за 15.11.2000) (a), траектории буев Арго за данный период (b) и разрезы по солености для вихрей А (c) и В (d)

места формирования. Вихрь В в момент съемки находился весьма далеко на востоке, и обнаруженные в его верхнем слое воды повышенной солености указывают на недавнее вторжение в вихрь вод Цусимского течения. Однако присутствие вод пониженной солености в его нижнем ядре свидетельствует о северо-западном происхождении вихря и, очевидно, весьма продолжительном времени его существования. Кроме того, это подтверждает важную роль вихрей в переносе вод пониженной солености на значительные расстояния и формировании

промежуточной водной массы пониженной солености Японского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным итогом проделанной на сегодняшний момент работы является создание основы системы ассимиляции океанографических данных (система управления ВДБ), позволяющей проводить исследования структуры и динамики вод Японского моря с учетом процессов синоптического масштаба. Объединение данных наблюдений *in-situ*

(судовые СТД-зондирования из базы NEAR-GOOS, данные зондирований и дрейфа буев проекта Арго) и данных дистанционного зондирования (ТПО, УПМ) значительно расширяет возможности анализа синоптической динамики вод в масштабах всего Японского моря. Комбинирование различных видов доступной океанографической информации позволяет определить кинематические, динамические и структурные характеристики даже для относительно небольших по размеру антициклонических вихрей в северной части моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева Е.В., Ростов И.Д. Разработка и реализация баз океанографических данных по северной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2004. 143 с.
2. Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Мони́н А.С. Синоптические вихри в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 512 с.
3. Каплуненко Д.Д. Система диагностики состояния и динамики вод Японского моря для мезомасштабных процессов // Океанография и состояние морской среды Дальневосточного региона России. Интегрированная база информационных ресурсов. Документация на технологии ТОИ [Электронный ресурс]. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2006. http://pacificinfo.ru/data/esimo/poidoc/АПК агрегирования_2.doc.
4. Кудашев Е.Б., Балашов А.Д., Филонов А.Н. От Спутникового Экологического Мониторинга к Электронным Библиотекам спутниковой информации в образовании и исследовании Земли из космоса // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. Специальный выпуск. С. 50–62.
5. Лобанов В.Б., Рогачев К.А., Булатов Н.В., Ломакин А.Ф., Толмачев К.П. Долгопериодная эволюция теплого вихря Курисио // Доклады АН СССР. 1991. Т. 317, N 4. С. 984–988.
6. Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н., Тищенко П.Я., Тэлли Л.Д. Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Т.1. Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 450-473.
7. Мони́н А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 262 с.
8. Ростов В.И., Пан А.А., Ростов И.Д. Телекоммуникационный обмен данными о состоянии морской среды между странами – участниками NOWRAP // Вестник ДВО РАН. 2008. №3. С. 14–19.
9. Трусенкова О.О., Лобанов В.Б., Каплуненко Д.Д. Изменчивость температуры поверхности Японского моря и ее связь с полем завихренности ветра // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. № 4. С. 553–566.
10. Danchenkov M.A., V.B. Lobanov, S.C. Riser, K. Kim, M. Takematsu and J.-H. Yoon. A history of physical oceanographic research in the Japan/East Sea // Oceanography. 2006. Vol. 19, No 3. P. 18–31.
11. Danchenkov M.A., Riser S.C., Yoon J.-H. Deep currents of the central Sea of Japan // Pacific Oceanography. 2003. Vol. 1, No. 1. P. 6–15.
12. Guan L., Kawamura H. Merging Satellite Infrared and Microwave SSTs: Methodology and Evaluation of the New SST // Journ. of Oceanography. 2004. Vol. 60. P. 905–912.
13. Hirose N., Varlamov S.M., Yoon J.-H., Yanagi T. Development of the Japan/East Sea forecasting system // Geophys. Research Abstracts. 2005. Vol. 7. 06247.
14. Hosoda K, Hanawa K. Anticyclonic eddy revealing low sea surface temperature in the sea south of Japan: Case Study of the Eddy Observed in 1999–2000 // Journ. of Oceanography. 2004. Vol. 60. P. 663–671.
15. Ichiye T., Takano K. Mesoscale eddies in the Japan Sea // La Mer. 1988. Vol. 26. No 2. P. 69–75.
16. Kaplunenko D.D., Lobanov V.B., Ladychenko S.Y., Ro Y.J., Kim E. Web-based CTD data sets for the East / Japan Sea in application to large and meso-scale hydrographic structure // Pacific Oceanography. 2005. Vol. 3, No 1. P. 31–37.
17. Kaplunenko D.D., Ro Y.J., Kim E. Web-based optimal interpolation of the hydrographic data sets from various sources for the East Sea // Proceedings of the Autumn Meeting. 2004, November 4-5, of the Korean Society of Oceanography. Incheon: Inha University, 2004. P. 219–223.
18. Kawamura H., Mizuno K., Toba Y. Formation process of a warm-core ring in the Kuroshio-Oyashio frontal zone—December 1981–October 1982. // Deep-Sea Res. 1986. S11/S12. P. 1617–1640.
19. Kim K., Kim Y.-G., Cho Y.-K., Takematsu M., Volkov Y. Basin-to-basin and year-to-year variation of temperature and salinity characteristics in the East Sea // Journ. of Oceanography. 1999. Vol. 55. P. 103-109.
20. Lobanov V.B., Ponomarev V.I., Tishchenko P.Ya. et al. Evolution of the anticyclonic eddies in the northwestern Japan/East sea // Proc.11th PAMS/JECSS Workshop. April 11-13, 2001. Cheju, Korea, 2001. P. 37–40.
21. Morimoto A., Yanagi T., Kaneko A. Eddy field in the Japan Sea derived from satellite altimetric data // Journ. of Oceanography. 2000. Vol. 56. P. 449 – 462.
22. Park J.-J., Kim K., Crawford W. R. Inertial currents estimated from surface trajectories of ARGO floats // Geophys. res. lett. 2004. Vol. 31. L13307, doi:10.1029/2004GL020191.
23. Park J.-J., Kim K., King B. A. Global statistics of inertial motions // Geophys. res. lett. 2005. Vol. 32. L14612, doi:10.1029/2005GL023258.
24. Park Y.-G., Oh K.-H., Chang K.-I., Suk M.-S. Intermediate level circulation of the southwestern part of the East/Japan Sea estimated from autonomous isobaric profiling floats // Geophys. res. lett. 2004. Vol. 31. L13213, doi:10.1029/2004GL020424.
25. Riser S.C., Jacobs G. The Japan/East Sea: a historical and scientific introduction // Deep-Sea Res. II. 2005. Vol. 52, No 11-13. P. 1359–1362.
26. Senjyu T., Shin H.R., Yoon J.H. et al. Deep flow field in the Japan/East Sea as deduced from direct current measurements // Deep-Sea Res. II. 2005. Vol. 52. P. 1726–1741.
27. Sugimoto T., Tameishi H. Warm core rings, streamers and their role in the fishing ground formation around Japan // Deep Sea Res. 1992. Vol. 39. Suppl.1. P. 183–201.
28. Takematsu M., Ostrovskii A., Nagano Z. Observation of eddies in the Japan Basin interior // Journ. of Oceanography. 1999. Vol. 55. P. 237–246.
29. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V. et al. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // Geophys. res. lett. 2003. Vol. 30(4), 1159, doi:10.1029/2002GL016451.
30. Yoshida T., Hoshimoto M. Heat content change in the surface isothermal layer of a warm core ring in the sea east of Japan // Journ. of Oceanography. 2006. Vol. 62. P. 283–287.