

## Интеграция в спутниковую информационную систему See the Sea данных акустического доплеровского измерителя течений, полученных в ходе подспутниковых измерений

Д. А. Елизаров, Н. А. Князев, О. Ю. Лаврова, И. А. Уваров

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*  
*E-mail: dimaelik71@gmail.com*

Представлен веб-сервис, разработанный для хранения и обработки натуральных измерений, а также результаты интеграции данных акустического доплеровского измерителя течений (*англ.* Acoustic Doppler Current Profiler — ADCP) в систему спутникового мониторинга See the Sea (STS). Данные, использованные для разработки веб-сервиса, были получены в научных морских экспедициях, проведённых Институтом космических исследований РАН в 2016–2022 гг. с целью изучения гидрофизических характеристик прибрежных морских вод контактными и дистанционными методами. Веб-сервис предназначен для стандартизации и последующего экспорта данных натуральных измерений во внешние системы. Для предобработки данных использована программа на языке Python; она позволяет удалять выбросы в массиве данных и служит «прослойкой» между архивными данными и веб-сервисом. Для визуализации натуральных измерений предусмотрено построение контурных графиков физических параметров с учётом фильтров и осреднения, что позволяет наглядно оценить ситуацию по выбранной дате экспедиции. Также представлены результаты интеграции данных ADCP в STS, где работа с этими данными была реализована в виде отдельного программного модуля. Это позволяет визуализировать данные ADCP напрямую в интерфейсе STS, благодаря чему можно проводить анализ натуральных измерений совместно со спутниковыми изображениями и другой тематической информацией. Данный функционал был использован для исследования вихревых диполей. Проведённый в STS совместный анализ спутниковых данных и результатов подспутниковых натуральных измерений позволил определить характерные особенности трёхмерной структуры вихревых диполей.

**Ключевые слова:** спутниковая информационная система See the Sea, подспутниковые измерения *in situ*, акустический доплеровский профилограф течений, ADCP, веб-сервис, обработка и хранение данных, визуализация данных, вихревые процессы, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI

Одобрена к печати: 12.06.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-244-253

### Введение

В настоящее время для решения задач исследования Мирового океана и внутренних морей наиболее информативными становятся методы спутникового дистанционного зондирования с помощью активных и пассивных сенсоров, работающих в различных диапазонах электромагнитного спектра. Это связано с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съёмки одного и того же района и, как следствие, с систематическим получением полного покрытия всей Земли спутниковыми данными (Лаврова и др., 2022). Наличие на орбите нескольких приборов, предоставляющих информацию с высоким пространственным и временным разрешением, позволяет изучать многие гидрофизические процессы и явления, происходящие в море и в атмосфере над ним, такие как гидрологические и атмосферные фронты, вихревые процессы, внутренние волны, апвеллинг и многие другие. Одним из важных процессов являются морские течения, которые ответственны не только за перенос водных масс, различающихся по температуре, солёности (плотности), но и за распространение различных типов загрязнений. Особенно остро вопрос о распространении загрязнений как антропогенного, так и биогенного характера стоит в прибрежной зоне морей.

Изучение прибрежных течений на основе спутниковой информации возможно либо с помощью спутниковой альтиметрии, либо по серии радиолокационных или оптических изображений, полученных над одним и тем же районом с небольшим промежутком времени. Но в любом случае необходима валидация спутниковых данных, которая осуществляется,

прежде всего, на основе результатов измерений *in situ* (Arabi et al., 2020; Le Hénaff et al., 2020; Marmorino et al., 2010). Если стоит задача получения количественных характеристик, например скорости прибрежного течения или параметров вихревых структур, то очень важно, чтобы измерения *in situ* проводились синхронно со спутниковой съёмкой. К тому же совместный анализ спутниковых данных и измерений *in situ* позволяет получать трёхмерную картину морских процессов, что практически невозможно сделать, основываясь только на одном типе данных. Для получения полной и достоверной информации о течениях в прибрежной зоне необходимо использовать комплексный подход с применением всех доступных методов. Кроме того, требуется провести оценку достоверности используемых методов и уточнить пределы их применимости в зависимости от гидрометеорологических условий региона, а также его батиметрии, береговой черты и условий дистанционной съёмки.

Совместный анализ спутниковых данных и результатов подспутниковых измерений — непростая задача. Прежде всего необходима точная географическая привязка данных, полученных разными методами. Для выполнения такого совместного анализа требуются специальный веб-сервис и специальные «инструменты». Именно такой сервис был включён в информационную систему See the Sea (STS), для того чтобы проводить совместный комплексный анализ спутниковых данных и результатов подспутниковых измерений. В настоящей статье рассматриваются результаты интеграции в STS данных акустического доплеровского профилографа течений (*англ.* Acoustic Doppler Current Profiler — ADCP) — одного из приборов, с помощью которых проводились синхронные подспутниковые измерения.

## Информационная система See the Sea

See the Sea — это информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Она является составной частью Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Лаврова и др., 2019; Лупян и др., 2019). Основным элементом системы — веб-сервер, обеспечивающий доступ пользователей к спутниковым данным и результатам их обработки, а также к инструментам анализа данных. В составе веб-сервера на основе разработанной в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) технологии GEOSMIS (Толпин и др., 2011) реализован картографический интерфейс для работы с пространственной информацией. Он предоставляет возможность не только визуализировать данные, но и управлять различными процедурами их анализа и обработки, которые осуществляются с использованием распределённых вычислительных ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Географическая основа включает ряд векторных слоёв, используемых для визуализации данных. В их числе: береговая линия, карты глубин, гидрография суши и пр.

В STS доступны все спутниковые данные и результаты их обработки, имеющиеся в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг». С текущим состоянием этих архивов можно ознакомиться по адресу: <http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=6>. В системе предусмотрена работа со спутниковыми данными, полученными в сверхвысокочастотном, видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра. В состав системы входит также сервер баз данных (БД), предназначенный для хранения различной специализированной информации. В STS содержится ряд сервисов, ориентированных на возможность выделения и описания разных процессов и явлений в океане и атмосфере над ним (вихревые процессы, поверхностные проявления внутренних волн, течения, поверхностные загрязнения, процессы, связанные с взаимодействием океана и атмосферы, и др.), а также на ведение долговременных баз данных таких описаний (Толпин и др., 2011).

Большое преимущество системы STS заключается в том, что в ней сформированы БД различных явлений и процессов в океане и атмосфере над ним, выявленных по данным спутникового зондирования Земли. Базы данных формируются и постоянно пополняются в процессе аннотирования конкретного спутникового изображения. Интерпретация осуществляется экспертом и проходит неоднократную проверку. В настоящее время в STS создано 37 БД различных явлений и процессов.

## Данные акустического доплеровского измерителя течений

Акустический доплеровский профилограф течений предназначен для измерения профиля скорости течения в водной толще. Принцип действия подобных профилографов основан на эффекте Доплера, заключающемся в определении смещения частоты отражённого акустического сигнала относительно частоты излучённого сигнала. Взвешенные в воде пассивные частицы, планктон, пузырьки воздуха и т. п. (далее — отражатели) отражают зондирующий сигнал, возвращающийся к трансдьюсеру профилографа, при этом частота отражённого сигнала имеет смещение относительно известной частоты зондирования, а величина самого смещения пропорциональна скорости потока с отражателями. Акустическая частота отражённого сигнала зависит от направления движения отражателя относительно источника зондирования. Отражатели, движущиеся от прибора, порождают сигнал с меньшей частотой, и наоборот, движущиеся к прибору порождают сигнал с большей частотой.

Определив величину смещения отражённого сигнала и его время прохождения, можно вычислить скорость течения на определённой глубине. Как правило, ADCP имеет четыре излучателя, которые испускают акустические импульсы в разных направлениях, что позволяет определить трёхмерное поле течений, а также оценить ошибку определения скорости и направления течения по избыточным измерениям четвёртым акустическим лучом. Использование встроенного магнитного компаса позволяет определить трёхмерное поле течений в географических координатах. В алгоритме измерений профилографом течений используются два основных допущения: отражатель и водный поток перемещаются с одной и той же скоростью; каждый из лучей трансдьюсера выполняет измерения в одинаковых условиях.

При профилировании зондируемый водный столб распределяется по вертикали на множество сегментов, называемых «ячейками» или «интервалами по глубине». Для получения вертикального профиля скорости потока отражённый сигнал обрабатывается для каждой «ячейки» по усреднённому значению глубины в интервале. Величина ячейки задаётся оператором при программировании прибора.

Профилограф всегда измеряет скорость движения водного потока относительно трансдьюсера профилографа. Если измерения выполняются с движущегося судна, то для получения истинной скорости движения потока должна быть определена скорость движения самого профилографа (или судна-носителя) относительно неподвижного дна. Тогда истинная скорость водного потока в каждой «ячейке» вычисляется как разность скорости течения в соответствующей «ячейке» (измеренной с движущегося судна) и скорости перемещения самого судна (профилографа) относительно неподвижного дна. Скорость движения профилографа относительно дна можно измерить либо с помощью опциональной функции профилографа Bottom Tracking (отслеживание дна), либо с помощью GNSS-навигации (GNSS — *англ.* Global Navigation Satellite Systems, глобальная спутниковая система навигации), которой комплектуется большинство современных судов.

При проведении натурных измерений прибор жёстко устанавливается на судне, либо в шахту, расположенную под килем судна, либо на жёсткую штангу с борта судна. Количество измерений зависит от времени работы прибора. В течение дня ADCP может запускаться несколько раз, тем самым формируя несколько измерений за один сеанс, после этого первичные данные с прибора проходят предобработку в программе WinRiver.

## Методика обработки данных ADCP

Прежде чем данные прибора ADCP можно будет визуализировать в системе спутникового мониторинга See the Sea, они проходят два этапа: предобработку и постобработку.

Под предобработкой подразумевается этап, когда натурные измерения загружаются в специально разработанный нами веб-сервис (см. ниже). На этом этапе устраняются выбросы, которые могут появляться при настройке ADCP, а также исключаются заведомо неверные данные — в местах, где невозможно однозначно измерить физические параметры. Для

этого используется программный модуль, написанный на языке Python и интегрированный в веб-сервис (<https://gitlab.com/laravel-vue-filter/python-importer-db/-/tree/adcp>).

После импорта данные хранятся в БД и доступны для чтения, модификации, удаления и повторной загрузки через веб-интерфейс. На этапе постобработки пользователю доступен пользовательский интерфейс, где он выбирает, какие измерения необходимо выгрузить, а также настраивает фильтры: минимальную скорость лодки, размер окна усреднения, номер записи для визуализации.

Фильтр по минимальной скорости лодки используется чтобы избежать моментов, когда в ходе буксировки ADCP могут использоваться другие зондирующие приборы, которые становятся источником помех, что отрицательно влияет на точность измерений.

Фильтр по размеру окна используется для осреднения данных по пространству на фиксируемой глубине. Здесь рассчитывается средняя скорость для каждой ячейки в выбранном интервале осреднения по ансамблям.

## Веб-сервис для хранения и обработки данных ADCP

Одна из основных задач — это хранение структурированных данных, полученных в ходе натурных измерений, с возможностью последующего экспорта обработанной информации во внешние системы.

Для решения этой задачи был реализован веб-сервис, позволяющий, во-первых, хранить данные в привязке к конкретным датам, а также группировать их в экспедиции для более удобной работы с ними; кроме этого, в веб-сервисе можно хранить любые дополнительные данные, например журнал экспедиции. Во-вторых, фильтровать данные перед импортом в веб-сервис; для каждого прибора написан индивидуальный скрипт, в результате работы которого в веб-сервис попадают только необходимые для дальнейшей работы измерения. В-третьих, обрабатывать данные перед экспортом из веб-сервиса; таким образом, проводится осреднение, фильтрация и другие операции над измерениями с целью подготовки данных для дальнейшей визуализации. В-четвёртых, визуализировать данные непосредственно в самом веб-сервисе; функционал системы позволяет отображать загруженные данные на встроенной карте, а также строить двумерные контурные графики, например скорости течения (рис. 1), направления течения (рис. 2, см. с. 248), обратного рассеяния (рис. 3, см. с. 248), по данным ADCP.

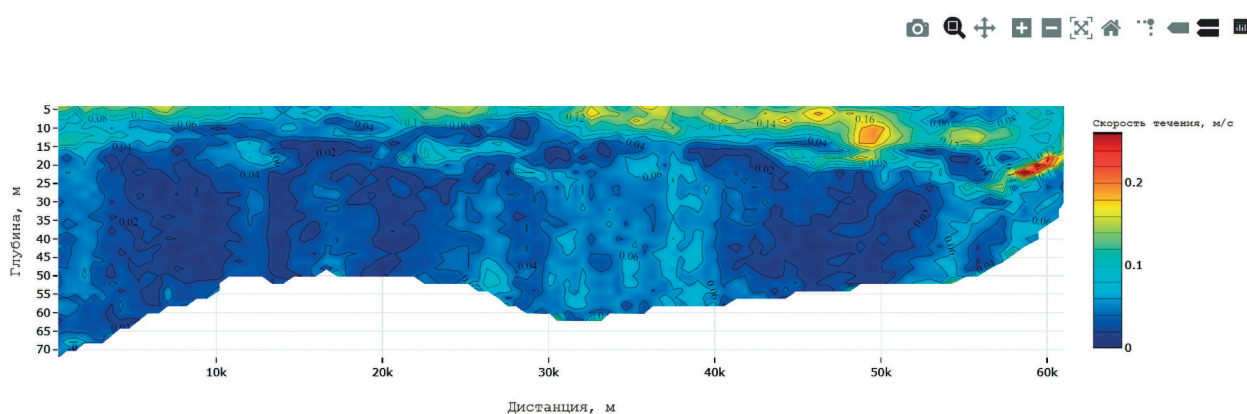


Рис. 1. Двумерный график скорости течения, построенный по данным подспутниковых измерений с помощью ADCP в юго-восточной части Балтийского моря (14.07.2021)

Веб-сервис написан на языке PHP (<https://www.php.net>) с использованием фреймворка Laravel (<https://laravel.com>) 6-й версии, пользовательский интерфейс написан на JavaScript с использованием фреймворка VueJS (<https://vuejs.org/>) второй версии.

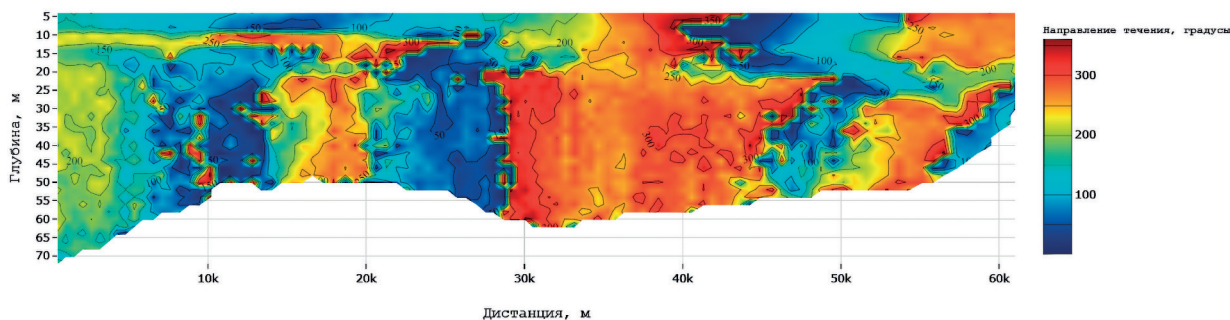


Рис. 2. Двумерный график направления течения, построенный по данным подспутниковых измерений с помощью ADCP в юго-восточной части Балтийского моря (14.07.2021)

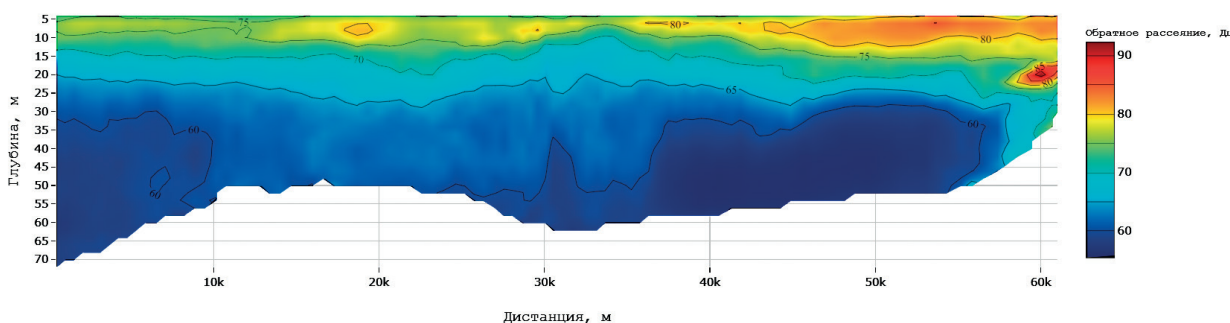


Рис. 3. Двумерный график обратного рассеяния, построенный по данным подспутниковых измерений с помощью ADCP в юго-восточной части Балтийского моря (14.07.2021)

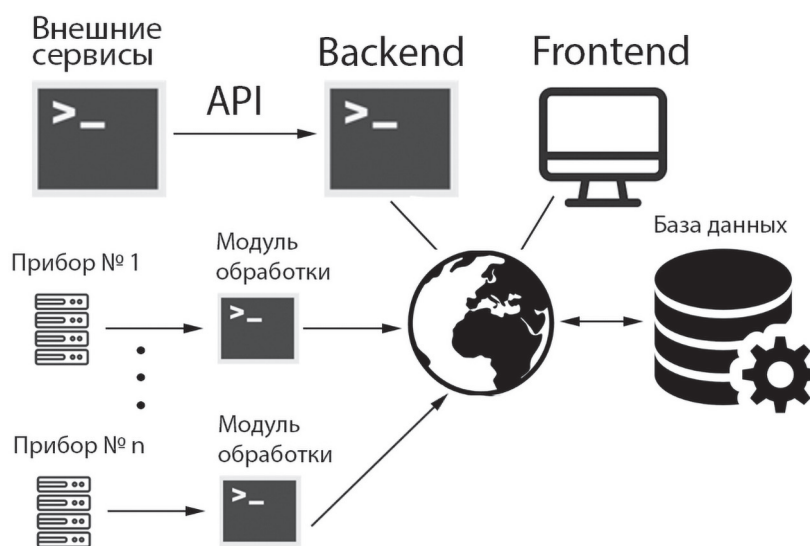


Рис. 4. Общая схема работы веб-сервиса

Принципиальная схема работы веб-сервиса представлена на рис. 4.

Реализация веб-сервиса на основе фреймворка Laravel позволяет использовать шаблонные решения для основных задач, таких как аутентификация, авторизация, маршрутизация,

кэширование, миграции и сессии. Для каждого прибора была спроектирована своя таблица в СУБД (система управления базами данных) MySQL, для импорта первичных данных каждого прибора написаны скрипты на языке Python (<https://www.python.org>). Для экспорта данных использовались скрипты на языке PHP, для визуализации данных — библиотека Plotly.js (<https://plotly.com/javascript>).

Проект имеет открытый исходный код и доступен для скачивания (<https://gitlab.com/laravel-vue-filter/laravel-vue>).

## Интеграция данных ADCP в информационную систему See the Sea

Была проведена интеграция между веб-сервисом, где хранятся данные прибора ADCP, и информационной системой спутникового мониторинга See the Sea. В результате этого натурные измерения, прошедшие первичную обработку и загруженные в веб-сервис, станут доступны для работы в STS. В рамках интеграции в систему спутникового мониторинга был добавлен отдельный интерфейс с натурными измерениями с возможностью получения данных из веб-сервиса, вывода их на интерфейс STS и последующего наложения спутниковых изображений для проведения комплексного мониторинга морских течений.

Схема взаимодействия между STS и веб-сервисом представлена на *рис. 5*. Для интеграции на стороне системы спутникового мониторинга был разработан модуль визуализации данных ADCP, который, с одной стороны, получает данные по API (англ. Application Programming Interface) с веб-сервиса, а с другой — визуализирует их средствами STS в виде отдельного слоя. Благодаря этому данные натурных измерений можно накладывать на другие слои, в том числе на различные спутниковые изображения.

В рамках интеграции блока обработки натурных измерений была реализована возможность визуализации подспутниковых данных с прибора ADCP непосредственно в картографическом интерфейсе See the Sea. Пользователю предлагается выбрать экспедицию из веб-сервиса, интересующий прибор и дату измерения. Это даёт возможность совместного анализа данных натурных измерений со спутниковыми изображениями и другими тематическими данными, представленными в системе.

Например, на *рис. 6* (см. с. 250) представлена визуализация данных ADCP на глубине 4 м с окном осреднения по количеству измерений равным 125. Направление стрелки — это направление течения, а размер стрелки пропорционален скорости течения на заданной глубине. С помощью инструментария STS можно просмотреть точные значения измерений, в том числе скорости и направления, кликнув возле ближайшей точки на карте. Результат наложения спутникового изображения и данных ADCP представлен на *рис. 7* (см. с. 250). Совместное использование спутникового изображения MSI (англ. Multispectral Instrument) Sentinel-2A от 16 июля 2021 г. и квазисинхронных измерений с помощью ADCP позволяет определить изменение направления и скорости течения с глубиной. Так, например, в представленном на *рис. 7* случае течение вблизи Балтийска меняет своё направление с северного на глубину 4 м (см. *рис. 7а*) на юго-восточное на глубине 16 м (см. *рис. 7б*). Это объясняется тем, что влияние северного ветра в приповерхностном слое с глубиной уменьшается, а увеличивается влияние на направление течения выноса вод из канала.



Рис. 5. Схема взаимодействия веб-сервиса с информационной системой See the Sea

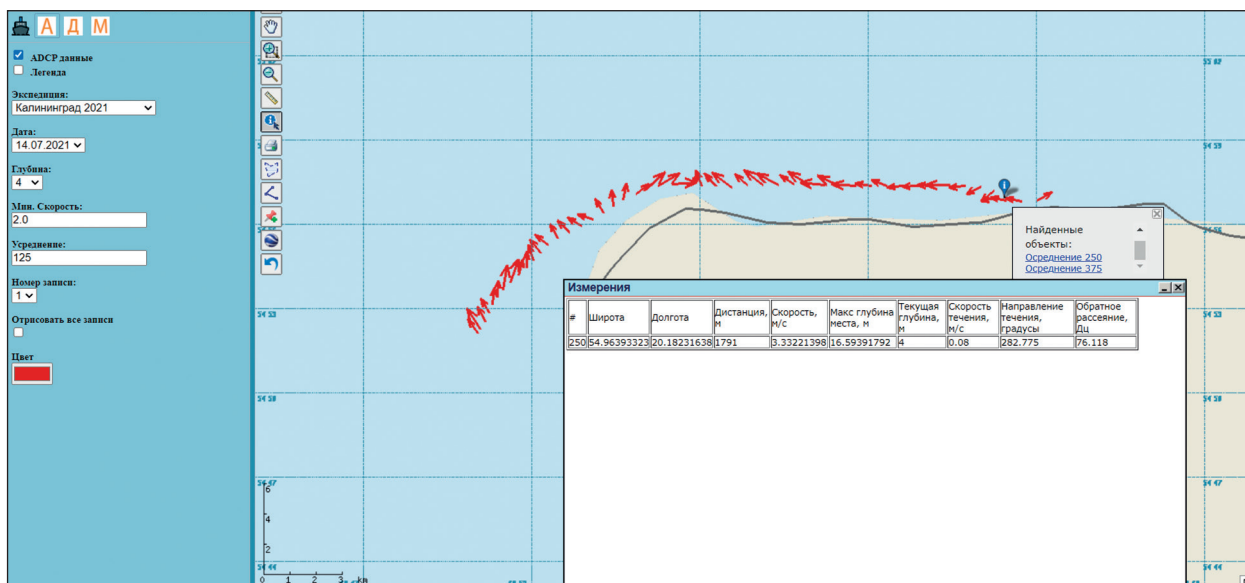


Рис. 6. Визуализация и фильтрация данных ADCP в STS. Левая панель предназначена для выбора параметров. Красные стрелки указывают направление течения по данным ADCP на выбранной в левой панели глубине (4 м)

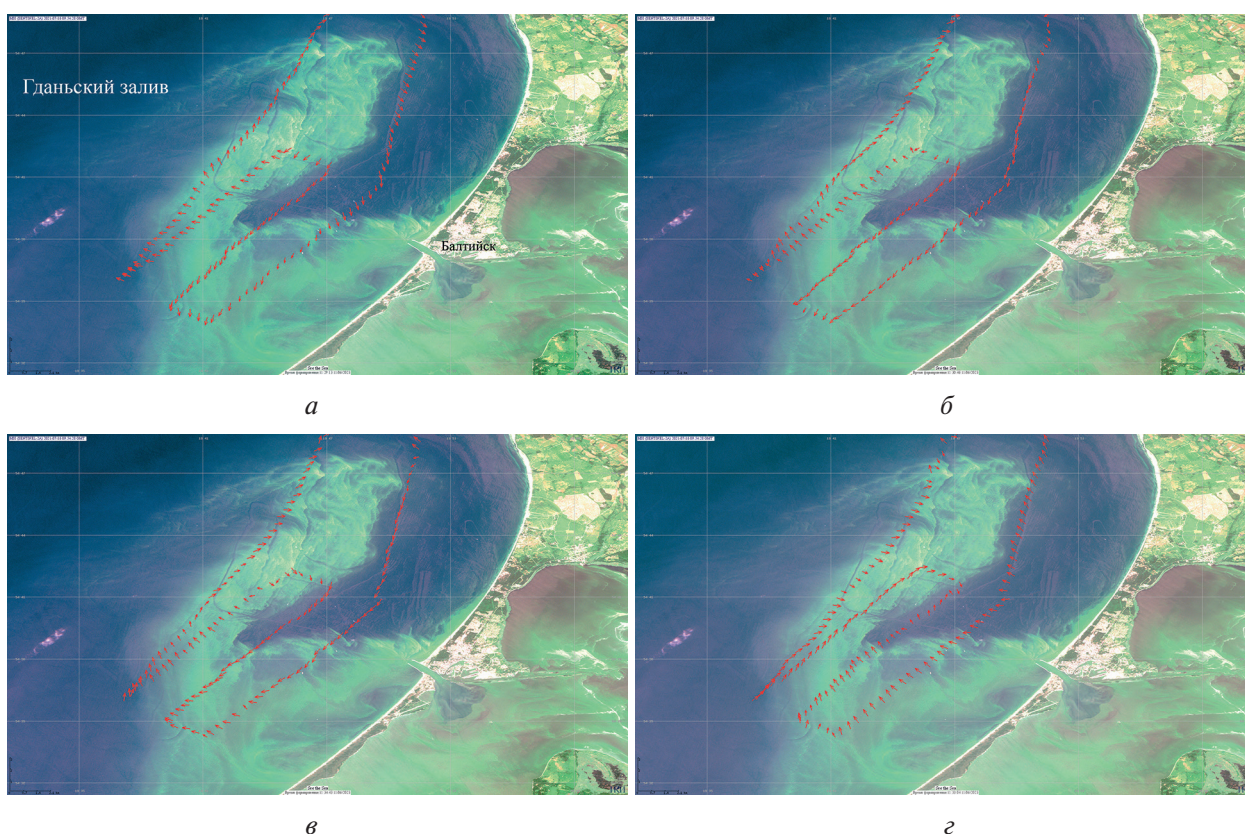


Рис. 7. Совместная визуализация данных ADCP и спутникового изображения MSI Sentinel-2A от 16 июля 2021 г. Красные стрелки указывают направление течения на разных глубинах: а — на 4 м; б — на 8 м; в — на 12 м; г — на 16 м

Данный функционал был использован для исследования вихревых диполей в прибрежной зоне юго-восточной части Балтийского моря у побережья Калининградской обл. (рис. 8, см. с. 251). На спутниковых изображениях, как радиолокационных, так и видимого диапа-

зона, полученных в период с 11 по 16 июля 2021 г., были выявлены вихревые диполи, параметры которых удалось определить во время синхронных подспутниковых измерений. Такой удачный эксперимент удалось осуществить благодаря оперативному получению спутниковых данных, что позволило определить район натуральных измерений. Полученные данные были внесены в веб-сервис, а работа с ними продолжалась в STS, где проводился совместный анализ данных натуральных измерений и спутниковой информации. В результате данного совместного анализа была определена трёхмерная структура вихревых диполей, выявленных на спутниковых изображениях. Подробно результаты этих исследований представлены в работе (Краюшкин и др., 2022).

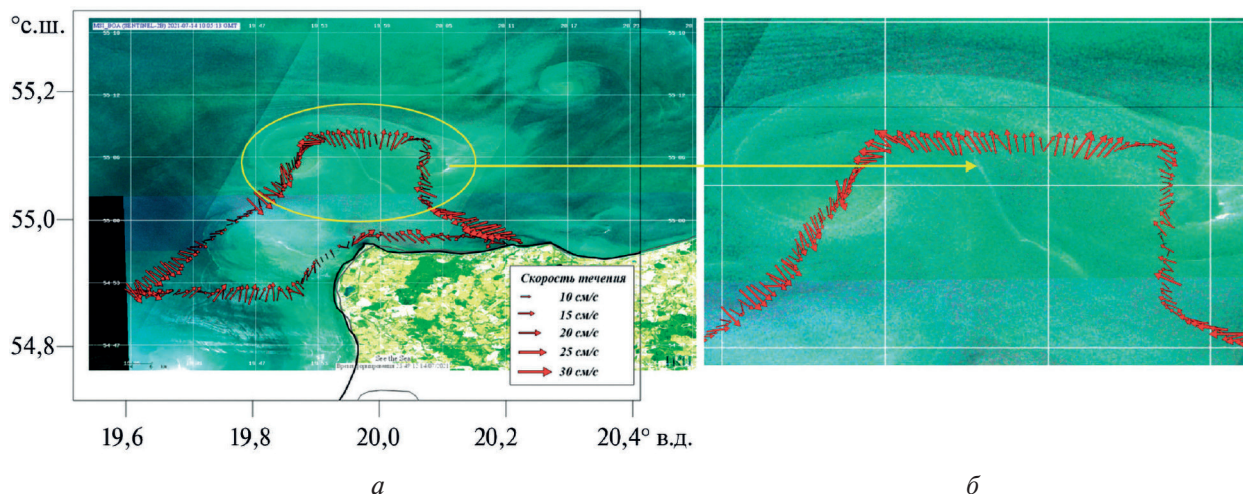


Рис. 8. Схема проведения экспериментальных работ по исследованию структуры течений в районе обнаружения вихревого диполя 14.07.2021: *а* — общая схема; *б* — увеличенный фрагмент, соответствующий пересечению судном вихревого диполя. Красные стрелки указывают направление и скорость течения на глубине 4 м (Краюшкин и др., 2022)

## Заключение

Проведение синхронных подспутниковых измерений представляется необходимым условием для валидации спутниковых данных. Для хранения, обработки, визуализации и проведения совместного анализа данных натуральных измерений и спутниковой информации был разработан веб-сервис, позволяющий интегрировать в спутниковую информационную систему See the Sea данные различных океанологических приборов, в частности акустического доплеровского измерителя течений (ADCP). Данные для веб-сервиса были собраны сотрудниками лаборатории аэрокосмической радиолокации ИКИ РАН во время проведения подспутниковых измерений в Чёрном, Балтийском, Каспийском и Азовском морях в 2016–2022 гг.

Разработанный программный модуль для предобработки первичных данных ADCP позволил стандартизировать и фильтровать измерения, подготавливая их к импорту в веб-сервис. Для визуализации и экспорта данных предусмотрен пользовательский интерфейс с различными настройками, в том числе с возможностью усреднять данные по количеству измерений. Веб-сервис предоставляет инструменты для построения двумерных графиков по скорости течения, его направлению и обратному рассеянию с учётом нескольких фильтров, обеспечивая наглядную оценку ситуации по выбранной дате проведения измерений в зависимости от стоящей перед пользователем задачи.

По результатам интеграции данных ADCP в систему спутникового мониторинга See the Sea представлен программный модуль для визуализации данных с прибора в интерфейсе STS. Это позволяет проводить как одиночный анализ измерений для исследования явлений прибрежных течений, так и совместный анализ для валидации и верификации спутниковых данных.



Результаты совместного анализа в среде STS были использованы для исследования трёхмерной структуры и динамики вод в прибрежных вихревых диполях в юго-восточной части Балтийского моря, выявленных на спутниковых изображениях в июле 2021 г.

Обработка и анализ спутниковых данных проводились с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-мониторинг» с помощью инструментария информационной системы See the Sea. Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8.

## Литература

1. Краюшкин Е. В., Лаврова О. Ю., Назирова К. Р., Елизаров Д. А. Трёхмерная структура и динамика вод в прибрежных вихревых диполях в юго-восточной части Балтийского моря: результаты спутниковых наблюдений и подспутниковых измерений летом 2021 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 265–279. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-265-279.
2. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Луян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря. М.: ИКИ РАН, 2022. 250 с.
4. Луян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашицкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Радченко М. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
5. Толпин В. А., Балашов И. В., Ефремов В. Ю., Луян Е. А., Прошин А. А., Уваров И. А., Флитман Е. В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93–108.
6. Arabi B., Salama M. S., Pitarch J., Verhoef W. Integration of in-situ and multi-sensor satellite observations for long-term water quality monitoring in coastal areas // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 239. Art. No. 111632. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111632>.
7. Le Hénaff M., Kourafalou V. H., Androulidakis Y., Smith R. H., Kang H., Hu C., Lamkin J. T. In Situ Measurements of Circulation Features Influencing Cross-Shelf Transport Around Northwest Cuba // J. Geophysical Research: Oceans. 2020. V. 125. Iss. 7. Art. No. e2019JC015780. <https://doi.org/10.1029/2019JC015780>.
8. Marmorino G. O., Holt B., Molemaker M. J., DiGiacomo P. M., Sletten M. A. Airborne synthetic aperture radar observations of “spiral eddy” slick patterns in the Southern California Bight // J. Geophysical Research. 2010. V. 115. Art. No. C05010. DOI: 10.1029/2009JC005863.

## Integration into the See the Sea information system of acoustic Doppler current profiler data obtained concurrently with satellite data

D. A. Elizarov, N. A. Knyazev, O. Yu. Lavrova, I. A. Uvarov

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia  
E-mail: [dimaelik71@gmail.com](mailto:dimaelik71@gmail.com)

The paper presents a web service developed for processing and storing field measurements and the results of the integration of acoustic Doppler current profiler (ADCP) data into the See the Sea satellite monitoring system. Data for the web service were collected during 2016–2022 scientific marine expedi-

tions conducted by Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences to study the hydro-physical characteristics of coastal marine waters by contact and remote methods. The web service is intended for standardization and subsequent export of measurements to external systems. To pre-process measurements from ADCP, a Python program is used to remove data outliers and streamline the archived data to the web service. To visualize full-scale measurements, contour graphs can be drawn for physical parameters, using filters and averaging, thus allowing visual assessment of the situation by the selected date of expedition. Also, we present the results of ADCP data integration into the STS, where work with the data is implemented as a separate software module. This makes it possible to visualize ADCP data directly on the STS interface display and therefore conduct analysis of field measurements jointly with satellite images and other thematic data. This functionality has been employed to study eddy dipoles. In particular, a combined analysis of satellite data and concurrent *in situ* measurements, performed in STS, enabled determination of the characteristic features of their 3D structure.

**Keywords:** See the Sea satellite monitoring system, STS, *in situ* measurements, satellite data, acoustic Doppler current profiler, ADCP, web service, data processing and storage, data visualization, vortex processes, eddy, Sentinel-2 MSI, Landsat-8 OLI

Accepted: 12.06.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-244-253

## References

1. Krayushkin E. V., Lavrova O. Yu., Nazirova K. R., Elizarov D. A., Three-dimensional structure and dynamics of waters in coastal eddy dipoles in the southeastern Baltic Sea: Results of concurrent satellite and field measurements in summer 2021, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 6, pp. 265–279 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-265-279.
2. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Uvarov I. A., Loupian E. A., Current capabilities and experience of using the See the Sea information system for studying and monitoring phenomena and processes on the sea surface, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 266–287 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
3. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., *Sputnikovye metody issledovaniya izmenchivosti Kaspiiskogo morya* (Satellite methods for studying changes in the Caspian Sea), Moscow: IKI RAN, 2022, 250 p. (in Russian).
4. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
5. Tolpin V. A., Balashov I. V., Efremov V. Yu., Loupian E. A., Proshin A. A., Uvarov I. A., Flitman E. V., The GEOSMIS system: developing interfaces to operate data in modern remote monitoring systems, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 93–108 (in Russian).
6. Arabi B., Salama M. S., Pitarch J., Verhoef W., Integration of in-situ and multi-sensor satellite observations for long-term water quality monitoring in coastal areas, *Remote Sensing of Environment*, 2020, Vol. 239, Art. No. 111632, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111632>.
7. Le Hénaff M., Kourafalou V. H., Androulidakis Y., Smith R. H., Kang H., Hu C., Lamkin J. T., In Situ Measurements of Circulation Features Influencing Cross-Shelf Transport Around Northwest Cuba, *J. Geophysical Research: Oceans*, 2020, Vol. 125, Issue 7, Art. No. e2019JC015780, <https://doi.org/10.1029/2019JC015780>.
8. Marmorino G. O., Holt B., Molemaker M. J., DiGiacomo P. M., Sletten M. A., Airborne synthetic aperture radar observations of “spiral eddy” slick patterns in the Southern California Bight, *J. Geophysical Research*, 2010, Vol. 115, Art. No. C05010, DOI: 10.1029/2009JC005863.