
КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ИЗК

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗ КОСМОСА РЕЙСА НИС “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ” В ЮЖНЫЙ ОКЕАН

© 2020 г. В. В. Замшин^а, *, Е. Р. Матросова^а, Е. Г. Морозов^б, В. И. Спиридонов^б, Д. И. Фрей^б,
В. Д. Харченко^а, В. Н. Ходаева^а, О. И. Чверткова^а, В. А. Шлюпиков^а

^аНаучно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга “АЭРОКОСМОС”, г. Москва, Россия

^бИнститут океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*E-mail: office@aerocosmos.info

Поступила в редакцию 15.06.2020 г.

В ходе 79-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Атлантический сектор Антарктики производилось его информационное обеспечение с использованием космических систем высокого, среднего и низкого разрешения, работающих в оптическом и радиодиапазонах спектра электромагнитных волн, а также геоинформационных технологий. Во время выполнения экспедиционных работ с декабря 2019 г. по февраль 2020 г. на судно передавались предварительно обработанные информационные продукты, полученные по данным многоспутниковой группировки ДЗЗ, включающие данные об удельной эффективной площади рассеяния, температуре морской поверхности, сплоченности морского льда и айсбергах, данные об альтиметрии, концентрации веществ в приповерхностном слое (хлорофилла, органического вещества, неорганических взвешенных частиц, общего взвешенного вещества). Описана разработанная информационная инфраструктура, обеспечивающая формирование и регулярную поставку на борт НИС спутниковой информации, автоматизировано интегрируемой в геоинформационную среду потребителей в виде унифицированных пространственно-временных распределений значимых параметров водной среды. Описаны особенности применения спутниковой информации при планировании маршрута судна и проведении натурных измерений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, многоспутниковые системы, комплексный мониторинг, Антарктика, криль, натурные исследования, геоинформационные системы

DOI: 10.31857/S0205961420040077

ВВЕДЕНИЕ

Природные ресурсы Южного океана являются одновременно уязвимыми, востребованными и, в то же время, недостаточно изученными. Существует проблема интенсивного использования такого биоресурса как антарктический криль, являющегося важной компонентой антарктической морской экосистемы. Это обуславливает актуальность проведения комплексных исследований этого природного объекта. Для этого в настоящее время реализуется “Комплексная экспедиционная программа ресурсных исследований криля и исследования экосистемы Южного океана (Атлантический сектор Антарктики)” (далее – Экспедиционная программа) (Морозов и др., 2019).

Для проведения таких исследований перспективно использование методов и средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые в последние десятилетия получили значительное развитие (Бондур, 2004; Костяной, 2017; Лаврова и др., 2011; Bondur, 2005, 2011). С их использованием открылись широкие возможности для исследований на различных уровнях пространственной детальности – от десятков сантиметров до сотен и тысяч километров (Бондур, 2010).

Спутниковые данные демонстрируют особую эффективность при решении различных задач, связанных с исследованием обширных акваторий морей и океанов. Они используются для исследования полей течений (Бондур и др., 2012), полей температур (Бондур, 2004), внутренних волн (Бондур, 2008, 2006б), гидрооптических характеристик и их неоднородностей (Бондур, Зубков, 2005), мониторинга антропогенных воздействий на водную среду (Бондур, Гребенюк, 2001; Бондур и др., 2006а, Ведерников и др., 2007; Bondur, 2005, 2011). Для исследования различных процессов и явлений, происходящих в морях и океанах используют различные оптические (Бондур, 2004; Бондур и др., 2006а, 2012) и радиолокационные (Bondur, 2005, 2011; Bondur, Starchenkov, 2005) изображения. Для обработки больших потоков космических данных, формируемых многоспутниковой группировкой ДЗЗ, используются специальные методы и технологии (Бондур, 2014; Бондур, Старченков, 2001).

Следует отметить, что эффективность космических методов и систем для мониторинга морей и океанов существенно повышается при их использовании совместно с подспутниковыми из-

мерениями (Бондур и др., 2007; Мониторинг, 2014; Bondur, Tsidilina, 2005). Подспутниковые измерения хотя и носят локальный характер, но обладают высокой точностью и достоверностью (Морозов, Пака, 2010; Морозов, Писарев, 2002; Морозов и др., 2003; Morozov, 2018; Morozov et al., 2008).

Использование спутниковых данных при исследованиях Южного океана представляется особо актуальным в связи с тем, что в этом случае реализуется одно из их ключевых преимуществ — возможность работы в отдаленных и труднодоступных районах Земли со сложными природными условиями (Бондур, 2004, 2010).

В рамках Экспедиционной программы был организован 79-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Антарктику, в ходе которого с декабря 2019 г. по февраль 2020 г. судно выполняло работы в Южном океане. При этом производилось организованное на системном уровне информационное обеспечение НИС разнородными данными ДЗЗ и продуктами их обработки с применением геоинформационных систем и решений. В настоящей работе рассмотрена разработанная специализированная информационная инфраструктура для получения и распределения потоков данных между различными участниками (операторы спутниковых систем, центры обработки данных ДЗЗ, системный интегратор данных ДЗЗ НИИ “АЭРОКОСМОС”, НИС “Академик Мстислав Келдыш”, институты-участники проекта).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемый участок и сроки проведения работ

Участок, подлежащий исследованиям из космоса с помощью методов ДЗЗ и измерений с борта НИС “Академик Мстислав Келдыш” охватывал морские акватории между параллелями 53° и 67° Южного полушария и меридианами 75° и 37° Западного полушария. На рис. 1 приведена карта-схема фрагмента исследуемой акватории, на котором была проведена основная часть судовых работ.

В пределах данного участка проводились исследования различных процессов, происходящих в области взаимодействия Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) с высокоширотными водами Антарктики, в частности водами крупномасштабного круговорота моря Уэдделла. Именно эта область является наиболее высокопродуктивной зоной пан-антарктической экосистемы и здесь формируются концентрации антарктического криля. К востоку от Антарктического полуострова в районе бассейна Пауэлла воды крупномасштабного круговорота впервые встречаются с трансформированными водами АЦТ. Именно здесь формируются условия для широкой аккумуляции молоди криля, которая способна успешно перезимовывать здесь за счет

продукции ледовых водорослей. Предполагается, что зимний ледяной покров также обеспечивает защиту криля от сезонно обитающих в высоких широтах хищников. Однако процессы взаимодействия различных факторов среды и их влияние на антарктическую экосистему в этом районе остаются слабо исследованными (Морозов и др., 2019).

Работы в антарктическом районе проводились с декабря 2019 г. по февраль 2020 г. с промежуточным заходом в Ушуайю. Полигонами для детальных измерений были пролив Дрейка, пролив Брансфилда и море Уэдделла (бассейн Пауэлла).

Особенности программы судовых исследований

Главными задачами 79-го экспедиционного рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в соответствии с (Морозов и др., 2019) являются:

1. оценка гидрофизических процессов, состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы антарктических вод в ключевых районах океанографических фронтов и крупномасштабной циркуляции Южного океана;
2. исследование струйной структуры Антарктического циркумполярного течения;
3. исследование придонных потоков антарктических вод в глубоководных каналах Атлантики;
4. оценка ключевых этапов жизненного цикла антарктического криля и роли вод АЦТ и моря Уэдделла в поддержании его популяции и формировании районов агрегации;
5. оценка разнообразия биоты и структурно-функциональных характеристик морской экосистемы в малоисследованных районах бассейна моря Уэдделла (бассейн Пауэлла), подводных поднятия Южного хребта Скотия и пролива Дрейка;
6. ресурсные исследования криля и исследования экосистемы Южного океана (атлантический сектор Антарктики).

Для выполнения перечисленных задач были проведены измерения гидрофизических, гидрооптических и биологических параметров и отбор проб, выполнялись комплексные океанологические станции (с гидрофизическим зондированием, отбором гидрохимических и гидробиологических проб из батометров, сборами зоопланктона, макрозоопланктона (включая криль) и ихтиофауны, донных осадков и бентоса) и сбор проб криля и ихтиофауны на полигонах.

Особенности программы космических исследований

Программа космических исследований предполагала 2 этапа работ:

— сопровождение экспедиции (во время присутствия НИС в Антарктике) — сбор обработка и

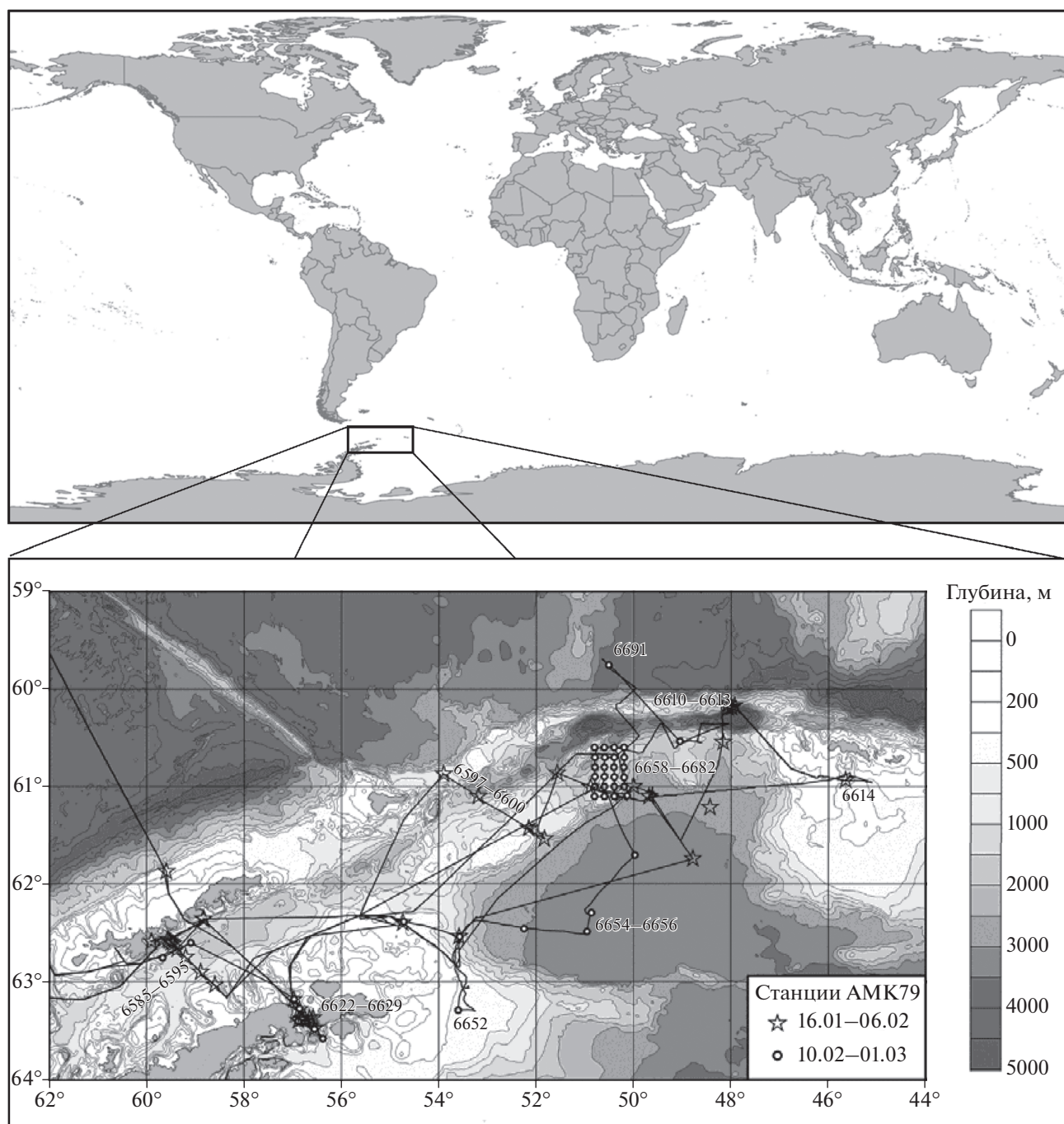


Рис. 1. Карта-схема района проведения работ и схема станций НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ходе выполнения 79-го рейса (Морозов и др., 2020).

передача данных на судно в квазиоперативном режиме;

– комплексный анализ спутниковой и подспутниковой информации (осуществлялся после завершения экспедиции и обработки полученного фактического подспутникового материала).

В настоящей статье описываются особенности выполнения исследований из космоса на 1-м этапе – в режиме сопровождения экспедиции.

Из космоса регистрировались следующие параметры: удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР) морской поверхности; ледовая обстановка, в том числе местоположение айсбергов и сплоченность морского льда; данные альтиметрии, в том числе абсолютная динамическая топография (Absolute Dynamic Topography – ADT), аномалии уровня моря (Sea Level Anomaly – SLA), абсолютные и аномальные геострофические скорости,

определяемые по градиентам ADT и SLA соответственно; концентрации веществ в приповерхностном слое, включая концентрации хлорофилла, органического вещества, неорганических взвешенных частиц, общего взвешенного вещества; температура морской поверхности (непосредственно температура морской поверхности и ее аномалии).

Кроме того, в ходе сопровождения экспедиции регистрировались данные о местоположении, скорости, направлении НИС, а также о метеоусловиях в районе присутствия корабля.

Получение пространственных распределений всех вышеперечисленных параметров осуществлялось за счет использования данных, полученных с различных космических аппаратов и проведения их обработки. Используемая многоспутниковая группировка ДЗЗ включала следующие космические аппараты: Terra и Aqua (аппаратура MODIS), Suomi (аппаратура VIIRS), Sentinel-1A/B (аппаратура радиолокатор с синтезированием апертуры – SAR), Sentinel-3A/B (аппаратура OLCI), NOAA (аппаратура AVHRR), DMSP (аппаратура SSMIS). Кроме того, применялись информационные продукты совместного анализа спутниковых, подспутниковых и модельных данных. В неоперативном режиме использовались данные высокого разрешения, получаемые с космических аппаратов типа Ресурс-П и Канопус-В.

Формирование информационных продуктов производилась с использованием следующих геоинформационных сервисов: Google Earth Engine (GEE), Copernicus Marine Environment Monitoring Service, Copernicus Open Access Hub, Геопортал Роскосмоса, NASA's OceanColor Web, Hermes GlobColour, NOAA STAR, Marine Traffic, National Snow and Ice Data Center (NSIDC, США), National Ice Center (NIC, США), Polar View, Aviso Live Access Server.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Основными проблемами, ограничивающими возможности использования данных ДЗЗ на борту НИС, являлись:

- низкая пропускная способность каналов связи;

- отсутствие на борту судна организованной системы сбора и обработки данных ДЗЗ.

Значительное количество и разнообразие типов данных приводило к необходимости разработки и применения системы передачи/хранения/визуализации данных, а также снятия значений регистрируемых параметров в точках с заданными пространственно-временными координатами и сопоставления фактических показаний за различные даты с возможностью использования геоинформационной подложки при проведении натурных измерений. Загрузка обновлений

по всем типам информационных продуктов ДЗЗ осуществлялась один раз в 48–72 ч.

С учетом вышеизложенного была разработана и применена специализированная информационная инфраструктура (ИИ), которая обеспечивала доступ к формируемому массиву данных одновременно нескольким организациям, участвующим в программе. При ее формировании учитывалась необходимость обеспечения возможности решения задач сбора, обработки, анализа и хранения космических оптических и радиолокационных данных, а также отправка на борт НИС созданных на их основе информационных продуктов с фиксированной структурой, удобных для усвоения заинтересованными участниками экспедиции. Обобщенная схема разработанной ИИ, позволяющей использовать разнородную спутниковую информацию во время проведения судовых работ, а также после завершения экспедиции, приведена на рис. 2.

Основным элементом разработанной ИИ являлась геоинформационная система (ГИС) с периодически обновляемым (в соответствии со структурой, разработанной и согласованной участниками исследований) содержанием, генерируемым и тестируемым в НИИ “АЭРОКОСМОС”. Эта ГИС позволяла объединять и системно представлять большое количество информации, что обеспечивало оперативное решение ситуационных задач по планированию маршрута в районах исследований (Пространственные данные, 2020). Все заинтересованные в получении данных участники проекта имели на своих рабочих местах локальную версию данной ГИС. Обновление данных проводилось периодически. Пакеты данных обновлений были унифицированы. При этом каждое информационное обновление снабжалось микропрограммой-установщиком, автоматически интегрирующей его в ГИС пользователей. Производилась автоматическая настройка порядка отображения слоев, легенд и цветовых схем отрисовки растровых и векторных данных и др.).

Передача данных осуществлялась через FTP-сервер НИИ “АЭРОКОСМОС”. Это обеспечивало возможность получения данных на судне в любой удобный для участников экспедиции момент (после того как обновление было опубликовано). В случае потери связи обеспечивалась возможность дозагрузки информации без дублирования трафика. В случае получения поврежденного пакета информации имелась возможность адресной перезагрузки нужного фрагмента пакета. Перед опубликованием очередного обновления на FTP-сервер тестировалась его работоспособность. Для этого выполняется его загрузка в “тестовую среду” (компьютер, отключенный на весь срок судовой экспедиции от сетевой инфраструктуры НИИ “АЭРОКОСМОС”, эмулирующий ЭВМ, находящийся на борту НИС).

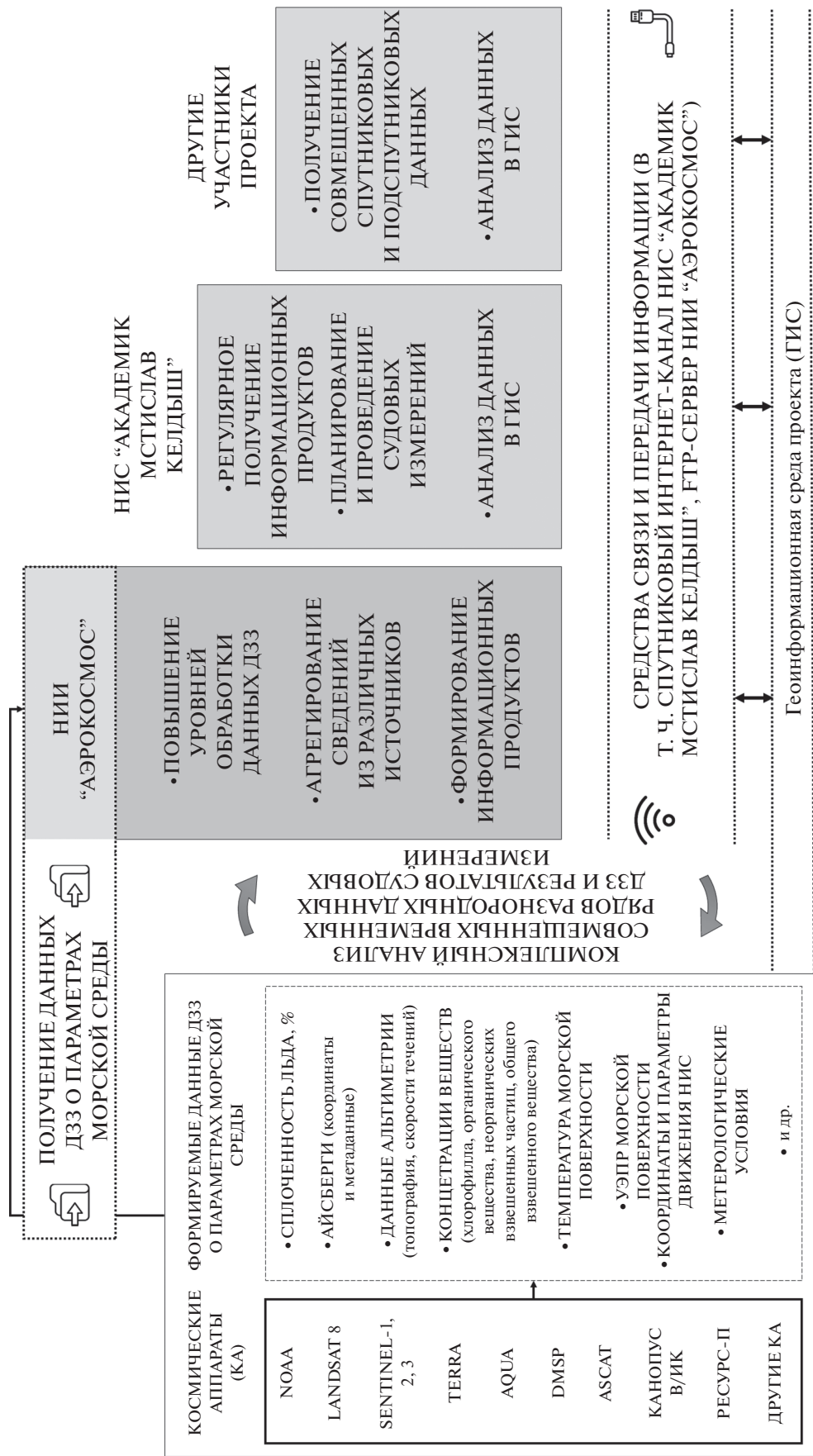


Рис. 2. Обобщенная схема разработанной информационной инфраструктуры, позволяющей использовать разнородную спутниковую информацию во время проведения судовых работ, а также после завершения экспедиции

Выполнение тестирования обеспечивало отсутствие возможных сбоев, связанных с применением гиперссылок на данные, доступные только в рамках сетевой инфраструктуры интегратора информационных продуктов (НИИ “АЭРОКОСМОС”). В ~80% случаев тестирование отправляемых на судно пакетов данных позволяло предпринять меры по улучшению качества информации.

Информация, накапливаемая участниками проекта, была адаптирована к применению следующих типовых процедур интерактивного анализа разновременных разнородных массивов данных ДЗЗ:

- визуализация разновременных полей распределений измеряемых характеристик с не сплошным покрытием по принципу “последнее актуальное значение” (синтез разновременных композитных изображений);
- маскирование данных (например, исключение из рассмотрения ненадежных значений измеренных величин концентрации хлорофилла, полученных на элементах разрешения с ненулевой сплоченностью морского льда);
- сопоставительный анализ данных об одних и тех же параметрах морской среды, полученных различными средствами в заданный промежуток времени;
- тематическая интерпретация выявленных аномалий пространственных распределений продуктов одного типа за счет вовлечения в анализ продуктов другого типа и др.

ПРИМЕРЫ СФОРМИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ

В процессе проведения экспериментальных исследований регистрировались различные типы параметров водной среды (см. рис. 2). При этом некоторые типы данных включали несколько подтипов и/или получались с использованием различных спутниковых систем ДЗЗ. В связи с этим общее количество разновидностей поставляемых на судно продуктов могло достигать 20. Точный состав и степень актуальности компонентов каждого обновления, отправляемого на судно, определялись суперпозицией временной сетки поставки продуктов операторами спутниковых систем и графиком подготовки и выгрузки обновлений на FTP-сервер. Задержка поставки информации от момента регистрации исследуемых физических полей по спутниковым данным до получения на судне составляла от ~0.5 сут (альтиметрия) до ~5 и более сут (например, данные об айсбергах от Polar View). Наиболее оперативно поставлялись данные о местоположении и параметрах движения судна (около 3 мин) с геопортала Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com>).

Формируемые информационные продукты визуализировались в ГИС на базовой геоподложке,

включающей (по выбору оператора) такие слои как: береговая линия (в векторном формате); батиметрия в векторном (изобаты) и растровом (карта глубин) форматах; границы участков работы НИС “Академик Мстислав Келдыш” и др.

На рис. 3 приведены примеры 4-х типов информационных продуктов, формируемых в процессе подхода НИС к районам измерения: а) концентрация хлорофилла, б) концентрация органического вещества, г) аномалия уровня моря, д) абсолютная динамическая топография. Приведенные на рис. 3 распределения маскированы картой сплоченности морского льда.

При осуществлении работ по информационному сопровождению НИС “Академик Мстислав Келдыш” формировались продукты, как на региональном (рис. 3), так и на локальном масштабном уровне, например, космические радиолокационные изображения (РЛИ), геопривязанные схемы маневров НИС и др. (см. рис. 4).

Формирование и передача РЛИ (чаще, фрагмента РЛИ) на борт судна была связана с решением двух задач, а именно:

1) оперативном определении местонахождения судна и его дальнейшего маршрута для того, чтобы отправить на борт спутниковое РЛИ, охватывающее участок предполагаемого присутствия НИС в следующие сутки;

2) предварительной обработке РЛИ, включающей фрагментирование, тонкую настройку яркостных параметров, оптимизацию динамического диапазона и пространственного разрешения без существенного снижения информативности данных.

Для отслеживания маршрута НИС “Академик Мстислав Келдыш” и получения информации о его запланированных корректировках данные запрашивались непосредственно с борта судна. Кроме того, использовался онлайн-геосервис Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com/>).

На рис. 4 приведен пример визуализации в ГИС космического радиолокационного изображения, полученного со спутника Sentinel-1 в 07:50 UTC 16 февраля 2020 года на окрестности точки с координатами 62.129° ю.ш., 53.736° з.д., на фоне которого точками обозначен маршрут судна, огибающий айсберг, визуализируемый в поле УЭПР в виде обширной области темного тона.

Продемонстрированные выше информационные продукты (и аналогичные им) были доступны в ходе экспедиции как на НИС, так и на рабочих местах других участников реализации Программы, имеющих доступ к FTP-серверу.

Отметим, что все формируемые в исследовании данные представлялись в виде пространственных распределений измеряемых параметров водной среды. При этом фиксированные цветовые схемы (легенды) применялись для наглядной визуализации в ГИС в режиме “на лету” и не от-

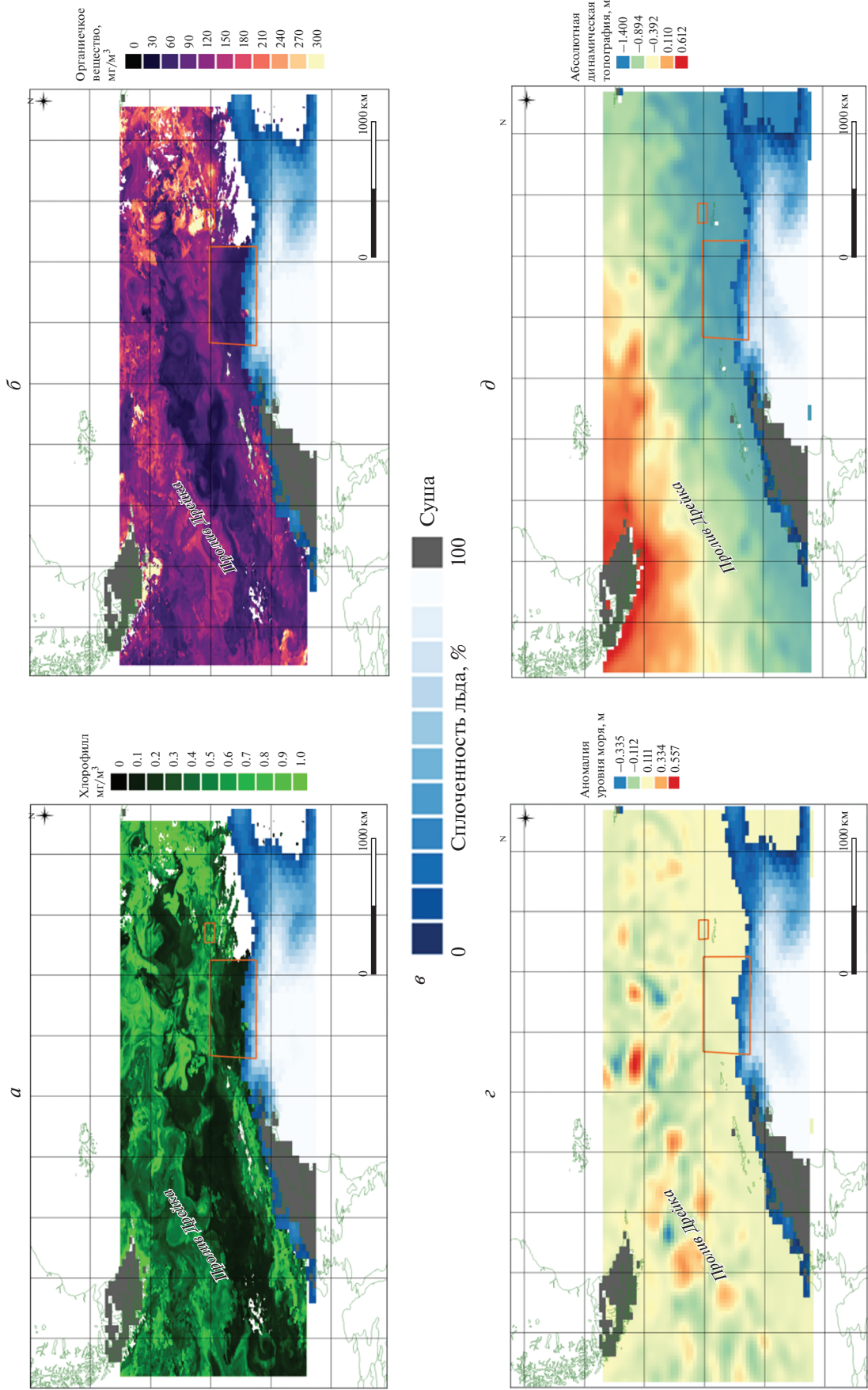


Рис. 3. Примеры пространственных распределений: *a* – концентрация хлорофилла, *б* – концентрация органического вещества, *в* – сплоченность морского льда, *д* – абсолютная динамическая топография. *в* – цветовая палитра карты сплоченности морского льда, приведенной в качестве маскирующего слоя на *а*, *б*, *в*, *д*. Красные контуры – участки наиболее детальных судовых работ.

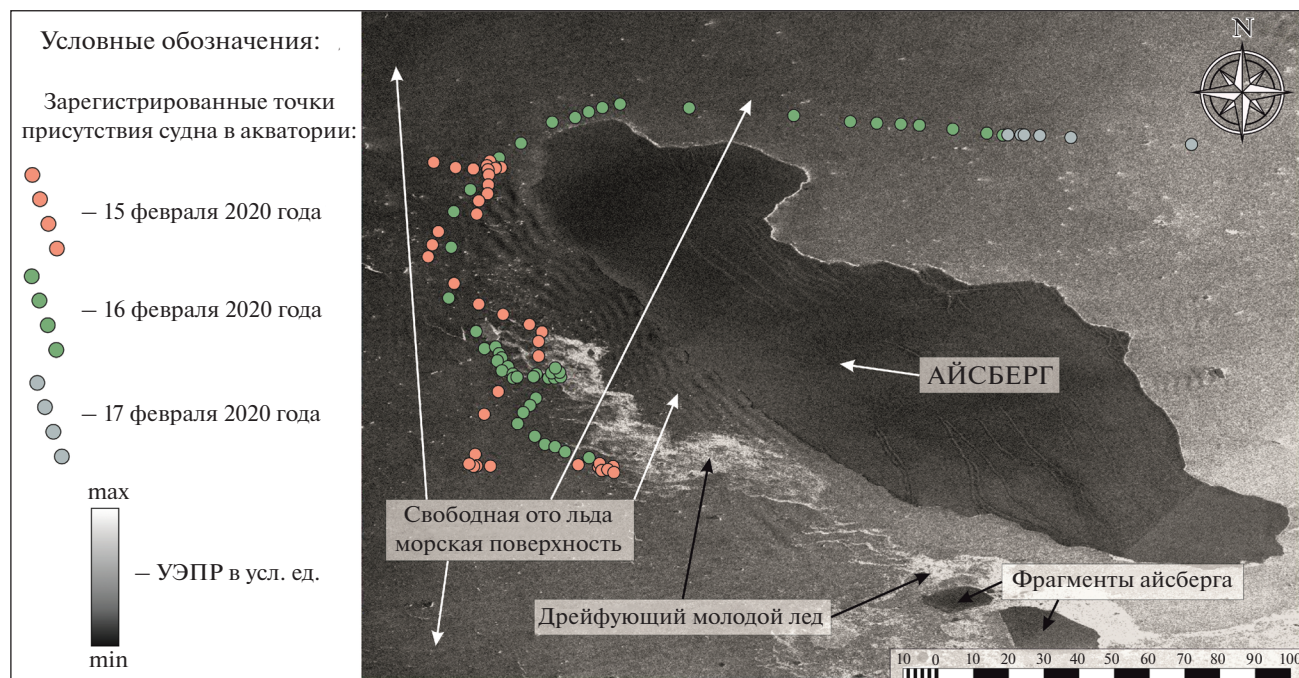


Рис. 4. Пример предварительно обработанного космического радиолокационного изображения, полученного со спутника Sentinel-1 в 07:50 UTC 16 февраля 2020 года на окрестности точки с координатами -62.129° ю.ш., -53.736° з.д., на фоне которого точками обозначен маршрут судна, обходящий айсберг.

меняли возможность сопоставления с данными, полученными при детальной обработке.

Накопленные наборы подготовленных для НИС информационных обновлений представляли собой систематизированные временные ряды геометрически согласованной растровой информации, которые могли быть быстро проанализированы (см. рис. 5). На рис. 5, а различными цветами показаны 5 зон района исследований с различными типами показателя сплоченности льда, выделенных путем кластеризации накопленного к окончанию работ в Южном океане массива спутниковых данных методом ISODATA (Бондур, Старченков, 2001). Графики зависимости сплоченности морского льда от времени для каждой из зон приведены на рис. 5, б. Анализ рис. 5, а, б показывает, что дрейф льда приводил в том числе к возникновению знакопеременных градиентов этого показателя (см. соответствующую зону и график цвета морской волны).

На рис. 5 в различными цветами показаны 10 температурных зон водной поверхности, выделенных путем кластеризации методом ISODATA временных рядов пространственных распределений температуры морской поверхности в каждой свободной ото льда растровой ячейке. Графики зависимости температуры от времени для каждой из зон приведены на рис. 5, г. Примечательно, что температурные зоны имеют форму извилистых полос, что адекватно отражает гидрологические особенности исследуемой акватории.

Эти и другие результаты спутникового мониторинга исследуемого района, полученные в период проведения экспедиции, будут детально анализироваться в ходе выполнения следующей фазы исследований, предполагающей комплексный анализ данных дистанционных и контактных измерений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В ХОДЕ ЭКСПЕДИЦИИ

В ходе 79-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” спутниковые данные применялись, прежде всего, для оперативного планирования проведения судовых измерений. Для этого использовались данные спутниковой альтиметрии, данные по температуре морской поверхности и сплоченности льда, а также карты с распределениями хлорофилла и растворенной органики.

Альтиметрия

Спутниковая альтиметрия позволяла в оперативном режиме определять положение фронтов и морских течений, что было важно при выборе положений станций в процессе выполнения гидрофизических разрезов и полигонов. При этом использовались данные по абсолютной динамической топографии (ADT), аномалиям уровня морской поверхности (SLA), а также расчетные геострофические скорости на поверхности, определяемые по градиенту ADT.

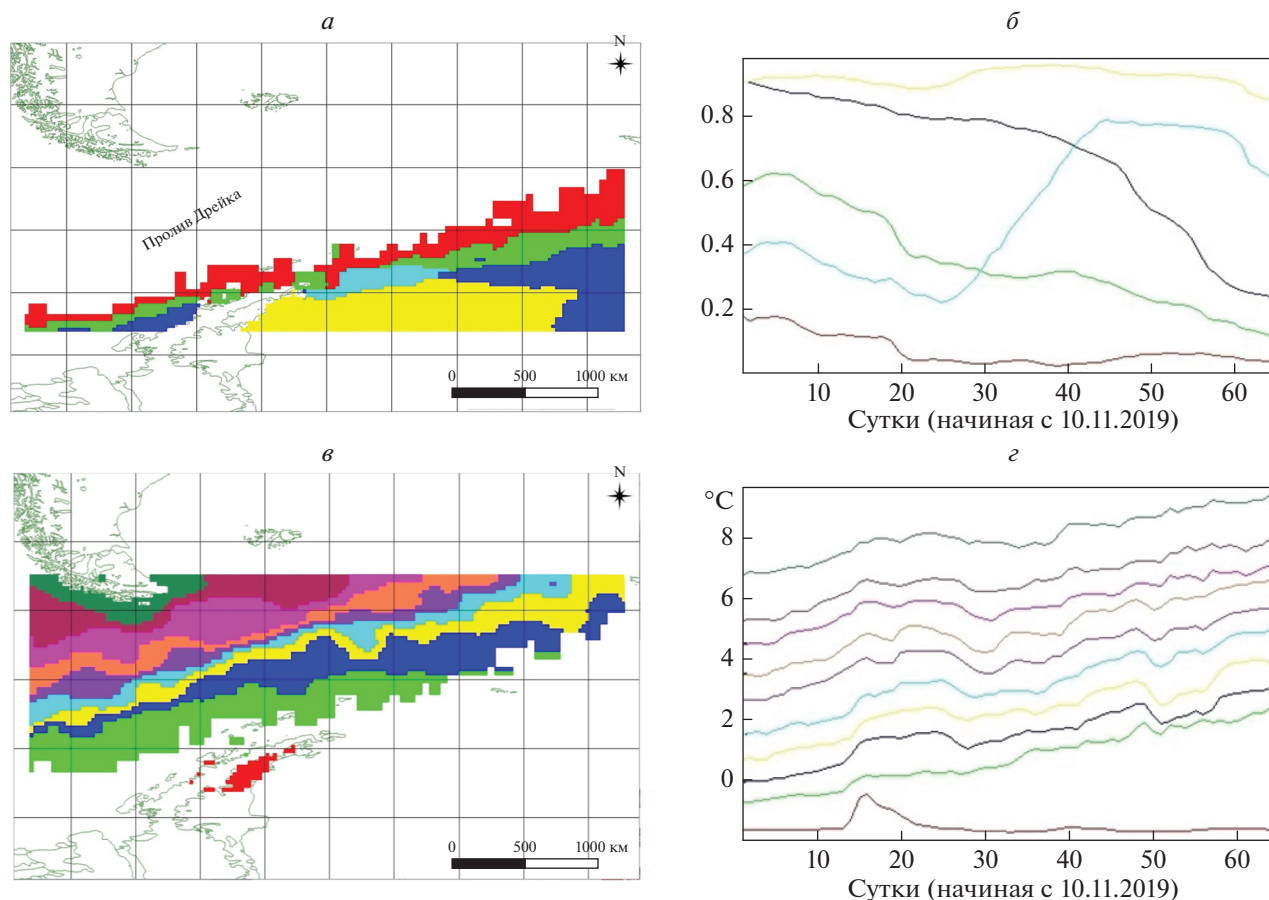


Рис. 5. Примеры результатов кластеризации методом ISODATA временных рядов накопленных спутниковых данных о пространственных распределениях сплоченности льда (а, б) и температуры морской поверхности (в, г).

Работы в северной части пролива Дрейка около берегов Огненной Земли планировались по положению северной струи Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), переходящей в Фолклендское течение, которые хорошо выделялись по спутниковым альтиметрическим данным. Одним из направлений гидрофизических исследований в экспедиции были подробные съемки северной, береговой струи АЦТ с использованием акустического профилографа скорости. Положение этой струи сильно меняется со временем. При этом ее малый горизонтальный масштаб (характерная ширина струи варьируется между 30 и 50 км) требовал небольшого расстояния между станциями. Использование данных спутниковой альтиметрии позволяло точно определить положение центра струи в моменты проведения измерений и расставить станции с расстоянием в 2.5 мили, подробно исследовав всю гидрофизическую структуру потока. Такие измерения выполнялись дважды, 6-го февраля и 1-го марта 2020 г., при этом оба раза было выполнено по 11 станций. Покрытие акватории двумя разрезами позволило описать как термохалинную структуру самого течения, так и фоновые характеристики вод вне основной струи.

Данные о ледовых условиях

Ледовые условия в море Уэдделла и в северной его части — в бассейне Пауэлла крайне нестационарны. Положение станций CTD/LADCP зондирования, которые позволяли измерять профили температуры, солёности и течений по глубине, определялось с учетом ледовых условий, наблюдаемых по данным ДЗЗ. Это оказалось особенно важно в западной части бассейна Пауэлла над возвышенностью, которая в значительной мере была покрыта ледовыми полями и айсбергами. Проход судна в ледовые поля был ограничен плотностью плавающего льда. Ледовая обстановка в феврале 2020 г. позволила судну продвинуться дальше на юг по сравнению с ситуацией в январе 2020 г.

Использование карт хлорофилла и растворенной органики, а также данных о температуре морской поверхности

Станции, на которых производились работы сетями Джедди и Бонго, планировались по спутниковым картам концентрации хлорофилла и растворенной органики. Другим направлением использования спутниковых данных, получае-

мых многоспектральными сканерами, были исследования пространственного распределения водных масс в проливе Брансфилда. В этом районе был выполнен разрез из 9 станций поперек пролива. Проведенные исследования позволили описать водные массы как северо-западной части пролива с узким интенсивным течением на северо-восток, так и заток вод моря Уэдделла в южной части пролива Брансфилда. Спутниковые данные по температуре морской поверхности стали важным дополнением натурных измерений при определении пространственной изменчивости, а также в исследовании характеристики вод в южной и в центральной части пролива Брансфилда.

Таким образом спутниковая информация оказала решающее влияние на оперативное планирование работ в проливе Дрейка, проливе Брансфилда и море Уэдделла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описана сформированная оптимальная информационная инфраструктура, обеспечившая поставку различных космических данных и обмен информацией в рамках проведения 79-го экспедиционного рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Антарктику, позволившая существенно повысить эффективность судовых работ. Предпринятые шаги обеспечили возможности согласованного использования разнородных пространственных данных консорциумом организаций-участников исследования.

Использование многоспутниковой группировки ДЗЗ позволило сформировать свыше 20 типов спутниковых данных с уровнями обработки от L1 (“сырые” данные) до L3 (данные на регулярной сетке) растрового, векторного и текстового форматов, с частотой поступления от нескольких раз в сутки до 1 раза в неделю. Это позволяло синтезировать, отправлять на борт НИС “Академик Мстислав Келдыш” и интегрировать в специально разработанную геоинформационную систему комплексные унифицированные информационные продукты. Получаемая спутниковая информация использовалась в двух основных направлениях: для оперативного планирования проведения измерений, а также для комплексного анализа и интерпретации полученных результатов.

При планировании экспедиционных работ успешно применялись переданные на борт судна данные спутниковой альтиметрии, информация о ледовой обстановке, измеренные из космоса пространственные распределения температуры морской поверхности и концентрации взвешенных веществ. Спутниковая информация оказала решающее влияние на оперативное планирование судовых экспедиционных работ в проливах Дрейка и Брансфилда, а также в море Уэдделла.

Разработанные научно-технические решения позволили обеспечить системную интеграцию и оперативную доставку необходимого объема данных через канал связи с ограниченной пропускной способностью.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа сотрудников ИОРАН выполнялась в соответствии с госзадаанием 0128-2019-0008 и поддержана грантом РФФИ 19-57-60001. Работа сотрудников НИИ “АЭРОКОСМОС” выполнялась в соответствии с госзадаанием 0588-2019-0030 и проектом RFMEFI60719X0306.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии / В кн. “Новые идеи в океанологии. М.: Наука. Т. 1: Физика. Химия. Биология, 2004. С. 55–117.
- Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 6. С. 3–17.
- Бондур В.Г. Современные подходы к обработке больших потоков гиперспектральной и многоспектральной аэрокосмической информации // Исслед. Земли из космоса. 2014. № 1. С. 4–17. <https://doi.org/10.7868/S0205961414010035>
- Бондур В.Г., Воробьев В.Е., Гребенюк Ю.В., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Исследования полей течений и загрязнений прибрежных вод на Геленджикском шельфе Черного моря с использованием космических данных // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 4. С. 3–11.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В. Дистанционная индикация антропогенных воздействий на морскую среду, вызванных заглубленными стоками: моделирование, эксперименты // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 6. С. 49–67.
- Бондур В.Г., Гребенюк Ю.В., Морозов Е.Г. Регистрация из космоса и моделирование коротких внутренних волн в прибрежных зонах океана // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 4. С. 543–548.
- Бондур В.Г., Зубков Е.В. Выделение мелкомасштабных неоднородностей оптических характеристик верхнего слоя океана по многозональным спутниковым изображениям высокого разрешения. Часть 1. Эффекты сброса дренажных каналов в прибрежные акватории // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. С. 54–61.
- Бондур В.Г., Килер Р.Н., Старченков С.А., Рыбакова Н.И. Мониторинг загрязнений прибрежных акваторий с использованием многоспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения // Исслед. Земли из космоса. 2006а. № 6. С. 42–49.
- Бондур В.Г., Старченков С.А. Методы и программы обработки и классификации аэрокосмических изображений // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2001. № 3. С. 118–143.
- Бондур В.Г., Морозов Е.Г., Бельчанский Г.И., Гребенюк Ю.В. Радиолокационная съемка и численное моделирование внутренних приливных волн в шельфовой зоне // Исслед. Земли из космоса. 2006б. № 2. С. 51–63.
- Бондур В.Г., Филатов Н.Н., Гребенюк Ю.В., Долотов Ю.С., Здоровеннов Р.Э., Петров М.П., Цидилина М.Н. Исследования гидрофизических процессов при мониторин-

ге антропогенных воздействий на прибрежные акватории (на примере бухты Мамала, о. Оаху, Гавайи) // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 6. С. 827–846.

Ведерников В.И., Бондур В.Г., Виноградов М.Е., Лэндри М.Р., Цидилина М.Н. Антропогенное воздействие на планктонное сообщество акватории бухты Мамала (о. Оаху, Гавайские острова) по судовым и спутниковым данным // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 2. С. 241–258.

Костяной А.Г. Спутниковый мониторинг климатических параметров океана. Часть 1 // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2/2017. С. 63–85.

Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.

Морозов Е.Г., Писарев С.В. Внутренний прилив в арктических широтах (численные эксперименты) // *Океанология*. 2002. Т. 42. № 2. С. 165–173.

Морозов Е.Г., Нейман В.Г., Писарев С.В., Ерофеева С.Ю. Внутренние приливные волны в Баренцевом море // *Докл. РАН*. 2003. Т. 392. № 5. С. 686–688.

Морозов Е.Г., Спиридонов В.А., Молодцова Т.Н., Фрей Д.И., Демидова Т.А., Флинт М.В. Исследования экосистемы Атлантического сектора Антарктики (79-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 5. С. 1–3.

Морозов Е.Г., Флинт М.В., Спиридонов В.А., Тараканов Р.Ю. Программа комплексных экспедиционных исследований экосистемы Атлантического сектора Южного океана (декабрь 2019–март 2020 г.) // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 6. С. 1086–1088.

Морозов Е.Г., Пака В.Т. Внутренние волны в высокоширотном бассейне // *Океанология*. 2010. № 5. С. 709–715.

Мониторинг прибрежной зоны на Черноморском экспериментальном подспутниковом полигоне / под ред. В.А. Иванова, В.А. Дулова; НАН Украины, Морской

гидрофизический институт. Севастополь, 2014. С. 526, ил. 359, табл. 83, библи. 544.

Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации / под. ред. В.Г. Бондура, Л.М. Гохберга, В.А. Спиренкова, Ф.В. Шкурова. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 128 с.

Bondur V. Complex Satellite Monitoring of Coastal Water Areas // 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. 7p.

Bondur V.G. Satellite monitoring and mathematical modeling of deep runoff turbulent jets in coastal water areas // in book *Waste Water – Evaluation and Management*, ISBN 978-953-307-233-3, InTech, Croatia. 2011. P. 155–180. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/satellite-monitoring-and-mathematical-modelling-of-deep-runoff-turbulent-jets-in-coastal-water-areas>

Bondur V., Starchenkov S. “Monitoring of Anthropogenic Influence on Water Areas of Hawaiian Islands Using RADARSAT and EVISAT Radar Imagery.” 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. P. 184–187.

Bondur V., Tsidilina M. “Features of Formation of Remote Sensing and Sea truth Databases for The Monitoring of Anthropogenic Impact on Ecosystems of Coastal Water Areas.” 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. P. 192–195.

Geospatial Interoperability Reference Architecture (GIRA): Increased Information Sharing Through Geospatial Interoperability // United States. Information Sharing Environment. 2015. P. 1–140.

Morozov E.G. Oceanic Internal Tides. Observations, Analysis and Modeling. A Global View. Springer, 2018. 316 p.

Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V. Strong internal tides in the Kara Gates Strait, Geophysical Research Letters. 2008. V. 35. L16603.

Satellite Remote Sensing Information Support for the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” South Ocean Mission

V. V. Zamshin¹, E. R. Matrosova¹, E. G. Morozov², V. A. Spiridonov², D. I. Frey², V. D. Kharchenko¹, V. N. Khodaeva¹, O. I. Chvertkova¹, and V. A. Shlyupikov¹

¹*Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring “AEROCOSMOS”, Moscow, Russia*

²*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

During cruise 79 of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” in the Atlantic Antarctic, its information support was performed using optical and radar high-, mid-, and low resolution satellite data, as well as using geoinformation technologies. During the field studies from December 2019 till February 2020, pre-processed information obtained by multisatellite remote sensing system on specific efficient scattering area, sea surface temperature, sea ice concentration, icebergs, altimetry, concentration of matter near surface (chlorophyll, particulate organic carbon, inorganic suspended particulate matter, and total suspended matter) was transmitted to the vessel. Here we describe the developed information infrastructure that provides the research vessel with routine satellite data automatically integrated into the user’s geoinformation environment as unified spatiotemporal distributions of significant environment parameters. Satellite information used for planning the ship’s route and measurements is described.

Keywords: remote sensing, multisatellite system, comprehensive monitoring, the Antarctic, krill, field survey, geoinformational systems

REFERENCES

Bondur V.G. Aerokosmicheskie metody v sovremennoy okeanologii (Aerospace methods in modern oceanology) //

New Ideas in Oceanology. V. 1. Physics. Chemistry. Biology. Moscow: Nauka. 2004. P. 55–117. (In Russian).

Bondur V.G. Aerospace Methods and Technologies for Monitoring Oil and Gas Areas and Facilities // *Izvestiya*,

- Atmospheric and Oceanic Physics. 2011. V. 47. № 9. P. 1007–1018. doi: 10.1134/S0001433811090039.
- Bondur V.G. Modern Approaches to Processing Large Hyperspectral and Multispectral Aerospace Data Flows. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2014. V. 50. № 9. P. 840–852. doi: 10.1134/S0001433814090060.
- Bondur V. Complex Satellite Monitoring of Coastal Water Areas // 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. 7 p.
- Bondur V.G. Satellite monitoring and mathematical modelling of deep runoff turbulent jets in coastal water areas // in book *Waste Water – Evaluation and Management*, ISBN 978-953-307-233-3, InTech, Croatia. 2011. P. 155–180. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/satellite-monitoring-and-mathematical-modelling-of-deep-runoff-turbulent-jets-in-coastal-water-areas>
- Bondur V.G., Vorobjev V.E., Grebenjuk Y.V., Sabinin K.D., Serebryany A.N. Study of fields of currents and pollution of the coastal waters on the Gelendzhik Shelf of the Black Sea with space data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2013. V. 49. № 9. P. 886–896. doi: 10.1134/S000143381309003X.
- Bondur V.G., Grebenuk Y.V. Remote indication of anthropogenic influence on marine environment caused by depth wastewater plume: Modelling, experiments // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2001. № 6. P. 49–67. (In Russian).
- Bondur V.G., Grebenyuk Yu.V., Morozov E.G. Satellite recording and modeling of short internal waves in coastal zones of the ocean // *Doklady Earth Sciences*. 2008. V. 418. № 1. P. 191–195. doi: 10.1134/S1028334X0801042X.
- Bondur V.G., Zubkov E.V. Vydelenie melkomasshtabnykh neodnorodnostey opticheskikh kharakteristik verkhnego sloya okeana po mnogoazonalnym sputnikovym izobrazheniyam vysokogo razresheniya. Chast 1. Effekty sbrosa drenaznykh kanalov v pribrezhnye akvatorii (Showing up the small-scale ocean upper layer optical inhomogeneities by the multispectral space images with the high surface resolution. Part 1. The canals and channels drainage effects at the coastal zone) // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2005. № 4. P. 54–61. (In Russian).
- Bondur V.G., Keeler R.N., Starchenkov S.A., Rybakova N.I. Monitoring zagryazneniy pribrezhnykh akvatoriy s ispolzovaniem mnogospektralnykh sputnikovyykh izobrazheniy vysokogo prostanstvennogo razresheniya (Monitoring of the pollution of the ocean coastal water areas using space multispectral high resolution imagery) // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2006. № 6. P. 42–49. (In Russian).
- Bondur V.G., Starchenkov S.A. Metody i programmy obrabotki i klassifikatsii aerokosmicheskikh izobrazheniy (Methods and programs for aerospace imagery processing and classification) // *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotography*. 2001. № 3. P. 118–143. (In Russian).
- Bondur V., Starchenkov S. “Monitoring of Anthropogenic Influence on Water Areas of Hawaiian Islands Using RADARSAT and EVISAT Radar Imagery.” 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. P. 184–187.
- Bondur V.G., Morozov E.G., Belchanskiy G.I., Grebenyuk Yu.V. Radiolokatsionnaya semka i chislennoe modelirovanie vnutrennykh prilivnykh voln v shelfovoy zone (Radar Imaging and Numerical Simulation of Internal Tidal Waves Nearby U.S. North-Eastern Coast) // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2006. № 2. P. 51–63 (In Russian).
- Bondur V.G., Filatov N.N., Grebenyuk Yu.V., Dolotov Yu.S., Zdorovenov R.E., Petrov M.P., Tsidilina M.N. Studies of hydrophysical processes during monitoring of the anthropogenic impact on coastal basins using the example of Mamala Bay of Oahu Island in Hawaii // *Oceanology*. 2007. V. 47. № 6. P. 769–787. doi: 10.1134/S0001437007060033.
- Bondur V., Tsidilina M. “Features of Formation of Remote Sensing and Sea truth Databases for The Monitoring of Anthropogenic Impact on Ecosystems of Coastal Water Areas.” 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. ISRSE, 2005. P. 192–195.
- Geospatial Interoperability Reference Architecture (GIRA): Increased Information Sharing Through Geospatial Interoperability // United States. Information Sharing Environment. 2015. P. 1–140.
- Vedernikov V.I., Bondur V.G., Vinogradov M.E., Landry M.R., Tsidilina M.N. Anthropogenic Influence on the Planktonic Community in the Basin of Mamala Bay (Oahu Island, Hawaii) Based on Field and Satellite Data // *Oceanology*. 2007. V. 47. № 2. P. 221–237. doi: 10.1134/S0001437007020099.
- Kostyanov A.G. Sputnikovyy monitoring parametrov klimaticheskoy sistemy Zemli [Satellite monitoring of the ocean climate parameters]. Part 1 // *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya*, P. 63–85, 2/2017. (In Russian).
- Lavrova O.Yu., Kostyanov A.G., Lebedev S.A., Mityagina M.I., Ginzburg A.I., Sheremet N.A. Kompleksnyy sputnikovyy monitoring morey Rossii [Comprehensive satellite monitoring of Russian seas]. Moscow: IKI RAS Publ., 2011. 480 p. (In Russian).
- Morozov E.G. Oceanic Internal Tides. Observations, Analysis and Modeling. A Global View. Springer, 2018. 316 p.
- Morozov E.G., Pisarev S.V. Vnutrenniy priliv v arkticheskikh shiroтах (chislennye eksperimenty) [Internal tides in the Arctic latitudes (numerical experiments)] // *Okeanologiya*, 2002. V. 42. № 2. P. 165–173. (In Russian).
- Morozov E.G., Neiman V.G., Pisarev S.V., Erofeeva S.Yu. Vnutrenniy prilivnyye volny v Barentsevom more (Internal tide in Barents Sea) // *Doklady Akademii nauk*. 2003. V. 392. № 5. P. 686–688. (In Russian).
- Morozov E.G., Spiridonov V.A., Molodcova T.N., Frei D.I., Demidova T.A., Flint M.V. Issledovaniya ekosistemy Atlanticheskogo sektora Antarkтики (79 reis nauchno-issledovatel'skogo sudna “Akademik Mstislav Keldysh”) // *Okeanologiya*. 2020. V. 60. № 5. P. 1–3. (In Russian).
- Morozov E.G., Flint M.V., Spiridonov V.A., Tarakanov R. Yu. Programma kompleksnykh ekspeditsionnykh issledovaniy ekosistemy Atlanticheskogo sektora Yuzhnogo okeana (dekabr' 2019 – mart 2020 g.) [Multidisciplinary program of field studies of ecosystem in the Atlantic sector of the Southern Ocean (december 2019 – march 2020)] // *Okeanologiya*. 2019. V. 59. № 6. P. 1086–1088. (In Russian).
- Morozov E.G., Paka V.T. Internal waves in a high-latitude region // *Oceanology*. 2010. V. 50. № 5. P. 668–674.
- Morozov E.G., Paka V.T., Bakhanov V.V. Strong internal tides in the Kara Gates Strait, Geophysical Research Letters. 2008. V. 35. L16603.
- Monitoring pribrezhnoy zony na Chernomorskom eksperimental'nom podsputnikovom poligone [Coastal monitoring at the Black Sea experimental sub-satellite training ground] / Ed. by Ivanov V.A., Dulov V.A. // *Marine Hydroph. Inst. Publ. Sevastopol*, 2014. 526 p. (In Russian).
- Prostranstvennyye dannye: potrebnosti ekonomiki v usloviyakh tsifrovizatsii [Spatial data: the needs of the economy in the context of digitalization] / Ed. by V.G. Bondur, L.M. Gokhberg, V.A. Spirenkov, F.V. Shkurov. Moscow: HSE University Publ., 2020. 128 p. (In Russian).