

Тема МОНИТОРИНГ Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности

Гос. Регистрация № 01.20.0.2.00164

Тема выполняется в следующих приоритетных направлениях

5.27, 5.28, 6.17, 6.20, 6.21, 6.23, 6.24, 6.26

Научные руководители:

д.т.н. Е.А. Лупян

Научные руководители направлений:

«Мониторинг-технологии»	д.т.н. Лупян Е.А.
«Мониторинг-биосфера»	д.т.н. Барталев С.А.
«Мониторинг-климат»	д.ф.-м.н. Шарков Е.А.
«Мониторинг-океан»	д.ф.-м.н. Шарков Е.А.
«Мониторинг-Атмосфера»	д.ф.-м.н. Ерохин Н.С.
«Мониторинг-Эффект»	к.ф.-м.н. Форш А.А.

Настоящая тема посвящена разработке научных основ, методов и технологий спутникового мониторинга для планеты Земля, а также исследования различных процессов происходящих на нашей планете с помощью современных методов дистанционного зондирования. В рамках темы проводятся исследования в следующих основных направлениях:

- **«Мониторинг-технологии»** - Разработка научных основ, методов и алгоритмов для автоматизированного анализа долговременных рядов спутниковых наблюдений, создание и ведение долговременных архивов данных спутниковых наблюдений, разработка методов и технологий дистанционного мониторинга различных природных и антропогенных процессов и явления.
- **«Мониторинг-биосфера»** Разработка научных основ, методов и алгоритмов использования технологий спутникового мониторинга для исследования состояния биосферы. Изучение процессов, происходящих в биосфере планеты с использованием современных возможностей дистанционного мониторинга. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Северной Евразии.
- **«Мониторинг-климат»** Разработка научных основ, методов и алгоритмов использования технологий спутникового мониторинга для исследования глобальных изменений. Мониторинг и изучение глобального тропического циклогенеза как одного из климатообразующих факторов.
- **«Мониторинг-океан»** Разработка научных основ, методов и алгоритмов использования технологий спутникового мониторинга для исследования различных процессов, происходящих в Мировом Океане. Теоретическое и экспериментальное исследование динамических и волновых процессов в верхнем слое океана и в приповерхностной атмосфере на основе данных спутникового дистанционного зондирования. Мониторинг и изучение природных и антропогенных процессов в пограничных морях России.
- **«Мониторинг-Атмосфера»** Разработка научных основ, методов и алгоритмов использования технологий спутникового мониторинга для

исследования различных процессов, происходящих в атмосфере Земли. Теоретическое и экспериментальное исследование динамических и волновых процессов в атмосфере Земли, в том числе с использованием современных возможностей спутниковых наблюдений.

- **«Мониторинг-Эффект»** Разработка методов и технологий построения современных систем дистанционных наблюдений и методов обработки поступающих от них данных.

В 2012 году в соответствии с планом научных работ Института космических исследований в рамках темы «Мониторинг» проводились работы по перечисленным Выше направлениям. Основные результаты работ приведены в настоящей главе отчета в соответствующие разделах.

Раздел 4.1. Мониторинг-технологии

Отв. исп. д.т.н. Лупян Е.А.

4.1.1. Развитие методов и технологий автоматической обработки, архивации и представления спутниковых данных для обеспечения гидрометеорологического мониторинга.

Отв. исп. с.н.с. к.т.н. Прошин А.А., м.н.с. Бурцев М.А. отд.56

Основные работы, выполненные в данном направлении в 2012 году, были направлены на разработку методов и технологий автоматической обработки, архивации и представления спутниковых данных для создания системы работы с распределенными архивами результатов обработки спутниковых данных центров приема Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии "Планета" (далее НИЦ "Планета"), который является ведущей организацией, обеспечивающей работу со спутниковыми данными Федерального агентства по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

«НИЦ «Планета» обеспечивает прием и обработку спутниковых данных в распределенной сети следующих центров, в состав которой входят:

- Европейский центр (Москва, Обнинск, Долгопрудный);
- Сибирский центр (Новосибирск);
- Дальневосточный центр (Хабаровск).

В этих центрах ежедневно принимается и обрабатывается более 280 Гбайт данных, на основе которых производятся информационные продукты для решения задач гидрометеорологии и мониторинга состояния окружающей среды. При этом одной из основных задач является создание единой унифицированной системы обработки данных, обеспечивающей работу пользователей с распределенными архивами различных автоматически формируемых в центрах НИЦ "Планета" информационных продуктов. При этом следует учитывать, что в силу значительных объемов данных и большого разнообразия информационных продуктов для реализации подобной информационной системы необходимо создавать специализированные технологии работы с информацией. Создание элементов такой технологии и проводилось в ИКИ РАН в рамках темы "Мониторинг-Технология"

Для разработки подобных систем работы с данными может использоваться несколько различных подходов. Например, традиционный подход, предполагающий построение строго заданного набора тематических продуктов с фиксированным

географическим покрытием и метаинформацией и предоставление их пользователю посредством различных способов передачи данных (e-mail, ftp, http и т.д.). Данный подход обладает безусловно рядом достоинств, но имеет и целый ряд существенных недостатков, которые не позволяют эффективно использовать его в достаточно сложных распределенных системах, работающих с большим объемом данных. К таким недостаткам в частности относятся:

- создаваемые на основе данного подхода системы очень не гибкие и тяжело наращиваемые. (Любое изменение существующего продукта фактически превращается в добавление нового продукта, которое требует по сути построения новой цепочки из процессов диспетчеризации данных на обработку, обработки данных и их передачи пользователю);
- по мере увеличения числа производимых продуктов лавинообразно растет число процессов и сложность системы;
- практически неизбежно возникает частичное перекрытие продуктов и быстрый, трудно контролируемый рост объемов архивов;
- достаточно сложно организовать взаимодействие различных распределенных систем обработки данных, функционирующих в разных центрах ;
- практически невозможно оперативно ввести в систему дополнительные продукты

Вместо описанного выше был предложен альтернативный подход к созданию систем работы с данными. Его суть заключается в построении базовых информационных продуктов в форматах, позволяющих доступ к произвольным географическим областям, покрытым данными. При этом для того, чтобы обеспечить быстрый доступ к данным, используются специально структурированные архивы данных. Созданные таким образом данные предоставляются пользователям посредством специализированных картографических web-интерфейсов, обеспечивающих как возможность просмотра и анализа данных, так и возможность создания собственных тематических продуктов и модификации имеющихся. У данного подхода можно выделить следующие преимущества:

- имеется возможность доступа к данным различных КА по произвольной области в необходимом масштабе;
- можно построить универсальный инструментарий для генерации и анализа данных в режиме онлайн;
- не требуется наличия специализированных программных комплексов для анализа результатов обработки спутниковых данных;
- формируемые продукты практически не дублируются, что приводит к существенному сокращению объемов хранимых данных;
- система легко масштабируется, что не приводит к её разрастанию и резкому увеличению числа процессов, которые необходимо контролировать.
- подход позволяет максимально унифицировать работу по подготовке, хранению и предоставлению данных во всех центрах приёма и обработки данных, что крайне облегчает построение и масштабирование распределённой системы работы с данными.

Для реализации данного подхода использовались технологии автоматической обработки данных, схемы их архивации и представления, которые были разработаны в ИКИ РАН. При этом основной задачей этапа 2012 года была разработка архитектуры универсальных комплексов сбора, обработки и распространения данных, которые можно было бы использовать в центрах НИЦ "Планета", а также разработать базовые схемы и технологии взаимодействия комплексов, установленных в различных центрах. Архитектура базового комплекса приведена на рис 4.1.1.1.

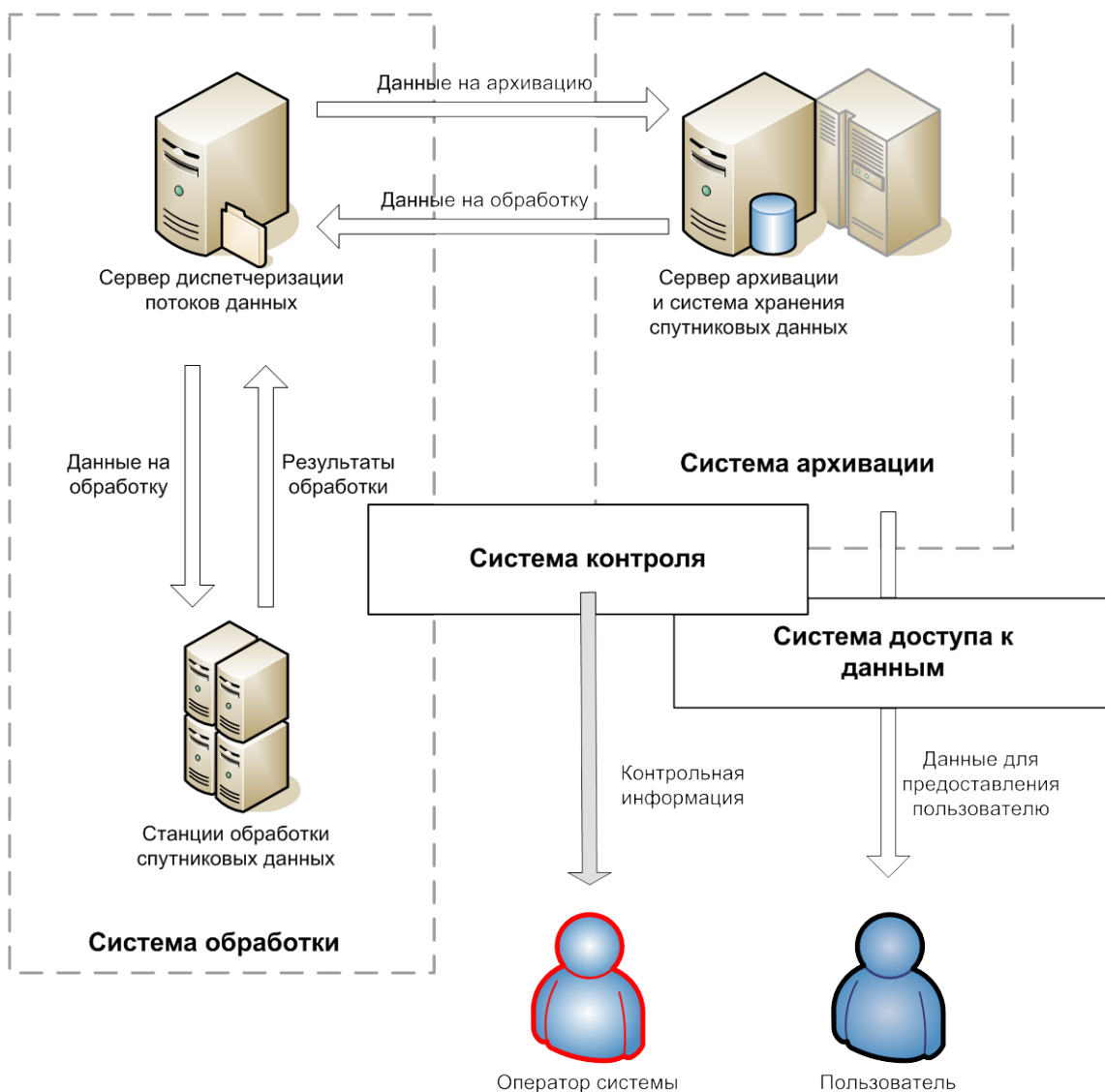


Рис.4.1.1.1. Архитектура базового комплекса обработки, архивации и представления спутниковых данных.

Для построения единого распределённого архива на основе архивов различных центров можно выделить два подхода. Первый предполагает постоянный обмен метаданными между центрами по мере пополнения их архивов с целью постоянно иметь информацию о полном содержимом объединённого архива во всех его узлах. Второй предполагает независимое ведение архивов в каждом центре и объединение их не на уровне метаданных, а на уровне пользовательских интерфейсов доступа к данным.

Объединение архивов на уровне метаданных позволяет в любой момент времени получить информацию о наличии данных по любым критериям при обращении к любому из узлов архива, независимо от того, принадлежат ли требуемые данные к архиву этого центра или не принадлежат. В состав информации о данных, подходящих под критерии пользовательского поиска, входит не только количественная информация (количество единиц данных, удовлетворяющих критериям выбора), но и качественная (источники данных, центры приёма, даты и времена получения данных, их пространственное покрытие). Обмен метаданными осуществляется асинхронно посредством стандартных протоколов обмена данными. При каждом пополнении или изменении архива в центре метаданные добавленных и изменившихся данных пересылаются во все остальные центры, где усваиваются в локальные каталоги архивов со ссылками на источник данных.

При необходимости доступа к самим данным они запрашиваются из соответствующих центров.

Объединение архивов на уровне интерфейсов доступа также позволяет в любой момент времени получить информацию о наличии данных по интересующим критериям при обращении к любому из узлов архива. Основное отличие от предыдущего метода заключается в том, что информация о наполнении локальных архивов на постоянной основе не передаётся, а для получения каждой требуемой выборки данных во все центры единого архива направляются запросы, и по их результатам формируется ответ пользователю. Функциональные схемы методов взаимодействия архивов центров между собой представлены на рис.4.1.1.2. и 4.1.1.3.

Если сравнивать эти подходы между собой, то у каждого из них есть свои преимущества и недостатки. Объединение на уровне метаданных предполагает асинхронный обмен данными. С одной стороны, это может привести к тому, что за счёт временных задержек на пересылку и усвоение метаданных пользователь может получить информацию о требуемых ему данных с некоторым запозданием. С другой стороны, такая схема в сочетании с хранением полного комплекта метаданных архива в каждом его узле позволит пользователю иметь максимально полную информацию об архиве в любой момент времени независимо от тех или иных проблем со связью между узлами. Кроме того, все сложные запросы на выборку данных осуществляются в рамках одного центра, что существенно увеличивает быстродействие системы доступа к данным. Объединение на уровне интерфейсов предполагает синхронный обмен данными, что позволяет пользователю всегда получать информацию на текущий момент времени. Вместе с тем, эта схема очень требовательна к каналам связи и работе оборудования центров, так как любое, даже кратковременное отключение связи, полностью выводит отключённый центр из состава единого архива, а необходимость частого обмена сложными запросами между центрами способна сильно понизить быстродействие системы доступа к данным. Также необходимо сказать, что существенным минусом объединения на уровне метаданных является технологическая сложность построения схемы обмена метаданными и обеспечения непротиворечивости архивов в узлах единого архива.

Проведенный анализ показывает, что наиболее эффективными могут стать системы, которые позволяют объединить преимущества двух описанных подходов. Подход с объединением на уровне метаданных оптимален для сложных архивов с большим количеством данных, в том числе единовременно предоставляемых пользователю. Сложность его реализации полностью компенсируется скоростью и надёжностью работы системы доступа к данным. Подход с объединением на уровне интерфейсов доступа оптимален для простых архивов, к которым не идёт сложных запросов и не так критична надёжность и скорость доступа. Поэтому нами был разработан подход, позволяющий постоянно синхронизировать архивы метаданных в различных центрах, обеспечивая при этом формирование необходимых продуктов по мере их запросов, оперативно получая информацию из различных распределённых элементов архивов.

Для создания работы с данными были созданы специализированный интерфейс на основе разработанной в ИКИ РАН технологии GEOSMIS. Отличительными особенностями реализации этой технологии являются модульная структура создаваемых интерфейсов, гибкость настройки и простота расширения. Именно, исходя из этих особенностей и была разработана архитектура интерфейса.

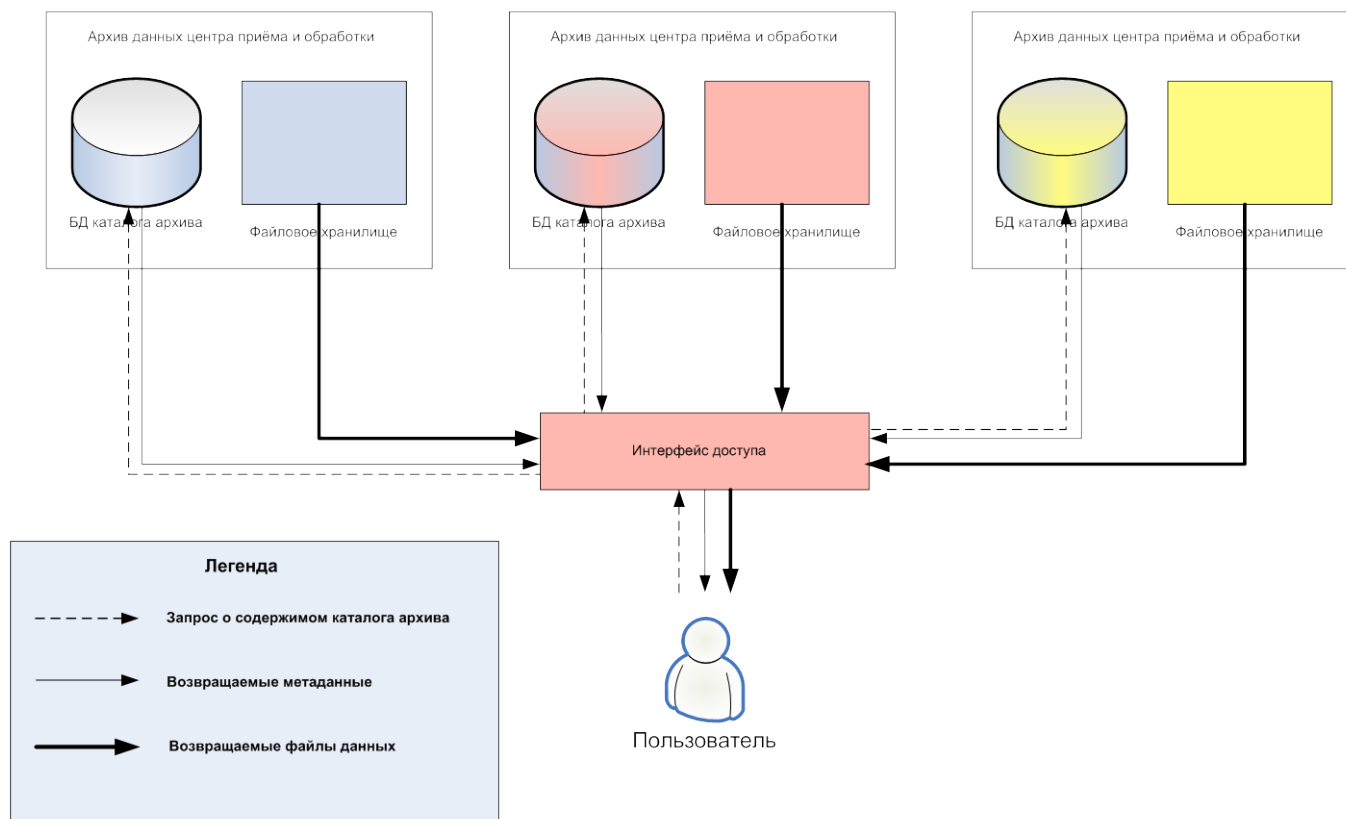


Рис. 4.1.1.2. Взаимодействие архивов исходных данных.

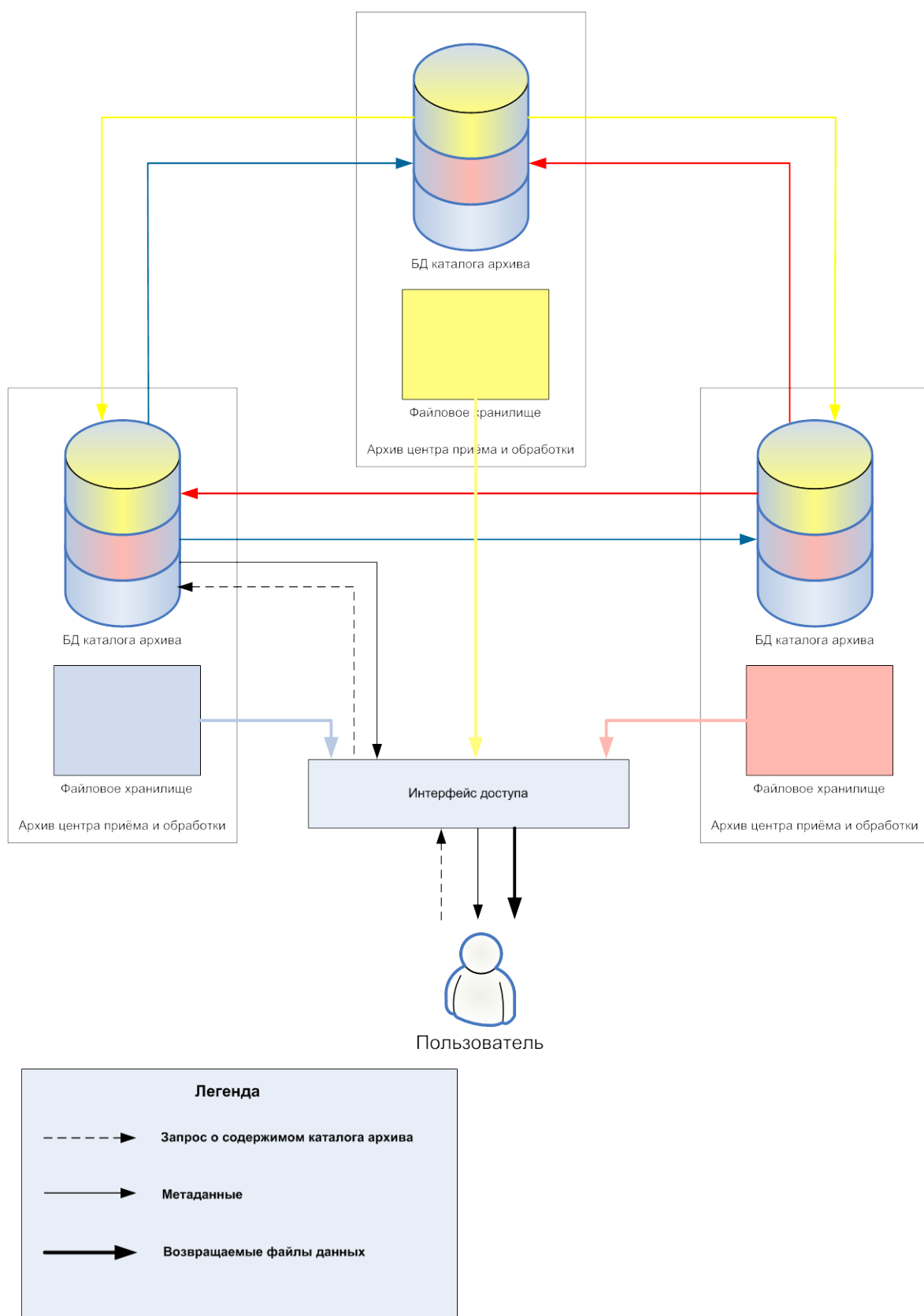


Рис. 4.1.1.3. Взаимодействие архивов результатов обработки.

Разработанные подходы и базовые интерфейсы позволили в рамках проектов Росгидромета и Роскосмоса в достаточно короткие сроки ввести в опытную эксплуатацию система работы с распределёнными архивами данных центров «НИЦ «Планета». Это позволило обеспечить специалистам Росгидромета широкие возможности для получения и анализа оперативно получаемой спутниковой информации. При этом специалистам в настоящее время доступны как исходные, так и обработанные данные по всей территории России, полученные во всех основных центрах приёма, за длительный промежуток времени, ограниченный только возможностями систем хранения. Кроме того, имеется возможность не только получить оперативную информацию, но и воспользоваться различными инструментами для ее анализа и дальнейшей обработки.

Созданная система является достаточно гибкой и легко наращиваемой, что в настоящее время особенно важно в связи с быстрым развитием спутниковых систем и вводом в строй новых КА, в том числе и Российских.

4.1.2. Поддержка и развитие информационного спутникового сервиса коллективного пользования ВЕГА в интересах обеспечения научных проектов, ориентированных на изучение растительных экосистем на территории Северной Евразии.

Отв. исп. н.с. Толпин А.А., ведущий инженер к.ф.-м.н Нестеренко А.А. отд.56.

В 2012 году в ИКИ РАН проводились развитие, постоянная поддержка и ввод в эксплуатацию спутникового сервиса ВЕГА (<http://vega.smislabs.ru>). Спутниковый сервис ВЕГА предназначен для оперативной информационной поддержки широкого круга научных и прикладных задач мониторинга растительного покрова планеты. Работы по развитию спутникового сервиса ВЕГА были направлены в основном на расширение функциональности сервиса для обеспечения возможности решения задач, связанных с мониторингом лесных экосистем.

К настоящему времени в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) собраны и непрерывно пополняются многолетние архивы спутниковых данных, основанные преимущественно на использовании открытых источников данных, в качестве основных из которых на настоящем этапе выступают системы Terra/Aqua-MODIS и Landsat-TM/ETM+.

Временные ряды ежедневно покрывающих всю территорию России данных спектрорадиометра MODIS имеют пространственное разрешение 250 м, 500 м и 1 км в различных спектральных каналах и охватывают период с 2000 года по настоящее время. Созданные автоматизированные технологии предварительной обработки данных MODIS позволяют очищать их от влияния облаков и строить непрерывные временные ряды спектральных вегетационных индексов, тесно коррелирующих с объемом и состоянием зеленой биомассы растительности. Использование указанных данных позволило разработать целый ряд методов мониторинга лесов, основанных на анализе сезонной и многолетней динамики временных рядов спектральных вегетационных индексов.

Данные MODIS также положены в основу технологий картографирования растительного покрова России и оценки повреждений лесов пожарами.

Важным элементом системы является непрерывно пополняемый многолетний архив данных Landsat-TM/ETM+ с пространственным разрешением около 30 м на территорию России и сопредельных государств. Разработанная технология первичной обработки, хранения изображений и оперативного доступа к ним в интерфейсе спутникового сервиса ВЕГА дает принципиально новые возможности пространственно-временного анализа этих данных для выявления изменений в лесах, вызванных пожарами, болезнями, экстремальными погодными явлениями, вырубками и другими деструктивными факторами.

Сервис ВЕГА включает картографический интерфейс (рис. 4.1.2.1.), разработанный на базе созданной в ИКИ РАН технологии GEOSMIS (Толпин и др., 2011) и снабженный как стандартными ГИС инструментами навигации по карте России, так и специализированными функциями анализа растительности.

В частности, для решения задач мониторинга лесов в составе спутникового сервиса обеспечивается возможность задания границ произвольных лесных участков на территории России для построения временных профилей вегетационного индекса, а также оценки площади и запасов насаждений по группам древесных пород.

Для удобства отображения информация группируется по видам информационных продуктов, включая: спутниковые данные высокого (Landsat-TM/ETM) и среднего (MODIS) пространственного разрешения, сельскохозяйственные земли, леса, природные пожары, метеорологическая и картографическая информация.

Инструменты анализа данных в составе сервиса ВЕГА обеспечивают следующие функциональные возможности:

- Комплексный анализ спутниковых данных различного пространственного разрешения и результатов их обработки, картографических и атрибутивных данных;
- Оценка многолетней динамики спектрального вегетационного индекса для определения причин и времени изменений в лесах;
- Поддержка и обновление базы данных контуров и характеристик лесных участков для обеспечения возможности мониторинг их состояния;
- Геоинформационный анализ спутниковых данных во времени и пространстве;
- Оценка статистики и формирование аналитических форм, характеризующих состояние лесов на заданных участках.

Интерфейс сервиса ВЕГА обеспечивает оперативный доступ к информационным продуктам, получаемым по данным спутниковых систем Landsat-TM/ETM+ (30м) и MODIS (250м). Вышеуказанные данные автоматически обновляются по мере их появления в каталогах архивов геологической службы США (<http://lpdaac.usgs.gov/main.asp>).

Ежедневно поступающие продукты MODIS (MOD09) автоматически обрабатываются с целью устранения зашумленных измерений, связанных с облачным покровом и другими искажающими факторами, что приводит к образованию пропусков в наблюдениях. С целью компенсации этого эффекта на основе данных ежедневных измерений формируются недельные композитные изображения. Полученные композитные изображения используются для вычисления значений нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI с последующей интерполяцией и сглаживанием временных рядов данных для устранения выбросов случайного характера. Получаемые временные ряды NDVI в каждой точке земной поверхности интегрируются в единую информационную базу спутниковых продуктов и используются для построения графиков сезонного и многолетнего поведения вегетационного индекса.

Данные Landsat-TM/ETM+ проходят радиометрическую и геометрическую коррекцию и используются для получения цветосинтезированных изображений на уровне отдельных сцен. Для цветового синтеза изображения используется комбинация спектральных каналов красного, ближнего и среднего ИК диапазонов длин волн. В качестве дополнительного информационного продукта создается изображение нормализованного разностного вегетационного индекса.

Для решения задач, связанных с исследованием и мониторингом лесов, в сервис ВЕГА был включен ряд специализированных тематических продуктов и инструментов для их анализа. В спутниковом сервисе стали доступны карты растительного покрова России и запасов лесов, а также карты выявленных по данным MODIS очагов природных пожаров и поврежденных огнем насаждений.

В состав информационного обеспечения спутникового сервиса включена карта растительного покрова России, созданная на основе данных спутникового спектрорадиометра MODIS. Будучи основанной на спутниковых данных 2010 года с пространственным разрешением 250 м, созданная карта в настоящее время не имеет аналогов и является наиболее современным, объективным и детальным источником информации о пространственном распределении лесного покрова по территории России. Легенда карты включает в себя 22 тематических класса, 18 из которых характеризуют различные типы растительности, выделенные с учетом их жизненных форм, типов вегетативных органов и фенологической динамики. В состав легенды карты включены классы следующих лесных формаций:

- *Темнохвойные вечнозеленые насаждения*, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют теневыносливые виды хвойных деревьев, включая ель, пихту и сибирскую сосну (кедр);
- *Светлохвойные вечнозеленые насаждения*, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют деревья сосны обыкновенной;
- *Лиственные насаждения*, в пологе которых не менее 80% площади занимают кроны березы и осины, а также широколиственных пород, включая дуб, липу, ясень, клен, вяз и некоторые другие виды;
- *Смешанные насаждения с преобладанием хвойных пород*, в которых кроны хвойных деревьев занимают от 60 до 80%, а лиственных от 20% до 40% площади полога;
- *Смешанные насаждения*, в которых площади крон хвойных и лиственных пород деревьев представлены примерно в равных пропорциях (40-60 %) в пологе;
- *Смешанные насаждения с преобладанием лиственных пород*, в которых кроны лиственных пород деревьев занимают от 60 до 80%, а хвойных от 20% до 40% площади полога;
- *Хвойные листопадные (лиственничные) насаждения*, в пологе насаждений которых кроны деревьев лиственницы занимают более 80% площади;
- *Редины хвойные листопадные (лиственничные)*, представляющие собой участки, занятые отдельно стоящими деревьями или разреженными насаждениями лиственницы с проективным покрытием крон менее 20%.

В сервис также включены региональные карты растительного покрова, создающиеся на основе предварительно очищенных от влияния облаков разносезонных спутниковых изображений Landsat-TM/ETM+.

В 2012 году в сервис добавлены карты запасов стволовой древесины, разработанные в ЦЭПЛ РАН. Информационными источниками для создания карты запасов стволовой древесины лесов на территорию России являются спутниковая карта растительного покрова и данные государственного учета лесного фонда на уровне лесохозяйственных предприятий (лесхозов). Для каждого лесного массива внутри лесхоза рассчитываются относительные ($\text{м}^3/\text{га}$) запасы с учетом его принадлежности к различным классам лесов. Ошибка определения запасов на основе полученной карты в значительной мере зависит от точности данных государственного учета лесного фонда и может существенно варьироваться по территории России в зависимости от давности и разряда проведенных лесоустроительных работ.

Использование имеющихся в составе сервиса ВЕГА спутниковых данных, информационных продуктов и инструментов их анализа сегодня позволяет эффективно решать целый ряд задач мониторинга лесов.

Так, например, анализ поведения индекса NDVI в течение вегетационного сезона в сравнении с многолетними данными позволяет выявлять изменения в лесах и определять дату деструктивного воздействия с оценкой площади изменений на основе изображений

высокого пространственного разрешения. Приведенный на Рис. 4.1.2.2. пример иллюстрирует вышеописанную возможность на примере выявления изменений в лесах Вологодской области в результате деструктивного воздействия ветровала. Анализ динамики кривой вегетационного индекса позволяет с точностью до недели определить дату вывала древостоя в результате ураганного ветра.

Сервис ВЕГА позволяет также выявлять изменения растительности на вырубках и гарях с целью оценки хода лесовозобновления, включая контроль проведения соответствующих лесовосстановительных мероприятий. Проведение ряда лесовосстановительных мероприятий (подготовка почвы, рубки ухода, осветление молодняков) сопровождается изменениями динамики спектрального вегетационного индекса и может являться одним из информативных индикаторов.

Сервис ВЕГА позволяет проводить экспресс оценку запасов стволовой древесины лесных пород произвольно заданного участка леса. Эта возможность обеспечивает решение таких задач, как экспресс-оценка ресурсного потенциала лесных участков, отведенных под рубку, оценка объемов вырубки или ущерба от пожаров в объемах погибшей древесины.

Так, совместное использование изображений Landsat-TM/ETM+ и карт лесов позволяет оконтурить заданный участок и получить данные о распределении запасов стволовой древесины по группам лесных пород (рис. 4.1.2.3.).

Уже сейчас видно, что спутниковый сервис ВЕГА обеспечивает принципиально новые возможности дистанционного мониторинга лесных ресурсов России с перспективой расширения зоны географического охвата на другие страны и регионы планеты.

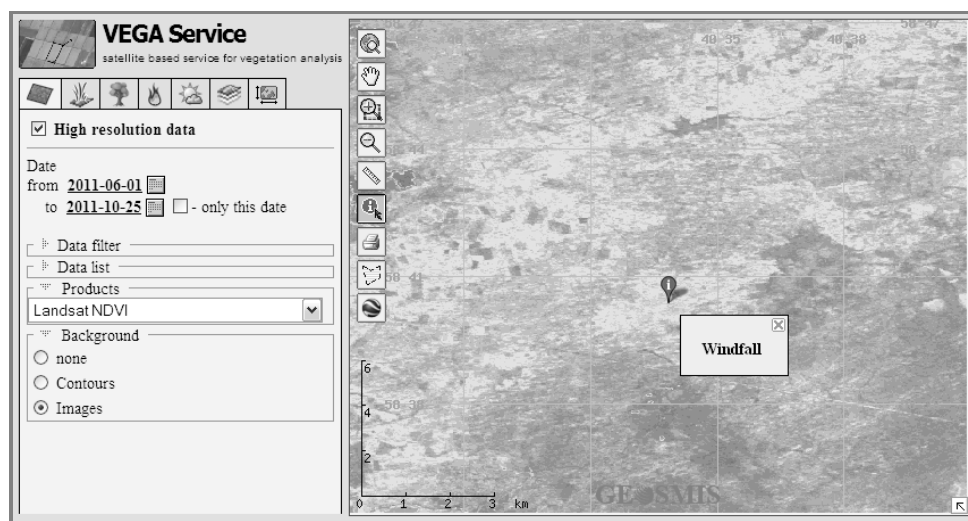


Рис. 4.1.2.1. Картографический интерфейс сервиса ВЕГА

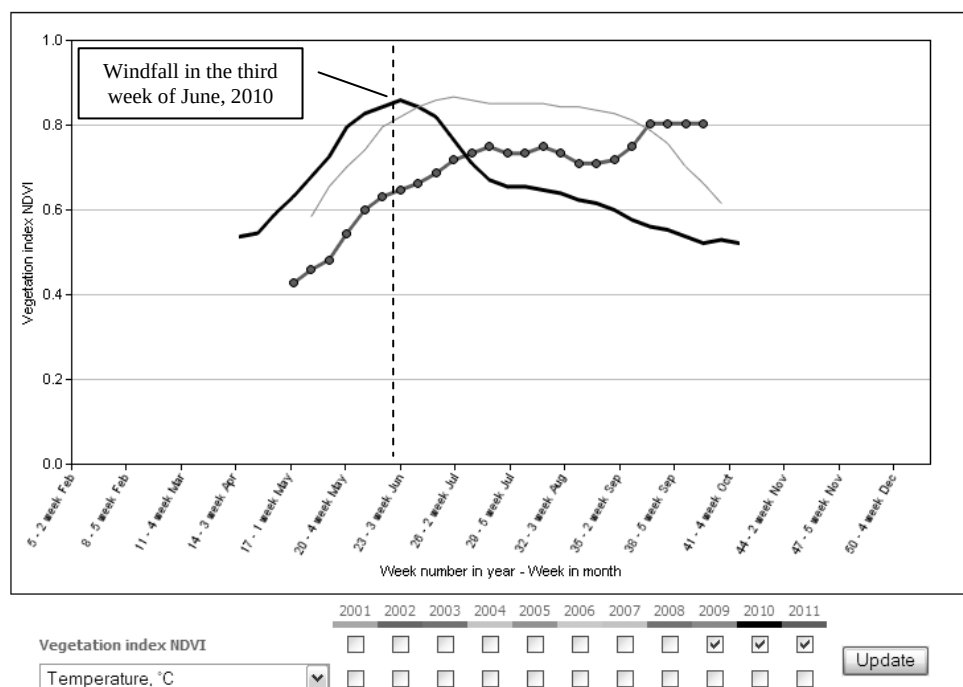


Рис.4.1.2.2. Пример определения даты гибели лесов под воздействием ветровала на основе анализа динамики кривой NDVI

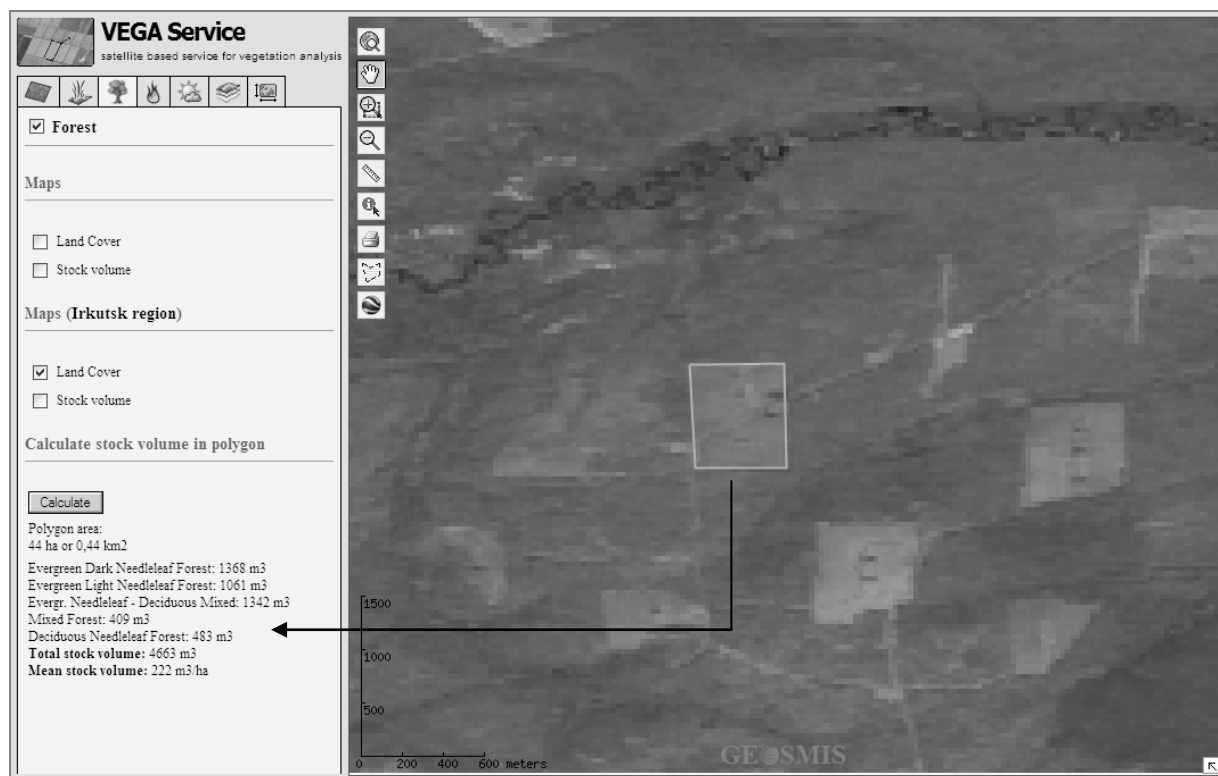


Рис. 4.1.2.3. Пример применения инструмента определения запасов, вырубленной древесины с использованием сервиса ВЕГА. Слева приводятся расчеты площади и запасов основных типов лесов. (Calculation: Polygon area: 44 ha (0,44 km²); Stock volume: Evergreen Dark Needleleaf Forest: 1368 m³; Evergreen Light Needleleaf Forest: 1061 m³; Evergreen Needleleaf - Deciduous Mixed Forest: 1342 m³; Mixed Forest: 409 m³; Deciduous Needleleaf Forest: 483 m³; Total stock volume: 4663 m³; Mean stock volume: 222 m³ / ha)

4.1.3 Создание однородных архивов данных о природных пожарах и их последствиях, полученных на основе информации дистанционного зондирования за период с 2000 по 2012 годы на территории Северной Евразии.

Отв. исп. н.с. Флитман Е.А., с.н.с. к.ф.-м.н. Крашенинникова Ю.С. отд.56

Являясь одним из основных факторов воздействия на лесные и другие типы наземных экосистем России, пожары ежегодно повреждают растительный покров на площади, измеряемой миллионами гектар. Данные о пройденной огнем площади являются важной информацией для организации эффективной охраны лесов от пожаров, оценки их экологических и экономических последствий.

Методы дистанционного зондирования используются уже более 20 лет для получения информации о природных пожарах, включая детектирование действующих очагов горения, картографирование и оценку поврежденных огнем территорий. В частности, разработан ряд методов детектирования действующих пожаров на основе данных измерений радиационной температуры земной поверхности. Российской академией наук совместно с рядом ведомственных научно-производственных организаций была разработана технология дистанционного мониторинга природных пожаров (ТДМП), которая позволяет создавать соответствующие функциональные модули в составе различных систем контроля окружающей среды. В частности, на основе ТДМП был создан модуль детектирования и оценки последствий природных пожаров в функциональной структуре спутникового сервиса ВЕГА, ориентированного на решение задач мониторинга растительного покрова на территории Северной Евразии. ТДМП является ключевой технологией для построения и развития Информационной системы дистанционного мониторинга лесов ИСДМ-Рослесхоз. Следует отметить, что созданные на основе ТДМП системы позволяют получать однородную информацию о пожарах и их последствиях на огромных территориях.

Следует особо отметить, что ТДМП, в частности, позволяет анализировать наблюдаемые тепловые аномалии и формировать на их основе информацию не об отдельных аномалиях, а комплексную информацию о природных пожарах. Это позволяет оценивать динамику пожаров, изучать причины их возникновения и динамику развития в различных условиях. Для работы с этой информацией в ИКИ РАН созданы специальные технологии ведения информационных баз данных. В 2012 году был существенно доработан метод, позволяющий производить агрегацию наблюдений отдельных "горячих точек" в пожары. Данный метод позволил провести обработку накопленных в ИКИ РАН данных с 2000 года по настоящее время, создать однородные сопоставимые архивы информации о природных пожарах, наблюдавшихся с использованием данных прибора MODIS на территории России за этот период. В архивах, например, накоплена информации о более чем 200 000 лесных пожарах, которые прошли в общей сложности около 100 млн. га. (в том числе, около 50 млн га площади покрытой лесом). Информацию архивов можно анализировать, используя спутниковый сервис ВЕГА. Данные архивы могут быть полезны для исследования различных процессов, связанных с природными пожарами, они позволяют оценивать различные характеристики пожаров. Пример динамики средней площади природного лесного пожара приведен на рис. 4.1.3.1.

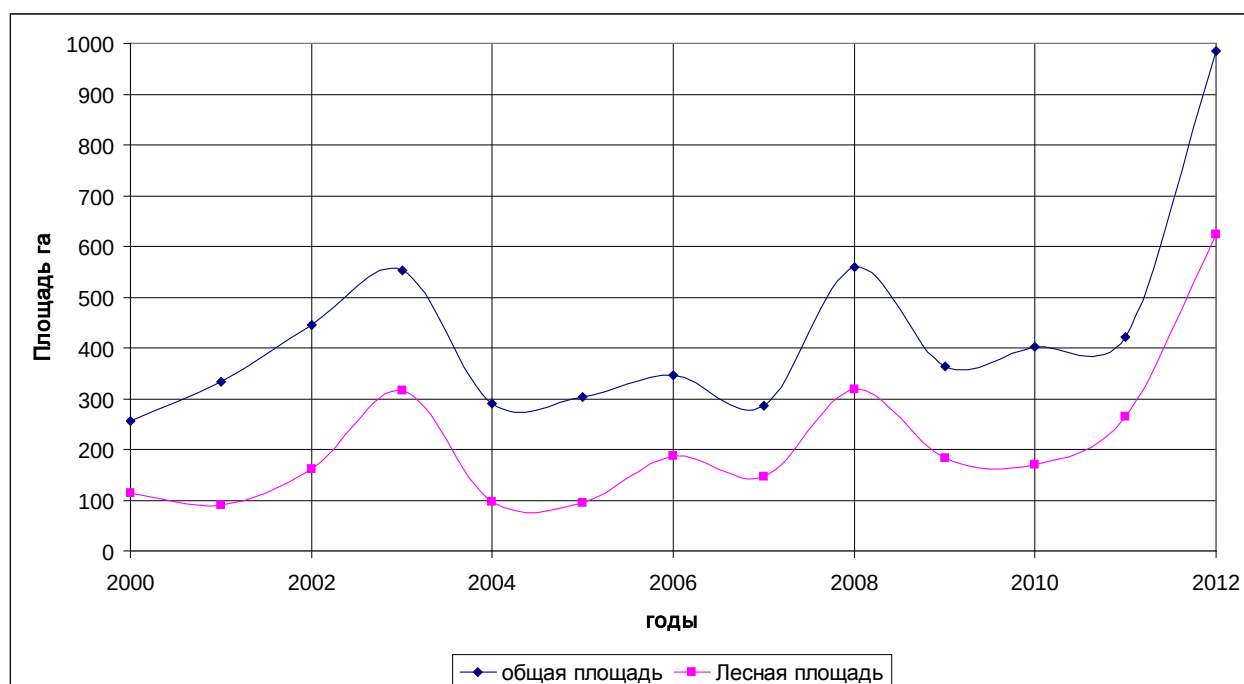


Рис. 4.1.3.1. Среднии площади лесных пожаров, наблюдавшихся с 2000 года на всей территории РФ.

4.1.4. Ведение и поддержка архивов спутниковых данных и результатов их обработки для научных исследований глобальных изменений, контроля и анализа состояния природных и антропогенных объектов. В том числе архивов информации, полученной на основе обработки данных, поступающих со спутников METEOP M, NOAA, TERRA, AQUA, LANDSAT.

Отв. исп. зав. лаб. к.ф.-м.н. Мазуров А.А. отд.56

В 2012 году в ИКИ РАН были продолжены работы по ведению и поддержке архивов спутниковых данных и результатов их обработки. Для обеспечения этих работ проводилось развитие вычислительного комплекса, созданного в ИКИ РАН для решения задач различных научных и прикладных проектов, связанных с обработкой, архивацией и использованием информации дистанционного мониторинга. При этом особое внимание уделялось вопросу структуризации данного комплекса для обеспечения возможности его постепенного постоянного развития и повышения устойчивости работы, с целью обеспечения возможности простого добавления и/или замены вышедшего из строя оборудования, без значительных разовых капитальных вложений.

В настоящее время комплекс состоит из следующих программно-аппаратных блоков, ориентированных на решение задач различных этапов жизненного цикла данных ДЗЗ:

1) Подсистема ведения архивов данных;

Основными задачами этой подсистемы является архивация спутниковых данных и продуктов их тематической обработки, и обеспечение к ним доступа, как с целью проведения последующей обработки, так и для предоставления их конечному пользователю. Так как данные на архивацию поступают в постоянном режиме, причем их объемы с течением времени растут слабо предсказуемым образом, то рассматриваемая подсистема должна легко масштабироваться путем добавления в нее новых аппаратных средств хранения данных.

2) Подсистема обработки спутниковых данных;

Основной задачей подсистемы является обработка спутниковых данных с целью получения информационных продуктов, используемых как для дальнейшей обработки, так и для предоставления их конечным пользователям. При этом подсистема должна обеспечивать максимально простое предоставление вычислительных мощностей для выполнения конкретных процедур обработки. В идеале, по мере возникновения потребностей в вычислительных мощностях для конкретных процедур обработки, эти мощности по мере наличия должны им автоматически выделяться. Кроме того, подсистема должна иметь возможность простого наращивания и включения в себя дополнительных вычислительных мощностей (машин). При этом следует учесть, что она должна обеспечивать возможность работы на разнородном вычислительном оборудовании, что позволяет ее простое развитие и совершенствование по мере появления новых вычислительных средств.

3) Подсистема представления данных;

Основной задачей этой подсистемы является представление удобного доступа к спутниковым информационным продуктам на базе использования специализированных веб-интерфейсов. Особенностью этой системы является работа практически в режиме реального времени, применение разветвленной системы авторизации и возможности одновременного использования различных компьютеров для подготовки информации, необходимой пользователям. Система также должна быть рассчитана на возможность использования разнородных вычислительных мощностей.

4) Подсистема управления и контроля;

Основными задачами подсистемы являются: диспетчеризация потоков данных, управление процедурами архивации и обработки спутниковых данных и контроль успешности ее выполнения, а также мониторинг функционирования аппаратной части комплекса. Особенностью этой системы является постоянное оперативное получение информации о состоянии различных процессов обработки, архивации и представления данных, а также информации о работоспособности оборудования, обеспечивающего работу отдельных подсистем.

Подсистема ведения архивов реализована в виде серверов, предназначенных для хранения огромных массивов спутниковых данных в виде файловых архивов и серверов, предназначенных для функционирования СУБД. Архивы содержат исходные спутниковые данные и различные тематические продукты, получаемые на основе их обработки. Существенно, что в рамках информационных систем доступа к спутниковым данным, конечному пользователю, зачастую, предоставляются не только спутниковые данные (изображения), но и различные численные и векторные данные, получаемые как на основе обработки спутниковых данных, так и из других источников. Это в значительной степени определяет высокие требования на производительность серверов, используемых для работы СУБД.

Сервера подсистемы ведения архивов спутниковых данных функционируют под операционной системой FreeBSD, в качестве СУБД используется сервер баз данных MySQL. Тематическое программное обеспечение реализовано преимущественно на языках Си и Perl и разработано в ИКИ РАН (Балашов и др., 2008). Оно спроектировано таким образом, что позволяет использовать любое количество разнородных физических серверов для хранения данных. Объем архивов спутниковых данных, реализуемых в рамках рассматриваемого комплекса, ежедневно увеличивается более чем на 100 гигабайт и составляет в настоящее время порядка 200 терабайт. Количество обращений к базам данных комплекса составляет около 100 тысяч в час и также имеет тенденцию к увеличению.

Программно-аппаратный комплекс **подсистемы обработки спутниковых данных** включает в себя достаточно большое число различных рабочих станций, работающих как единый пул вычислительных ресурсов, который автоматически выделяет освободившиеся мощности для различных задач обработки данных. Ключевым требованием к

рассматриваемой подсистеме является масштабируемость. Для того, чтобы добавить в программно-аппаратный комплекс новую станцию обработки, на новый компьютер помимо операционной системы достаточно установить стандартное программное обеспечение, разработанное в ИКИ РАН и провести несложные настройки. При этом выход из строя одной или нескольких станций обработки не приводит к сбоям в подсистеме обработки. Такой подход позволяет легко варьировать число и состав станций обработки.

В качестве операционной системы для рабочих станций подсистемы в настоящее время преимущественно используется Windows XP 64-bit. Для контроля над исполнением процессов используется программа RemWatch, которая с использованием протокола UDP отсылает в систему управления и контроля информацию о выполнении текущего задания. Для запуска заданий используется утилита xv_stop, конфигурация которой регулярно передается станциям обработки спутниковых данных серверами управления. Непосредственно обработка спутниковых данных реализована на базе использования многофункционального программного пакета «Спутник», разработанного в ИКИ РАН.

В настоящее время в состав рассматриваемой подсистемы входит более 50 станций обработки. Их число постоянно увеличивается по мере расширения количества задач и проектов, в интересах которых используется комплекс. В сутки производится порядка 30 тысяч запусков процедур обработки.

В то же время силу полной независимости отдельных рабочих станций их конфигурация может быть совершенно различной, это, в частности, позволяет по мере появления нового более мощного оборудования легко добавлять его в подсистему обработки, не исключая при этом из работы уже имеющееся оборудование. В последние годы стали активно применяться технологии виртуализации, что позволяет более полно задействовать вычислительные ядра многопроцессорных машин и, таким образом, повысить коэффициент полезного действия рабочих станций.

Подсистема представления данных спутникового мониторинга реализована с использованием вычислительных комплексов серверного класса для предоставления конечным пользователям доступа к тематическим данным при помощи специализированных веб-интерфейсов. В рамках таких веб-интерфейсов могут также производиться различные типы дополнительной обработки «на лету», такие как перевод спутниковых изображений в нужную географическую проекцию и получение различных производных продуктов на базе имеющихся в архиве. Это существенным образом повышает требования на вычислительный ресурс серверов рассматриваемой подсистемы.

Подсистема представления данных реализуется на базе серверов под управлением операционной системы FreeBSD. Для доступа к данным в настоящее время преимущественно реализуются специализированные картографические интерфейсы, построенные с использованием технологии GEOSMIS, разработанной в ИКИ РАН. Эта технология построена на использовании распределенных сервисов предоставления данных, что также позволяет при необходимости легко расширять состав серверов. Также особенностью рассматриваемой подсистемы является применение гибкой системы авторизации.

В **подсистеме управления и контроля** применяется ряд серверов, обеспечивающих диспетчеризацию потоков данных, управление и контроль за процедурами архивации и обработки данных, а также мониторинг состояния аппаратного обеспечения комплекса. Программные компоненты для решения вышеперечисленных задач реализованы преимущественно на языке программирования Perl, с использованием пакета библиотек SDB (Satellite Data Base), также разработанным в ИКИ РАН. Для контроля работы серверов и станций обработки используется программный пакет PMS (Process Monitoring System), в рамках которого реализован специализированный веб-интерфейс для удаленного контроля функционирования различных компонент комплекса. Масштабность задач подсистемы управления и контроля характеризует, например, тот факт, что, как уже упоминалось выше, за сутки в рамках рассматриваемого комплекса

производится порядка десяти тысяч различных запусков программ, на более чем 140 процессорных ядрах.

Общая функциональная схема аппаратного комплекса работающего в настоящее время в ИКИ РАН представлена на рис 4.1.4.1. Благодаря блочному принципу построения программно-аппаратного комплекса масштабируемость обладает как программная, так и аппаратная часть. Расширение или изменение состава комплекса не влечет за собой значительных разовых финансовых и трудовых затрат и остановки работы. Это позволяет постоянно развивать и наращивать комплекс. В течение 2012 года были введены в эксплуатацию:

- новые сервера хранения, суммарной емкостью в отказоустойчивом RAID-массиве порядка 160 Тб (3 сервера);
- два специализированных сервера U1, для развития инфраструктуры отдела;
- один сервер с гибридной архитектурой хранения (используют твердотельные дисковые накопители)
- 4 новых рабочих места для сотрудников.

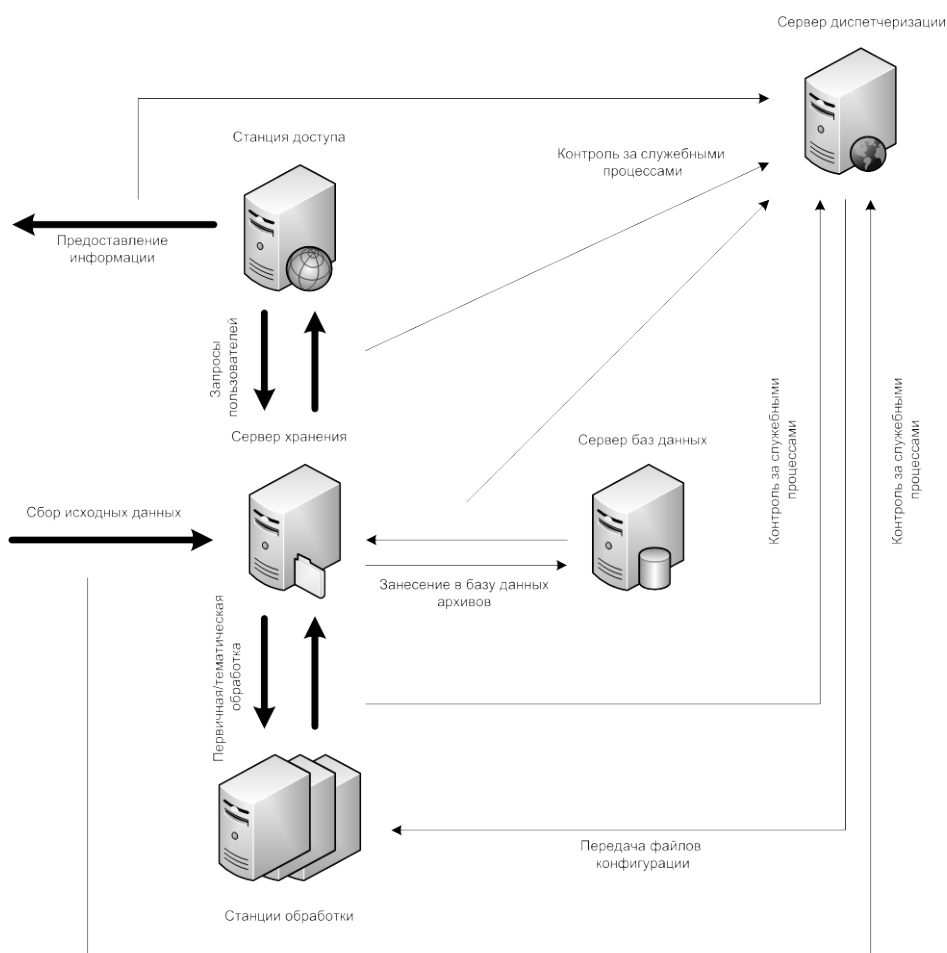


Рис.4.1.4.1. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса ИКИ РАН

Описанный вычислительный комплекс позволил в 2012 году выполнить следующие работы по ведению и поддержке архивов спутниковых данных и результатов их обработки для научных исследований глобальных изменений, контроля и анализа состояния природных и антропогенных объектов:

- Продолжалось накопление архивов данных, поступающих со спутников серии NOAA по европейской территории России и Западной Сибири (http://smisdata.iki.rssi.ru/noaa-cgi/cat_reg.pl?db=noaa&lang=russian);
- Осуществлялось ведение архивов данных прибора MODIS (спутники TERRA и AQUA) по различным регионам России (http://smis.iki.rssi.ru/dataserv/rus_ms/modis_tlm.htm);
- Продолжалось накопление информации о состоянии облачности, температуры морской поверхности и ледовой обстановки в районах Баренцева, Белого, Балтийского, Черного, Каспийского, Японского, Охотского и Берингова морей, полученной по данным приборов AVHRR и MODIS (http://x4n9.iki.rssi.ru/noaa-cgi/cat_all_prod.pl?db=center_noaa_products);
- Продолжилось ведение многолетнего архива спутниковых данных, получаемых прибором SPOT-Vegetation на всю территорию бореального пояса Земли (включая Северную Евразию и Северную Америку), в виде стандартных продуктов данных S10, представляющих собой синтез наблюдений, выбранных за десятидневный период по критерию максимума NDVI;
- Совместно с ФГУ «Авиалесоохрана», ЦЭПЛ РАН и различными центрами приема и обработки спутниковых данных накоплен архив информационных продуктов спутникового мониторинга лесных пожаров на территории России в 2012 году;
- В рамках проектов по эксплуатации и развитию системы мониторинга лесных пожаров совместно с ООО НТЦ «Инфокомплекс» осуществлялось ведение архива данных системы грозопеленгации, покрывающей практически всю территорию России.
- Созданы однородные архивы данных о природных пожарах и их последствиях, полученных на основе информации дистанционного зондирования за период с 2000 по 2012 годы на территории Северной Евразии
- Продолжалось формирование архива данных спутников LANDSAT 5 и LANDSAT 7 по территории северной Евразии. На середину декабря 2012 года архив содержал более 250 000 сцен.
- Продолжено ведение и развитие архивов метеоданных по территории России (<http://meteo.infospace.ru/wcarch/html/index.sht>);
- Для анализа состояния растительности на территории Северной Евразии продолжено накопление архивов продуктов обработки данных MODIS. В 2012 году в архив были дополнены очищенные от облаков и шумов композитные спутниковые изображения.
- Обеспечено развитие спутникового сервиса «Вега», ориентированного на мониторинг различных растительных экосистем на территории Северной Евразии.
- В 2012 году развернут Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды.
- В рамках различных проектов осуществлялась поддержка систем сбора, обработки, архивации и представления данных в следующих центрах приема: Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров приема спутниковых данных ГУ НИЦ «Планета» (г. Москва, г. Новосибирск, г. Хабаровск), СФУ (г. Красноярск), ФГУ «Авиалесоохрана» (г. Пушкино, г. Иркутск), НЦ ОМЗ (г. Москва), СФУ (г. Красноярск);
- Создан и введен в опытную эксплуатацию новый спутниковый сервис See The Sea, ориентированный на решение задач мониторинга пограничных морей России.

- Создан и введен в опытную эксплуатацию новый спутниковый сервис "Вулканы", ориентированный на решение задач мониторинга вулканической активности на Камчатке и Курилах.

4.1.5 Разработка методов и средств обработки данных приборов МСУ-МР, МСУ 100 и МСУ 50 КА "Метеор-М" №1 и №2.

Отв. исп. зав. лаб. к.ф.-м.н Мазуров А.А. отд.56

В рамках данного направления работ проводилась разработка и внедрение автоматизированных процедур обработки данных, поступающих с различных российских спутниковых систем. Были созданы и внедрены в центрах НИЦ Планета (Европейский, Сибирский и Дальневосточный центр) и НЦ ОМЗ новые процедуры обработки данных, поступающих с КА Метеор М № 1 и Электра Л. Созданные продукты обработки данных этих спутников доступны в настоящее время для пользователей в объединенных каталогах НИЦ "Планета" и НЦ ОМЗ. Пример отображения одно из продуктов, получаемых на основе информации МСУ МР в объединенном каталоге НИЦ "Планета", приведен на рис 4.1.5.1.

Также в 2012 году были продолжены работы по разработке процедур обработки данных перспективных российских спутниковых систем. В частности, КА Метеор М № 2

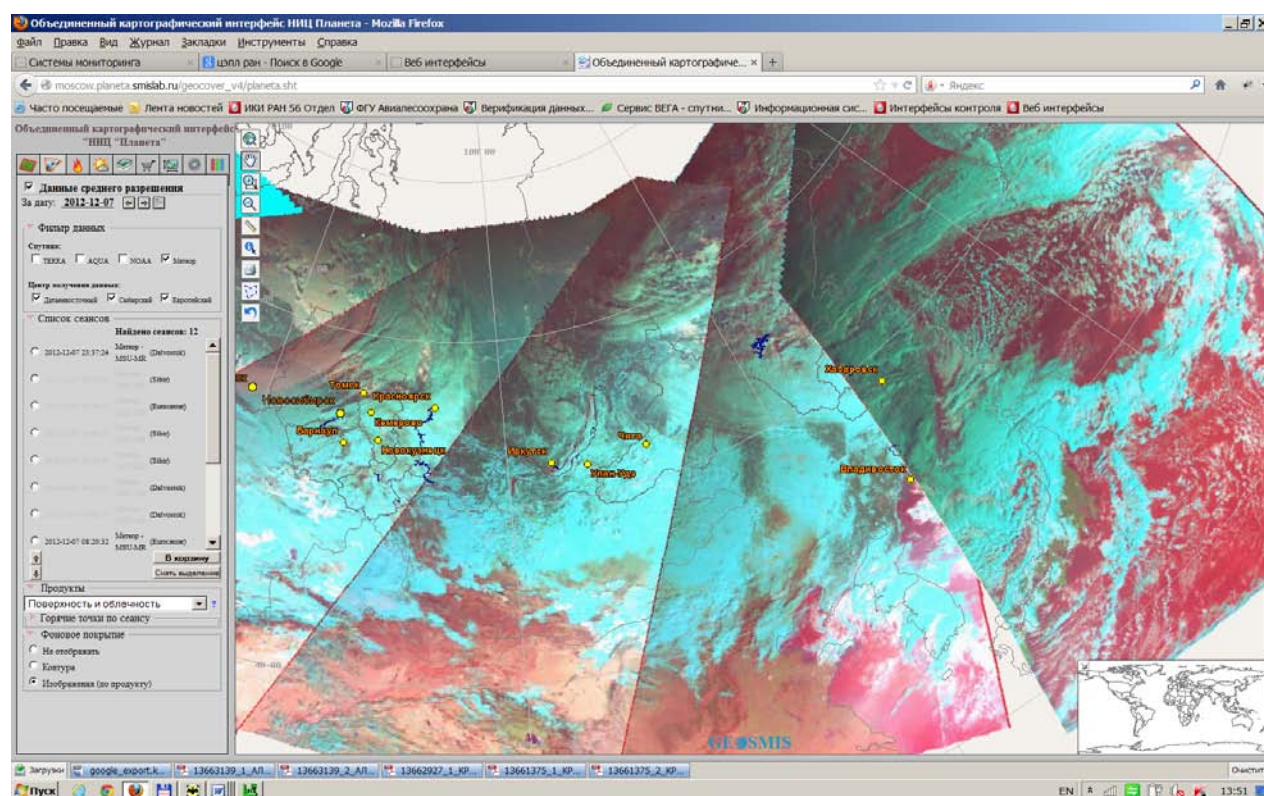


Рис. 4.1.5.1. Отображение информации получаемой в различных центрах НИЦ "Планета" в объединенном каталоге данных.

4.1.6 Исследование и разработка пороговых функций алгоритмов декодирования для большого уровня шума канала

Отв. исп. д-р техн. наук Золотарев В.В.

В процессе исследования поведения декодера, реализующего алгоритмы многопорогового декодирования (МПД), были проанализированы различные аспекты группирования ошибок на его выходе, зависящие как от свойств кода, так и являющиеся свойством собственно самого используемого алгоритма. Результатом проведенного анализа стали рекомендации по выбору кодов, наиболее подходящих для использования в МПД декодеров при высоком уровне шума канала. Для этих кодов были подобраны новые варианты пороговых элементов (ПЭ) с увеличенным числом контролируемых проверок. Такие ПЭ не были ранее описаны в литературе по корректирующим кодам. Это позволило, в частности, для кодовой скорости $R=1/2$ добиться эффективной работы декодера при более высоком на 0,2-0,25 дБ уровне шума, чем это обеспечивали ранее использованные для такого декодера коды. Кроме того, применение новых кодов и новых типов ПЭ создало условия для более быстрого достижения МПД декодером конечного высокого уровня достоверности принятых символов, чем с ранее использовавшимися кодами. Оказалось, что в этом случае можно фактически не увеличивать количество итераций в процессе многократных попыток исправления принятых информационных символов.

Таким образом, в проведенном исследовании оказалось возможным модифицировать алгоритм МПД и применяемые коды, заметно увеличив допустимый уровень шума канала, в котором работает МПД, но сохранив при этом прежний объём вычислений, т.е. не увеличив сложность реализации.

По теме проведенного исследования в 2012 году опубликована одна и принята к печати ещё одна статья, а также вышли из печати в различных издательствах **две монографии** (с соавторами).

Выполненные исследования поддерживались грантом РФФИ № 12-07-97533-Р_ЦЕНТР_А "Разработка эффективных и быстродействующих методов и алгоритмов прямого исправления ошибок для высокоскоростных радиоканалов".

Публикации В.В.Золотарёва (отдел 71) в 2012 году.

1. **В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин.** Повышение надёжности передачи и хранения данных с использованием многопороговых методов декодирования помехоустойчивых кодов. // Цифровая обработка сигналов, М., 2012, №1, с.23-31.
2. **В.В. Золотарёв, Р.Р. Назиров, Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин** Многопороговое декодирование помехоустойчивых кодов для повышения надёжности передачи данных. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Сборник научных статей (в печати).
3. **В.В.Золотарёв и др..** Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития. Книга 2. Ставрополь, «Логос», 2012, 291с.
4. **В.В.Золотарёв, Ю.Б.Зубарев, Г.В.Овечкин.** Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования. // М., «Горячая линия – Телеком», 2012, 238с.

РАЗДЕЛ 4.2. МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Отв. исп. д.т.н. Барталев С.А.

4.2.1 Разработка методов формирования долговременных однородных рядов дистанционных наблюдений для оценки состояния экосистем на основе данных MODIS и LANDSAT.

В ИКИ РАН, который ведет значительное число программ по разработке систем, методов и технологий дистанционного мониторинга, также увеличилось число задач, для решения которых стали использоваться данные системы LANDSAT. Это потребовало, с одной стороны, организовать удобный и оперативный доступ к архивам данных этих спутников, а, с другой стороны, начать разработку новой технологии работы с подобной информацией. При этом основной задачей являлось создание системы, которая обеспечила бы не только эффективное хранение, в том числе удобные поиск и выбор информации, но и предоставила бы специалистам инструменты для анализа данных, а также позволила бы обеспечивать быструю и удобную интеграцию как архивов исходных данных, так и информации, получаемой на их основе в информационные системы различных проектов. Это в свою очередь должно обеспечить возможность проведения комплексного анализа информации, полученной на основе данных LANDSAT совместно с данными различных проектов. Работы по созданию такой системы были начаты в ИКИ РАН в 2009 году и в 2012 году система архивации данных LANDSAT была введена в эксплуатацию.

В архиве данных спутников LANDSAT на начало декабря 2012 года имелось более 250 тыс. сцен данных, полученных со спутников LANDSAT 4,5 и 7. Первые данные в архиве относятся к 1989 году. Состав данных по годам (по состоянию на август 2012 года) приведен в Таблице 4.2.1.1., а зона покрытия (по состоянию на начало декабря) представлена на рис. 4.2.1.1.

год	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 7	Всего	год	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 7	Всего
1989	1176	362		1538	2001		1462		1462
1990	166	491		657	2002		580		580
1991	31	492		523	2003		1821	4245	6066
1992	409	255		664	2004		291	12431	12722
1993	53	423		476	2005		452	14122	14574
1994		692		692	2006		10556	12767	23323
1995		608		608	2007		13359	13894	27253
1996		217		217	2008		329	15161	15161
1997		113		113	2009		16357	13819	30176
1998		499		499	2010		11918	13775	25693
1999		119		119	2011		12099	16852	28951
2000		5086		5086	2012		12498		12498
					Итого	1835	78581	129564	209980

Таблица 4.2.1.1. Состояние архива данных спутников серии LANDSAT, накопленного в ИКИ РАН на август 2012 года.

Накопленный в ИКИ РАН архив имеет достаточно большой объем на начало августа 2012 года, общий объем имеющихся в нем исходных данных LANDSAT составлял примерно 40,5 Тбт (в том числе данные LANDSAT 4 занимали около 0,3 Тбт, данные LANDSAT 5 - около 11,2 Тбт, данные LANDSAT 7 - около 29 Тбт). Кроме исходных данных в архиве имеется значительный объем продуктов, полученных на основе исходных данных. С этими продуктами пользователи архива могут работать с помощью специализированной системы интерфейсов, получая достаточно быстрый доступ к

информации полного разрешения и имея возможность проведения ее анализа. На начало августа 2012 года общий объем архива продуктов составлял примерно 44 Тбт (в том числе результатов обработки данных LANDSAT 4 - около 0,1 Тбт, данные LANDSAT 5 - около 7,3 Тбт, данные LANDSAT 7 - около 36,6 Тбт).

Исходные данные хранятся в виде запакованных, сжатых архивов, в которые помещается информация, соответствующая одной сцене. Результаты обработки хранятся в виде Tiff файлов с пирамидой разрешений, что позволяет достаточно быстро осуществлять выборку информации с различным уровнем пространственного сжатия.

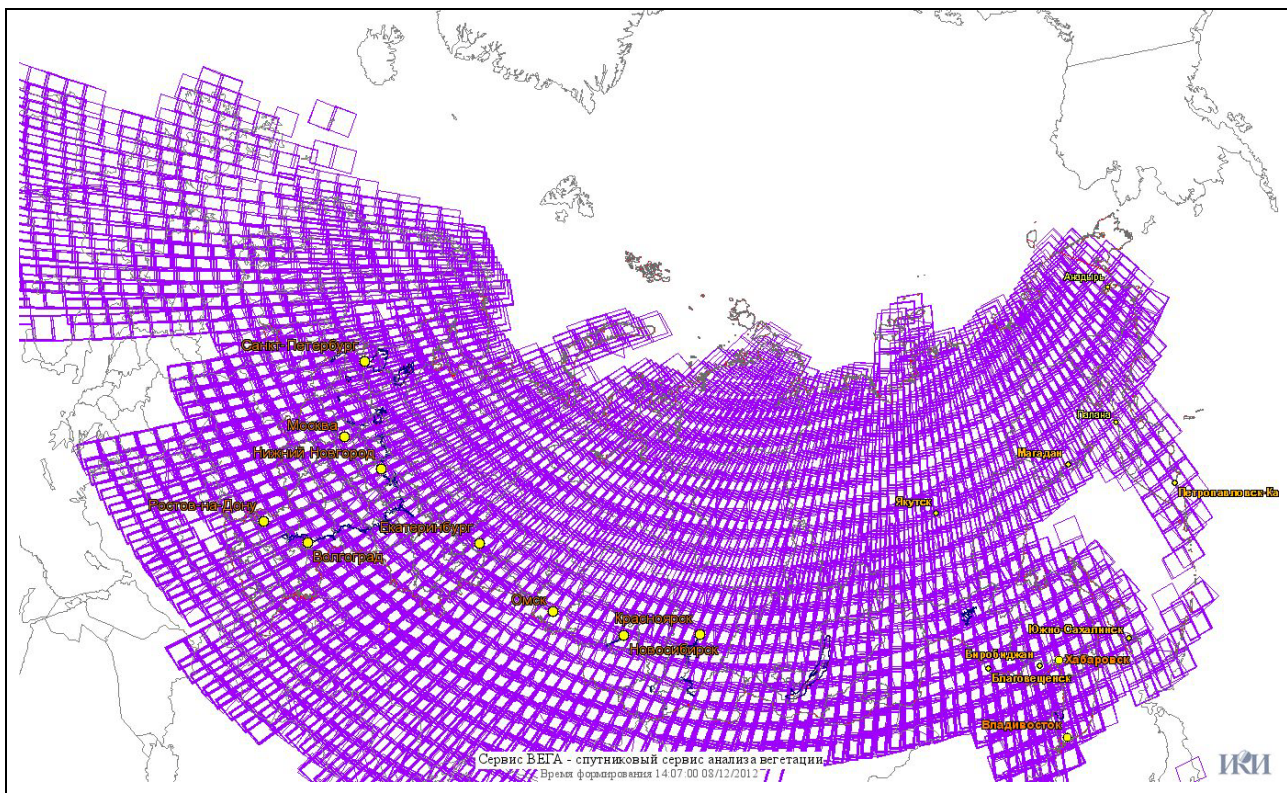


Рис.4.2.1.1. Схема покрытия территории России и приграничных районов данными, хранящимися в архиве ИКИ РАН по состоянию на начало декабря 2012 года

Система ведения пополнения архива

Как уже отмечалось выше источником данных для архивов ИКИ РАН является система архивации данных LANDSAT Геологической службы США (USGS Landsat Global Archive). Эта система обеспечивает сбор данных LANDSAT и ведение постоянно пополняющихся архивов. Доступ к данному архиву пользователей осуществляется через веб-интерфейсы «Earth Explorer» (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) и «Global Visualization Viewer» (<http://glovis.usgs.gov/>). При этом пользователи имеют возможность заказать и получить данные в интерактивном режиме или воспользоваться специализированными web-инструментами пакетного предоставления информации «<http://earthexplorer.usgs.gov/order/bulkdownload>» или специализированным клиентским программным обеспечением, также доступного на сайте USGS.

Поскольку задачи, решение которых обеспечивает система архивации данных LANDSAT в ИКИ РАН в основном ориентированы на массовое использование данных, в том числе и на решение различных мониторинговых задач, для организации поступления из архивов USGS в ИКИ РАН была организована автоматизированная процедура получения информации.

При этом определенная сложность реализации подобной системы была связана с тем, что в архивах USGS в непосредственном доступе находится только незначительная

часть данных в имеющихся в архивах. Для получения основных наборов по территории имеющихся в архивах USGS данных необходимо совершить операцию их заказа с использованием приведенных выше веб-интерфейсов и инструментов. Для решения задач автоматизированного получения данных в ИКИ РАН была разработана специализированная система, обеспечивающая пополнение архивов, которая состоит из следующих основных блоков:

- Блока обновления каталога доступных данных
- Блока построения очереди на скачивание данных
- Блока заказа данных, отсутствующих в непосредственном доступе
- Блока скачивания данных
- Блока экспорта данных в цепочку формирования продуктов
- Блока формирования статистики и отчетов по работе системы.

Блоки реализованы в виде набора сценариев и библиотек на языке Perl, БД управления получением данных реализована на СУБД MySQL. Вся система функционирует под управлением ОС FreeBSD версии 7.3 и выше.

Система обеспечила возможность автоматического получения оперативных данных, находящихся в непосредственном доступе, а также обеспечила возможность реализации следующего полностью автоматизированного алгоритма работы с данными, отсутствующими в непосредственном доступе, но имеющимися в архивах USGS. Работа системы происходит по следующему сценарию:

1. При запуске блок обновления каталога доступных данных проверяет наличие в каталоге USGS отсутствующих в каталогах ИКИ РАН данных, доступных для непосредственного скачивания, и данных, доступных под заказ. Эта информация заносится в специализированную БД управления получением данных.
2. По результатам работы блока обновления каталога запускается блок построения очереди на скачивание данных. Данные, находящиеся в непосредственном доступе, ставятся в очередь на скачивание, отсортированные по дате и времени съёмки сцены от наиболее оперативных данных к наиболее устаревшим. Каждый раз очередь создаётся заново, так как данные в каталоге USGS могут мигрировать из режима непосредственного доступа и обратно. Информация об очереди хранится в специализированной БД управления получением данных.
3. Информация о данных, доступных под заказ, передается на вход блоку заказа данных. За один раз заказывается набор данных фиксированного размера (300 сцен) для обеспечения оперативности выполнения заказа. Данные из выполненных заказов переводятся в режим непосредственного доступа, и для их последующего скачивания никаких специальных действий не требуется (см. п.1-2).
4. Получение данных, находящихся в непосредственном доступе, обеспечивает блок скачивания данных, который представляет собой утилиту, запрашивающую из БД следующую ожидающую скачивания сцену, скачивающую её, помещающую в заданное место на сервере скачивания и оставляющую в БД отчёт о скачивании. В силу особенностей реализации несколько утилит скачивания могут работать параллельно с одной БД.
5. Скачанные данные проходят специализированную обработку и заносятся в архив исходных данных Landsat ИКИ РАН.
6. Для постоянного контроля состояния архивов и процессов скачивания данных используется блок формирования статистики и отчётов, который обеспечивает регулярное получение подробной информации о данных Landsat, накопленных и поступивших за заданный период в архивы ИКИ РАН.

Описанный сценарий позволил реализовать полностью автоматизированный процесс получения отдельных сцен из архивов USGS, при котором каждая сцена проходит

несколько последовательных состояний, от получения информации о ней из каталога USGS до занесения в архив ИКИ РАН. Граф состояний сцены приведен на рис 4.2.1.2.

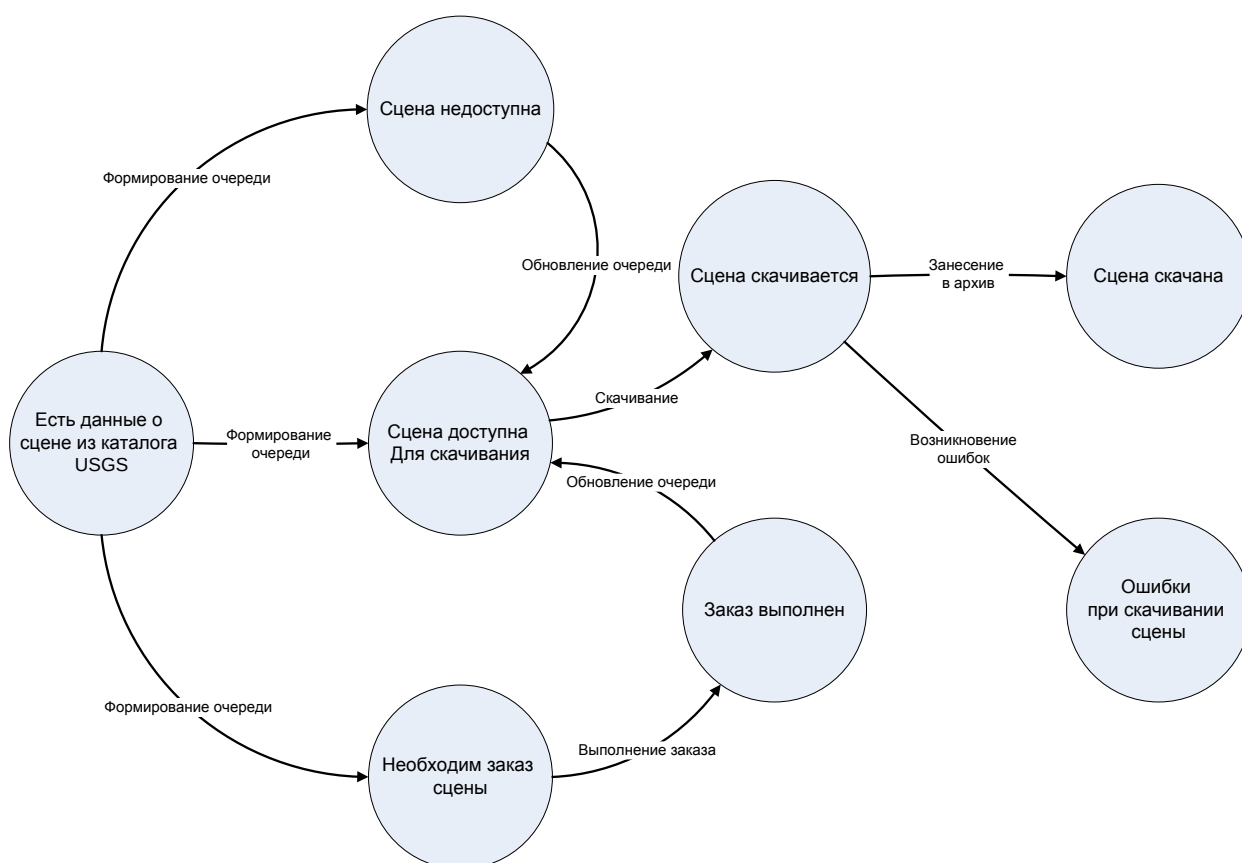


Рис. 4.2.1.2. Граф состояний сцены в процессе их автоматизированного получения из архивов USGS

Для управления и контроля подсистемы получения данных Landsat используется разработанный в ИКИ РАН программный пакет PMS (Process Management System), позволяющий получать информацию о выполнении процессов на Unix-серверах и оперативно реагировать на возникающие сбои.

Созданная подсистема обеспечивает получение из архивов USGS продуктов уровня L1, которые представляют собой сжатый архив, содержащий набор поканальных изображений в формате GeoTIFF и набор файлов метаданных с описанием параметров сцены и точек географической коррекции. Для сцен, полученных с КА Landsat 7, в этот набор добавлены маски пропусков по краям сцен. Средний размер файла с данными продукта L1 составляет около 145 Мб для Landsat 4 и Landsat 5, и около 230 Мб для Landsat 7. В настоящее время действующий вариант подсистемы скачивания обеспечивает ежедневное поступление в архивы ИКИ до 1300 сцен LANDSAT общим объемом около 300 Гб.

Система автоматической обработки данных

Поступившие в ИКИ РАН сцены LANDSAT проходят полностью автоматизированную обработку, основной задачей которой является преобразование данных в вид удобных организации быстрого доступа пользователей к информации и проведение ее интерактивного и автоматизированного анализа. На этапе обработки проходит дополнительная калибровка данных и нормализация их на зенитный угол Солнца, при котором осуществлялись наблюдения. В процессе обработки формируется

несколько видов продуктов, которые оказываются удобны для решения различных задач. Например: продукты:

1. LANDSAT_342 - RGB-композит, RGB компонентами которого являются соответственно данные потока излучения в каналах 3,4,2.
2. LANDSAT_345 - RGB-композит, RGB компонентами которого являются соответственно данные потока излучения в каналах 3,4,5.
3. LANDSAT_FUSION - формируется на основе данных каналов 3,4,2 и по данным панхроматического канала 8, который имеет разрешение 15м. Формируется только для данных, поступивших со спутника LANDSAT 7 и обеспечивает "повышение" пространственного разрешения данных стандартных каналов/
4. LANDSAT_CM - Маска облаков и теней, построенная на основе модифицированный алгоритм ACCA (Automatic Cloud Cover Assessment by Richard R. Irish). [2]
5. LANDSAT_NDVI - нормализованный вегетационный индекс $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ для пикселей свободных от облачности.

Все данные полученные информационные продукты записываются в формат GeoTIFF с пирамидой разрешений и помещаются в архив продуктов.

Полностью автоматизированная обработка осуществляется на основе программного комплекса обработки спутниковых данных, созданного в ИКИ РАН [3].

Система архивации данных

Архивация как исходных данных LANDSAT, так и результатов их обработки реализована на базе технологии построения автоматизированных систем хранения спутниковых данных, разработанной в ИКИ РАН. В рамках этой технологии хранение файлов данных реализовано на основе использования программного пакета FDB (File Data Base), который обеспечивает возможность ведения файловых архивов данных под управлением специализированной БД. При этом метаданные, соответствующие спутниковым данным, заносятся в таблицы реляционной базы данных, а файлы – в специальным образом построенное файловое хранилище. Для контроля за функционированием системы архивации используется программный пакет PMS (Process Monitoring System), а также подсистема для контроля за своевременным поступлением данных в архивы. Автоматизированный запуск процессов архивации реализован на базе системного сервиса cron. В качестве СУБД используется сервер MySQL, а в качестве WEB сервера – Apache. Программное обеспечение системы архивации реализовано на языках программирования Си и Perl с использованием специализированного пакета библиотек SDB (Satellite Data Base). В качестве операционной системы используется ОС FreeBSD.

Для архивации исходных данных LANDSAT реализована база данных **landsat_store**. Исходные сцены данных LANDSAT поступают в виде архивных файлов, содержащих наборы канальных данных в виде GeoTIFF файлов, а также файлов метаданных. После распаковки файлы канальных данных архивируются по отдельности, после чего заносятся в БД. Отдельное хранение канальных данных позволяет запрашивать на обработку только требуемые канальные изображения. В структуре базы данных **landsat_store** за хранение информации о сценах исходных данных отвечает таблица **Archives**, а за хранение изображений по каналам – таблица **Files**.

Для архивации тематических продуктов, полученных на основе данных LANDSAT используется база данных **hrsat**. Продукты заносятся в архив в виде файлов в формате GeoTIFF, с насчитанной пирамидой разрешений. Таблица **fragments** содержит следующую информацию по каждому продукту: дата и время съемки, название спутника, идентификатор продукта, облачность снимка в процентах, координаты углов проекции, координаты углов сцены, масштабы и размеры изображения по долготе и широте, а также

информацию о хранении соответствующего файла данных в хранилище. Таблица **in_russia** также содержит признак принадлежности сцены территории России.

Организация системы интерфейсов для работы с данными

Для работы с архивом Landsat накопленном в ИКИ РАН создана система картографических WEB-интерфейсов, обеспечивающих возможность работы с данными удаленных пользователей. Система создана на основе технологии GEOSMIS, разработанной в ИКИ РАН. Интерфейсы позволяют осуществлять быструю и удобную навигацию по большому архиву данных (в том числе выбор данных за нужный период по заданному региону или объекту). Интерфейс обеспечивает возможность работы с различными продуктами в различном пространственном разрешении (в том числе и в полном). Они также позволяют осуществить выбор и заказ исходных сцен данных. Кроме этого в интерфейсах имеется достаточно развитый набор различных инструментов, обеспечивающих возможность анализа данных. Например:

- проведения линейных и площадных измерений, а также получение значений в каналах.
- контрастирования изображений;
- сравнения данных разновременных наблюдений (в том числе и построение цветосентизированных изображений с использованием разновременных данных) для анализа изменений, происходящих в лесах;
- выбор и анализ временных серий индексов и значений в каналах в произвольно заданных точках в произвольный период наблюдений.

Созданные интерфейсы позволяют во многих случаях исключить потребность в выборке данных из архива и проведения их анализа какими то специальными средствами, а позволяют анализировать непосредственно данные находящиеся в архиве. Следует отметить, что функции анализа данных в интерфейсе легко расширяются и наращиваются, что позволяет достаточно быстро адаптировать интерфейс для решения различных научных и прикладных задач.

Особо следует отметить, что созданный интерфейс достаточно легко встраивается в системы картографических интерфейсов, специализированных систем, ориентированных на работу с данными дистанционного зондирования, которые также построены на технологии GEOSMIS. Фактически он становится специализированным разделом таких интерфейсов и в этом случае позволяет проводить анализ данных LANDSAT совместно с различной информацией, использующейся в конкретной системе.

4.2.2 Разработка методов и программного обеспечения локально-адаптивной классификации спутниковых изображений для решения задач глобального картографирования и мониторинга наземных экосистем.

Отв. исп. мл. научн. сотр. Хвостиков С.А., отд.56

За отчетный период было выполнено существенное развитие программного комплекса LAGMA (от английского Locally Adaptive Global Mapping Algorithm), используемого для локально-адаптивной классификации спутниковых изображений для решения задач глобального картографирования земного покрова (рисунок 4.2.2.1). Метод LAGMA основан на оценке локальных признаков типов земного покрова, которые в дальнейшем используется для классификации методом максимального правдоподобия по данным дистанционного зондирования.

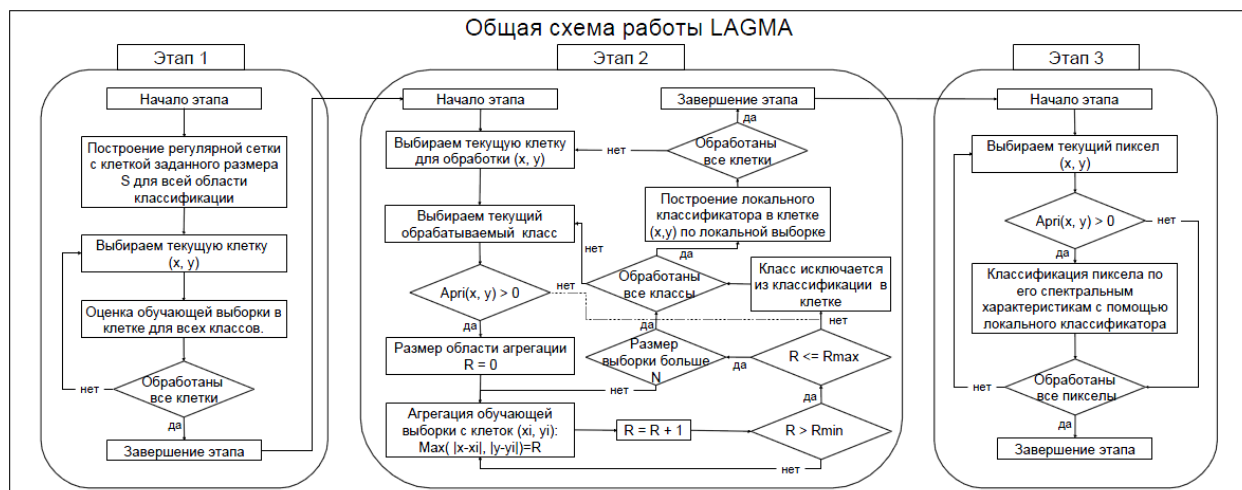


Рис. 4.2.2.1 Логическая схема алгоритма LAGMA локально-адаптивной классификации спутниковых изображений земного покрова

Программный комплекс LAGMA был адаптирован для работы в среде операционной системы Windows, что позволило облегчить обработку данных и анализ результатов с помощью таких ГИС приложений, как ERDAS Imagine и ArcGIS, работающих только в данной операционной системе. Также были проведены работы по увеличению производительности программного комплекса и улучшению стабильности его работы.

Программный комплекс LAGMA был объединен в одну программу, реализующую все его возможности через единый интерфейс в виде командной строки.

Была введена возможность работы программы в многопоточном режиме. Увеличение скорости работы в многопоточном режиме по результатам тестирований и применений в реальных задачах оказалось почти кратно количеству ядер/процессоров в системе в случае отсутствия влияния ограничений по скорости чтения/записи данных.

Суммарно все изменения, внесенные в программу LAGMA за отчетный период, позволили значительно увеличить скорость ее работы, например время осуществления классификации типов земных покровов для всей территории России с разрешением 250 метров уменьшилось до 8 часов с 2 суток для более ранних версий.

В текущую реализацию программы была добавлена возможность вывода дополнительной информации, включающей в себя вспомогательные данные о классификаторе (средние и ковариации для метода максимального правдоподобия), значения разделимости классов (евклидово расстояние, расстояние Джеффриса-Матуситы или дивергенцию между классами), расстояний Махаланобиса для каждого пиксела от центра соответствующего ему класса, информацию об обратимости матрицы и ряд других параметров.

Данные изменения позволили реализовать на базе программы LAGMA подход к классификации, основанный на анализе выбросов в обучающей выборке с их дальнейшей фильтрацией, а также на методе самообучения классифицирующего алгоритма посредством итерационного дополнения исходной обучающей выборки наиболее точными результатами классификации с прошлых итераций.

Разработка метода и программного обеспечения LAGMA позволила создать задел для внедрения новых методов классификации, основанных на нейронных сетях, методе случайных лесов и методе опорных векторов.

В течение отчетного периода программа LAGMA успешно применялась для решения задач по мониторингу наземных экосистем, в частности можно отметить ее

применение в задачах по определению породного состава лесов, по распознаванию пашни и по классификации типов земных покровов на территории всей России.

4.2.3 Разработка методов оценки деструктивных воздействий на леса на основе комплексного использования спутниковых данных различного пространственного разрешения и объектно-ориентированного распознавания.

Отв. исп. мл. научн. сотр. Ховратович Т.С. отд.56

В рамках направления оценки изменений, происходящих в лесах, разработан метод оценки покрытой лесом площади, основанный на совместном использовании спутниковых данных MODIS с пространственным разрешением 250 м и выборочных изображений Landsat-TM/ETM+ с пространственным разрешением 30 м. В основу метода положено локальное восстановление зависимостей на уровне пикселей MODIS между, с одной стороны, их значениями спектральной яркости и вегетационными индексами и, с другой стороны, величинами лесистости, полученными по данным Landsat-TM/ETM+. Восстановление регрессионных зависимостей производится в узлах регулярной сети заданного шага с использованием получаемых по данным MODIS, объясняющих переменных в качестве которых выбраны:

- SnowRed - среднее значение спектральной яркости в красном диапазоне длин волн в период покрытия территории снегом;
- SumSWVI - коротковолновый индекс водного стресса SWVI, вычисляемый на основе средних значений яркости в ближнем и среднем инфракрасном диапазонах длин волн в летний период.

На первом этапе по данным MODIS и результатам выявления лесного покрова на основе изображений Landsat-TM/ETM+ строится пространственно распределенная и статистически непротиворечивая обучающая выборка пикселей. Затем для каждого узла регулярной сети на основе построенной выборки восстанавливаются уравнения регрессии вида:

$$SF = k_1 \text{ SnowRed} + k_2 \text{ SumSWVI} + k_0,$$

где SF – определенная по данным Landsat-TM/ETM+ доля покрытой лесом площади на участке, соответствующем пикселю MODIS, а k_i ($i=0,2$) – коэффициенты уравнения.

На следующем этапе происходит коррекция построенных коэффициентов регрессионной в узлах сети, направленная на пространственное «сглаживание» результирующего изображения лесистости на границах ячеек регулярной сети.

На заключительном этапе полученные уравнения регрессий применяются к данным MODIS для получения карты лесистости. В рамках апробации данного метода построена карта лесистости Европейской части России (рисунок 4.2.3.1).

Проведено сравнение построенной карты лесистости Европейской части России с другими источниками данных о покрытой лесом площади, такими как, данные официальной статистики для субъектов РФ (рисунок 4.2.3.2), картой растительности России (TerraNorte RLC) с пространственным разрешением 250м и картой лесов университета Южной Дакоты с пространственным разрешением 30м.

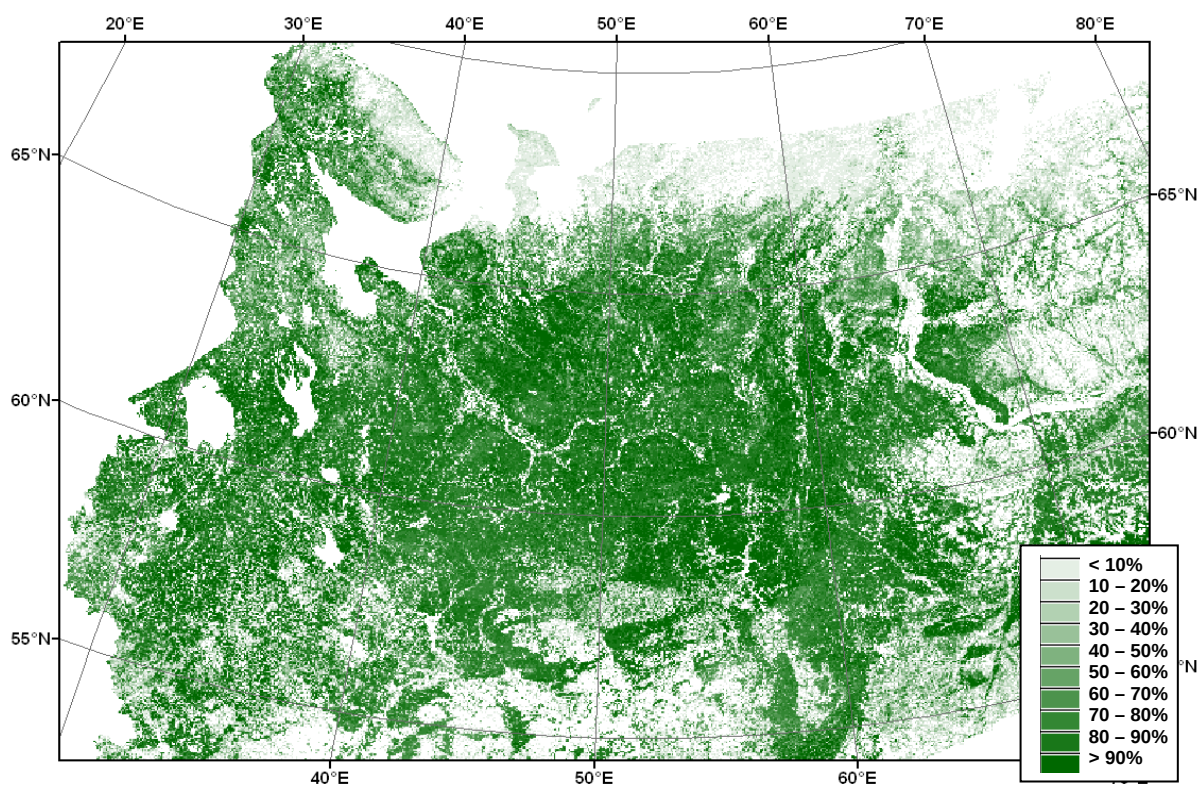


Рис 4.2.3.1. Карта лесистости Европейской части РФ, полученная на основе совместной обработки спутниковых данных MODIS и выборочных изображений Landsat-TM/ETM+

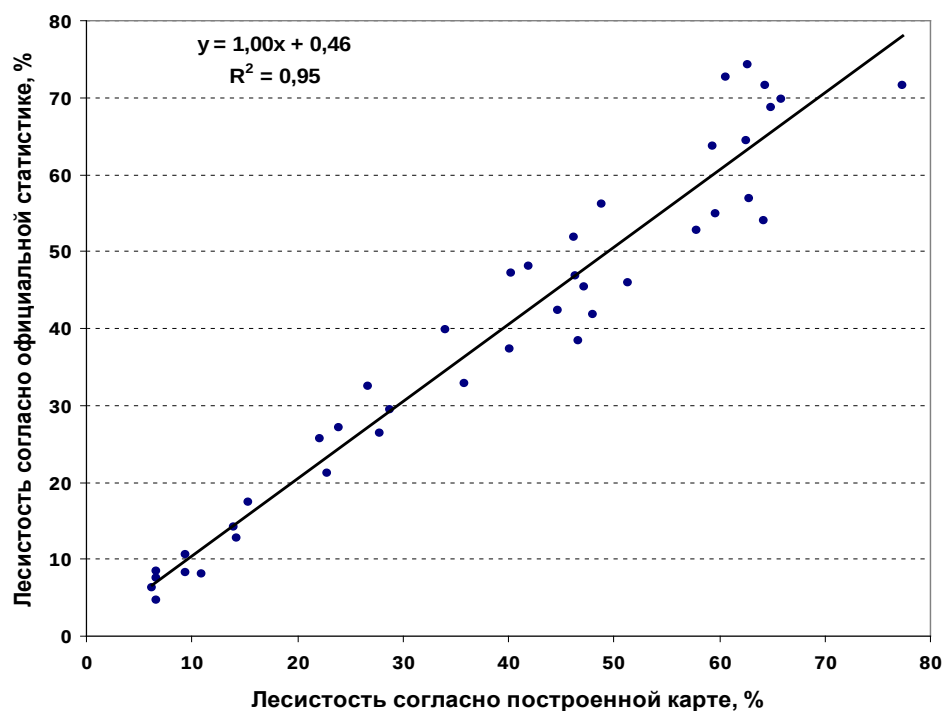


Рис. 4.2.3.2. Сравнение результатов спутниковой оценки лесистости территории с данными официальной статистики по Субъектам РФ

Совместный анализ данных, с одной стороны, показывает хорошую согласованность между исследуемыми источниками данных о лесистости, с другой стороны, выявляет ряд проблем разработанного метода оценки лесистости, главными из которых являются

сильная неоднородность обучающей выборки и отсутствие чувствительности среднего значения спектральной яркости в красном диапазоне длин волн в период покрытия территории снегом к изменению лесистости при ее высоких абсолютных значениях. Дальнейшие исследования будут направлены на преодоление указанных ограничений данного подхода.

Разработанный метод оценки покрытой лесом площади предполагается использовать для ежегодной оценки лесистости на территории России и оценки межгодовых изменений, происходящих в лесах.

4.2.4 Развитие автоматизированных методов обработки временных серий данных спутниковых для мониторинга сельскохозяйственного землепользования и классификации посевов

Отв. исп. научн. сотр. канд. техн. наук Плотников Д.Е., отд.56

В рамках работ по данному направлению в Отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН был разработан ряд алгоритмов и получены новые информационные продукты.

Локальные различия сезонной динамики развития разных типов культурной растительности являются информативным признаком для их разделения. Локально-адаптивный подход позволяет учитывать значительную вариабельность сезонной динамики развития внутри одного типа культурной растительности при его распознавании на больших территориях. Однако, если в ряде случаев имеется возможность использовать дополнительные данные для классификации посевов, то задача ежегодного автоматического разделения яровых категорий культурной растительности на территории всей страны осложняется отсутствием обучающей информации о расположении посевов, что исключает использование алгоритмов на основе классификации с обучением.

Для решения этой задачи была предложена локально-адаптивная реализация кластерного анализа. Было показано, что использование разработанного метода локально-адаптивной кластеризации признака распознавания, построенного на основе сезонных временных серий перпендикулярного вегетационного индекса PVI, является эффективным для автоматического ежегодного разделения ранних и поздних яровых культур. При этом для улучшения результатов кластеризации на основе анализа гистограмм локальных значений признака был дополнительно разработан алгоритм сегментации растительности на больших территориях, в основе которого лежит анализ схожести сезонной динамики развития для связной группы пикселей. Возможность использования алгоритма сегментации на больших территориях обеспечивается перекодировкой номеров сегментов с уникальных на повторяющиеся, но не граничащие между собой.

Признаком распознавания в данном случае является дата наступления максимума сезонной кривой PVI, которая оказывается меньшей для ранних яровых культур и большей для поздних. Признак строится на уровне связных объектов (полей), полученных по результатам сегментации и имеющих среднее значение признака всех входящих в поле пикселей. Это приводит к улучшению четкости гистограмм признака и уменьшению ошибки кластеризации.

Локальная адаптивность при кластеризации предполагает сбор статистической информации с небольшой окрестности рассматриваемого участка поверхности (клетки). Полученная гистограмма анализируется на предмет количества и положения мод, после чего принимается решение о пороговом значении признака. Вспомогательной информацией также являются результаты кластеризации в соседних клетках.

Локально-адаптивная кластеризация применяется к признаку, из которого исключены объекты всех классов (озимые, чистые пары), за исключением класса яровых культур, что обеспечивается продуктами, получаемыми другими автоматическими алгоритмами.

Пример результатов классификации посевов с разделением на классы озимых, чистых паров, ранних и поздних яровых приведен на рисунке 4.2.4.1.

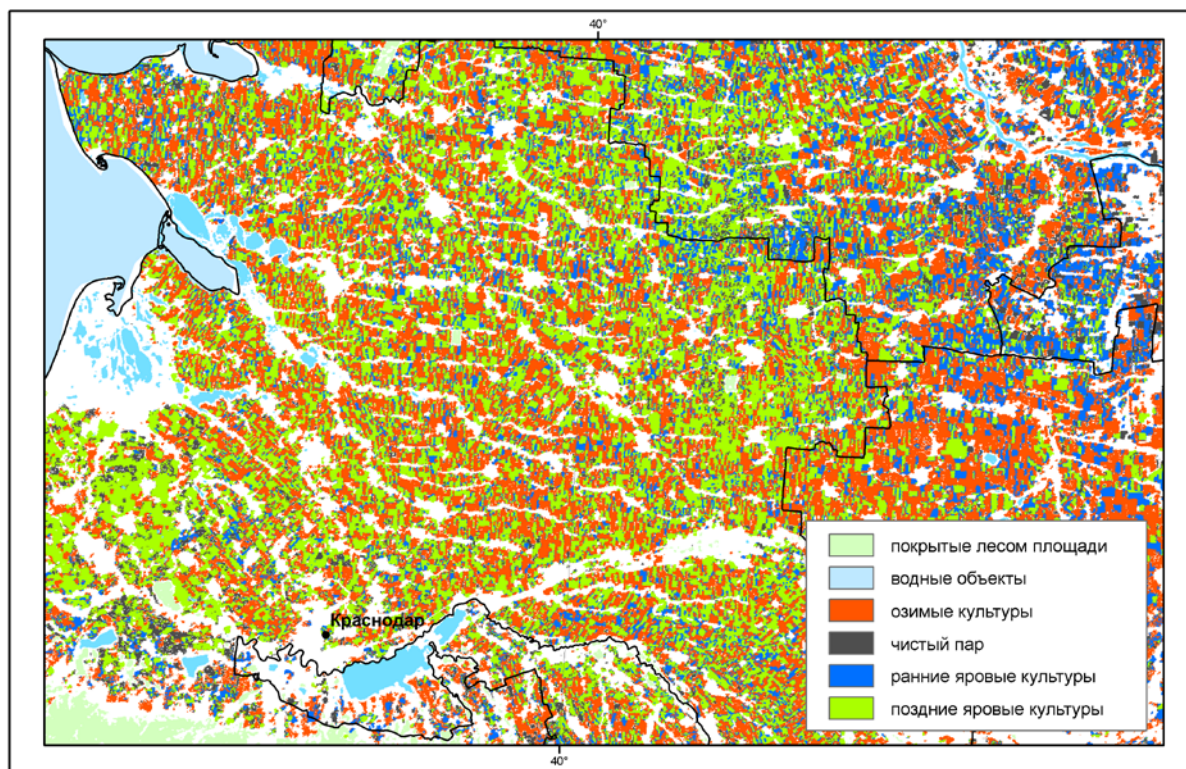


Рис. 4.2.4.1. Пример распознавания типов сельскохозяйственных культур в южных регионах Европейской части России по спутниковым данным MODIS

Предварительно обработанные многолетние временные ряды частых измерений PVI позволяют получать относительно гладкие кривые их производных. Модифицированные производные временных серий являются информативным признаком для анализа интенсивности землепользования и выявления таких типов сельскохозяйственных угодий как сенокосы и пастбища. Эти объекты демонстрируют отличную от естественной растительности динамику производной, что позволило разработать признак распознавания участков с различными типами землепользования и идентифицировать искомые объекты за счет локальных различий его значений (рисунок 4.2.4.2.). В перспективе планируется использовать полученные результаты для анализа динамики землепользования на территории России.

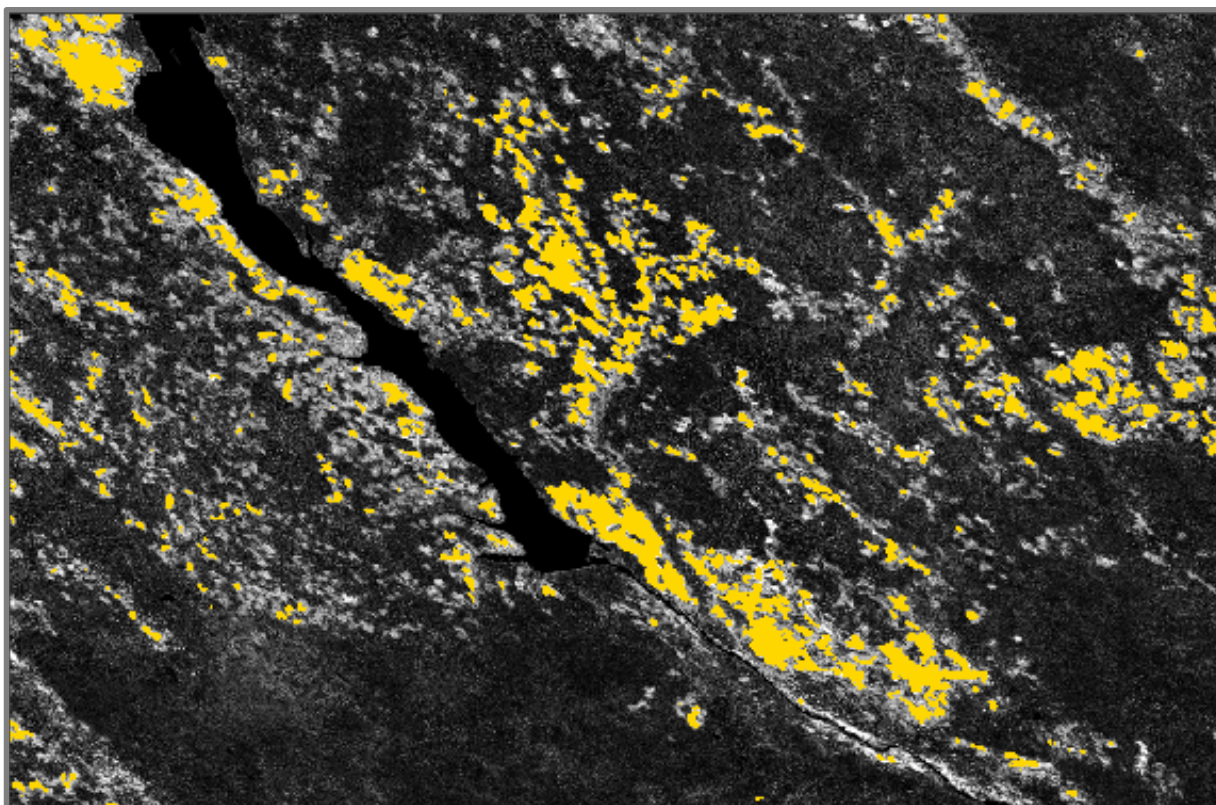


Рис. 4.2.4.2. Изображение, полученного на основе данных MODIS, признака распознавания типов землепользования. Признак позволяет выявлять такие, отличные от используемой пашни (желтый цвет), сельскохозяйственные угодья, как сенокосы и пастбища (яркие участки изображения).

РАЗДЕЛ 4.3. МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ

Отв. исп. д.ф.-м.н. Шарков Е.А.

4.3.1 Исследование роли глобального тропического циклогенеза как критического элемента в структуре полярного переноса в климатической системе Земли по данным микроволнового спутникового зондирования.

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А.

С помощью принципиально усовершенствованной комплексной базы данных EVA-02 (пространственно-временная эволюция тропического циклогенеза, фронтогенеза и поля водяного пара в земной атмосфере) с элементами объектно-реляционного типа, а также усовершенствованного алгоритма сегментации полей спутниковых данных выполнен детальный анализ временной эволюции поля интегральной концентрации водяного пара (материнское поле) [1, 2]. Исходные спутниковые данные были заимствованы из коллекции радиотепловых глобальных изображений Global-RT (ИКИ РАН), построенных по данным микроволновых спутниковых комплексов миссии DMSP (NASA) за период 2001 г. и за период 1999–2006 гг. в океанических акваториях Мирового океана. Методология усовершенствования алгоритмов сегментации была направлена, в первую очередь, на выявление тонких особенностей свойств первой и второй производных к выбранному горизонтальному профилю яркости сформированного поля интегрального водяного пара. Используя представленные математические процедуры, представляется возможным точное выделение границ материнского поля за счет отличия яркости, поскольку граница между

значением водяного пара в области материнского поля и в зоне умеренных широт отличается как минимум на 15 градаций, то граница является относительно четкой и при применении градиентного метода, не возникает проблем при идентификации границ. На основе этой методологии впервые был оценен общий энергозапас материнского поля и построена его временная эволюция. Несколько сложнее дело обстоит с фронтальными зонами, вследствие их непосредственной связанности с материнским полем. Определение внешних границ не вызывает трудностей при применении градиентного метода, в то время как для определения внутренней границы (границы между материнским полем и началом фронта) применения одного градиентного метода становится недостаточным. Для распознавание тропических циклонов, находящихся в зоне материнского поля, методы, основанные на производных, становятся неэффективными из-за большой высокочастотности изменений внутри поля и размытости границ циклона. Одним из вариантов решения этой проблемы является наложение снимков полученных в инфракрасном диапазоне и по ним производить расчеты энергозапасов циклонов, т. е. использование своеобразной маски. Впервые экспериментально показано, что на фоне среднего устойчивого значения интенсивности материнского поля водяного пара происходит динамический вынос скрытой теплоты по каналам фронтогенеза и тропического циклогенеза, что является, скорее всего, одним из основных факторов общей стабильности климатической системы Земли.

В качестве примера на рис. 4.3.1.1. представлен график влияния глобального тропического циклогенеза на материнское поле в 2001 г. (временной пиксел — суточный интервал).



Рис.4.3.1.1. Влияние глобального тропического циклогенеза на эволюцию энергозапаса материнского поля в акваториях Мирового океана

Из анализа рисунка следует, что в течение 2001 г. наблюдалось три энергетических пика, вызванных расширением материнского экваториального поля за счет присоединения части зоны умеренных широт, в которой наблюдается существенное увеличение концентрации водяного пара в эти периоды. В результате в 2001 году динамика энергозапаса материнского поля колеблется от $1,8 \cdot 10^{25}$ Дж до $7,1 \cdot 10^{25}$ Дж. Из этого энергозапаса осуществляется подпитка фронтовых зон и тропического циклогенеза.

Фронтальные зоны, являясь одним из основных явлений, способствующих полярному переносу, обладают энергозапасом от $0,1 \cdot 10^{25}$ Дж (северо-восточный тихоокеанский фронт) до $5,5 \cdot 10^{25}$ Дж (южно-западный тихий фронт). Влияние глобального тропического циклогенеза варьируется от $0,01 \cdot 10^{25}$ до $0,5 \cdot 10^{25}$ Дж, что, в основном,

существенно меньше влияния любого из фронтов. Вынос энергии глобальным тропическим циклогенезом варьируется от 0,01 до 10 % от энергозапаса материнского поля.

Исполнители

- 1) зав. отд., д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., (495) 333-13-66; easharkov@iki.rssi.ru.
- 2) мл. науч. сотр. Шрамков Я.Н., (495) 333-53-44; cinlun23@gmail.com
- 3) гл. спец. Покровская И.В., (495) 333-53-44; pokr@iki.rssi.ru
- 4) зав. лаб., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д.; (495) 333-43-01; mraev@asp.iki.rssi.ru.

Публикации

1. *Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis. Second Edition. Springer/PRAXIS. Berlin. Heidelberg. Dordrecht. London. New York. 2012. 604 p.
2. *Шрамков Я.Н.* Роль глобального тропического циклогенеза в процессе полярного переноса в атмосфере Земли по данным микроволнового спутникового зондирования: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: ИКИ РАН, 2012. 23 с.
3. *Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 2012. № 2. С. 73–82.

Формирование научной базы данных за 1983–2012 гг. глобального тропического циклогенеза на основе специального препроцессинга исходных «сырых» данных в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук, профессор Шарков Е.А., Покровская И.В.

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2012 гг. на основе специального препроцессинга исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты.

Блок базы данных за 2005–2011 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной по каналам Internet с сайта Астрономической обсерватории Гавайского университета (<http://www.solar.ifa.hawaii.edu/>), где поступающая первичная информация из JTWC (Флорида) и региональных метеоцентров (Токио, Майами, Нью-Дели, Дарвин, о-в Фиджи, о-в Реюньон и др.) суммировалась и поступала в систему Internet в виде ежедневных пакетов «сырых» данных. Поступающие данные формируются в архив первичных данных с последующим детальным препроцессингом, начиная с первичных форм тропических возмущений и кончая формами конечной диссипацией. Этот блок информации обладает существенно большей полнотой описания событий, происходящих в тропической зоне Мирового океана, чем информация за 1983–1996 гг. Особое внимание уделено ТЦ, функционировавшим в акватории Северной Атлантике осенью 2012 г. и вызвавшим катастрофические последствия на прибрежных территориях США.

Указанная база данных была использована для исследовательских задач по целому ряду направлений, в том числе изучены стохастические режимы генерации и эволюции глобального тропического циклогенеза и выявлены особенности региональных тропических циклогенезов в поле поверхностной температуры Мирового океана; проведена оценка скрытой теплоты экваториальной зоны водяного пара во внутритропической зоне конвергенции атмосферы над Мировым океаном и его региональных составляющих.

Исполнители

- 1) зав. отд., д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., (495) 333-13-66; easharkov@iki.rssi.ru

Разработка усовершенствованной базы данных EVA-01 объектно-реляционного типа и разработка программного обеспечения в формате 3D для выявления высокоэнергетических особенностей в поле водяного пара при генезисе первичных форм тропических циклонов

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., мл. науч. сотр. Шрамков Я.Н.

С помощью программного обеспечения ENVI 4.3 и Microsoft Visual Studio 2008 разработан усовершенствованный вариант базы данных EVA-01 (новое название — хранилище данных EVA-02) с элементами объектно-реляционных технологий, которая включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух стохастических процессах, обладающих принципиально различными пространственно-временными масштабными и структурными характеристиками. Первый процесс — тропический циклогенез — рассматривается как стохастический набор случайных событий (объектов) — тропических циклонов, и второй — как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью за 2001 г. Экспериментально представлена связь областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов, которая стала очевидной только при применении объектно-реляционных технологий. При всех достоинствах баз данных Global-TC и Global-Fields их использование для проведения аналитических исследований и использования этих данных в автоматическом режиме не достаточно эффективно. Несомненным лидером в обработке и хранении такого сорта комплексной информации будут являться технологии реляционных баз данных [1, 2].

Хранилище данных EVA-02 использует информацию от своих предшественниц: баз данных Global-TC и Global-Fields. Первая представляет собой хранилище систематизированных дистанционных данные о глобальном тропическом циклогенезе, т.е. содержит информацию о физическом процессе, рассматриваемом на всех акваториях Мирового океана. Прежде всего, информация была систематизирована по отдельным регионам, в каждом из которых проведены временная и пространственная привязки, были проверены правильность и полнота сообщений, связанных с характерными климатическими особенностями каждого региона, проведен препроцессинг поступающей сырой информации. Каждый вновь образующийся тропический циклон или тропическое возмущение, в дальнейшем неперешедшие в развитую форму ТЦ, составляет в базе данных отдельный файл информации. Базы данных Global-Fields содержит информацию о глобальных полях радиояркостные температур, полученных с помощью комплекса SSM-I — семиканального радиотеплового прибора, принимающего линейно поляризованное излучение на частотах 19,35; 22,235; 37,0 и 85,5 ГГц. На всех частотах, кроме 22,235 ГГц, измеряется как вертикальное так и горизонтальное поляризованное излучение, на частоте 22,235 ГГц — только вертикальное. Пространственное поле зрения измерений на поверхности Земли составляет 12,5 км для канала 85,5 ГГц и 25 км для других каналов. Для получения информации о содержании водяного пара необходимы данные о радиояркостные температурах на двух каналах: 22,235 и 37,0 ГГц. Хранилище данных EVA-02 представляет собой комплекс программ (или как правильнее назвать БД с определенным количеством утилит, что, по сути, представляет собой хранилище данных), который выполняет все необходимые, на данный момент, функции для обработки глобальных полей водяного пара и информации о тропических циклонах. Прежде всего, происходит последовательная обработка данных из базы GLOBAL-TC, с помощью языка программирования C#.

Вследствие желания автоматизировать процесс и создать удобное средство анализа, работа с единичными текстовыми файлами представлялась не целесообразной. Вследствие

этого была создана реляционная база ADAM на базе Microsoft SQL Server. Ее назначение не только создать удобное и быстрое средство поиска необходимой информации по каждому тропическому циклону или группе объединенных каким-либо общим признаком, но и обеспечить удобную передачу этой информации в блок автоматических утилит. Ниже приведена принципиальная схема устройства хранилища данных EVA-02.

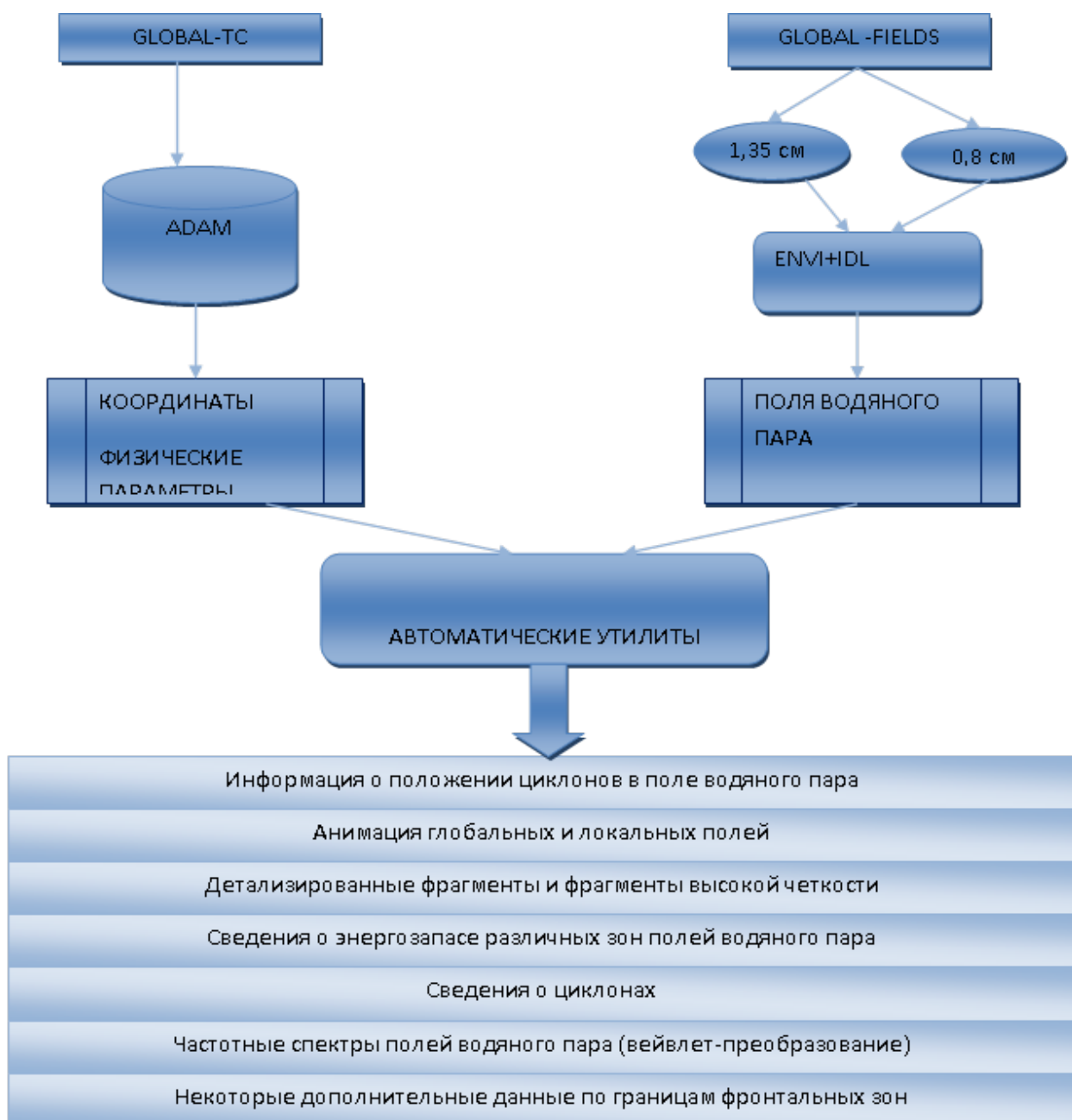


Рис.4.3.1.2. Блок-схема хранилища данных EVA-02, которая включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух стохастических процессах. Global-TC — исходная электронная база данных глобального тропического циклогенеза. Global-Fields — исходная база данных глобального радиотеплового поля, сформированная по спутниковым данным. Внизу диаграммы представлены типы продуктов хранилища данных EVA-02

Используя преимущества EVA-02, были созданы анимационные ролики, показывающие взаимосвязь глобального тропического циклогенеза и глобальных полей водяного пара. Пример такой анимации, в формате gif, представлен на сайте отдела Исследование Земли из космоса ИКИ РАН (http://www.iki.rssi.ru/asp/dep_coll.htm) и наглядно демонстрирующий связь областей повышенной концентрации водяного пара и

генезиса тропических циклонов. Один кадр из данной анимации представлен ниже на рис. 4.3.1.3.

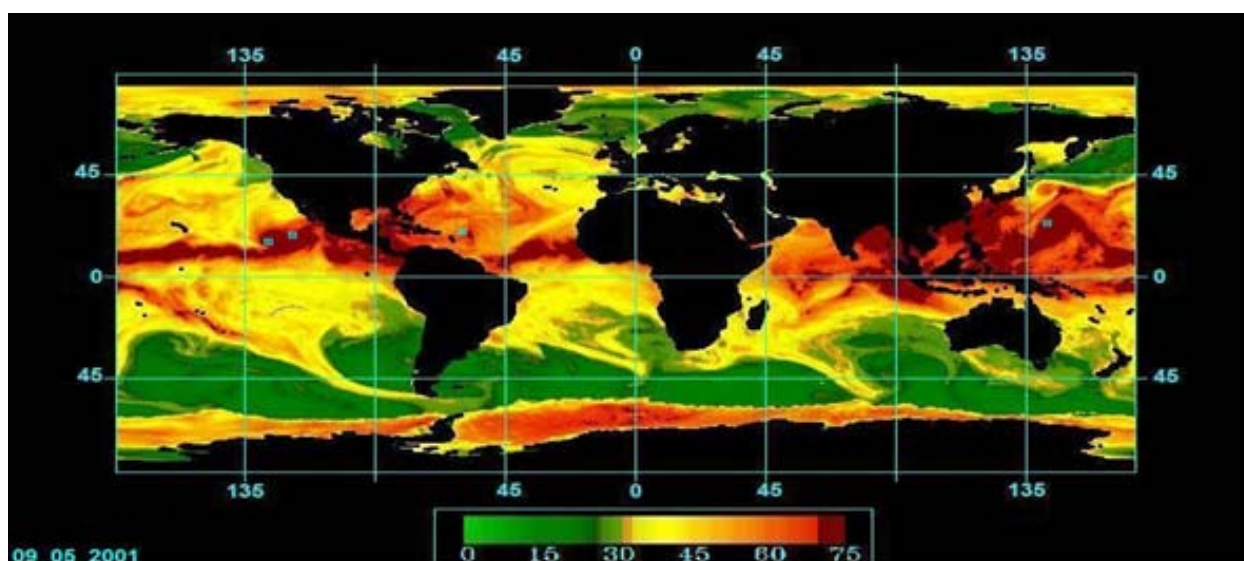


Рис 4.3.1.3. Глобальное поле водяного пара в акваториях мирового океана за 5 сентября 2001 г., центры облачных структур четырех тропических циклонов, функционирующих 5 сентября 2001 г. обозначены белыми квадратами

Помимо глобальной визуализации процессов, требуется и локальное изучение генезиса тропических катастроф. С помощью EVA-02 возможно выделение локальных зон интереса и создание серии изображений показывающей динамику развития тропического циклона. Пример такой серии изображений представлен на рис. 4.3.1.4. Используя данные серии изображений, представляется возможным изучение особенностей эволюции интегрального поля водяного пара во время генезиса тропического циклона [3], а также наглядная демонстрация джетовых зон и зон влияния тропического циклона.

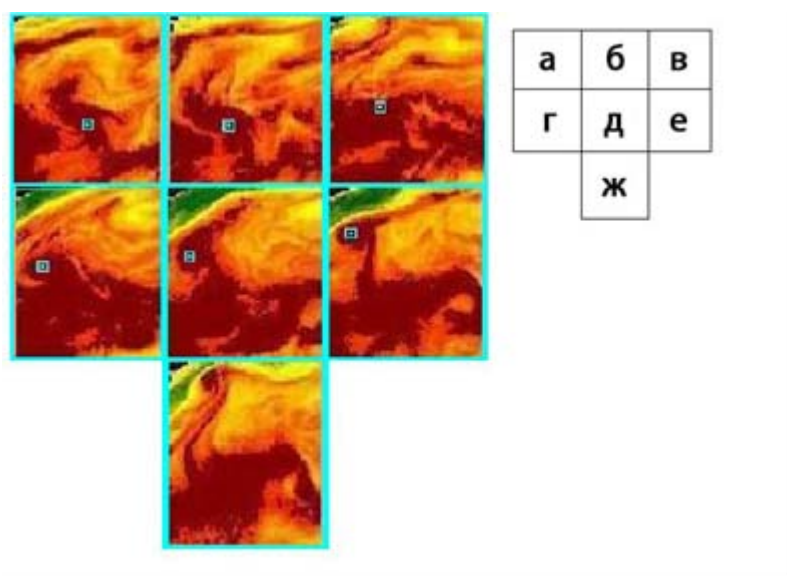


Рис. 4.3.1.4. Временная эволюция поля интегрально водяного пара в северо-западной части Тихого океана в присутствии ТЦ Francisco за 19–25 сентября 2001 г. Центры облачных структур обозначены белыми квадратами: **а** — 19.09.2001; **б** — 20.09.2001; **в** — 21.09.2001; **г** — 22.09.2001; **д** — 23.09.2001; **е** — 24.09.2001; **ж** — 25.09.2001

Для более детального изучения физических процессов, происходящих при генезисе тропических катастроф, наиболее удобным средством являются анимации, основанные на применении сетчатых поверхностей (в формате 3D). Данный метод позволяет более детально рассмотреть локальное поведение поля водяного пара и особенности физики процесса интенсификации тропических возмущений.

На рис 4.3.1.5. представлен детализированный фрагмент акватории Мексиканского залива во время функционирования тропического циклона Katrina (2005), на нем хорошо видно распределение зоны повышенной концентрации водяного пара вблизи ТЦ и особенности поведения поля внутри зоны действия тайфуна [3]. Дальнейшие исследования [4, 5] показали, что именно образование этих сильно интенсивных областей водяного пара в северо-восточной части Мексиканского залива и послужило энергетическим источником резкой интенсификации тропического возмущения Katrina и превращения его в мощный ТЦ с известными катастрофическими последствиями для прибрежных зон США.

27_08_2005

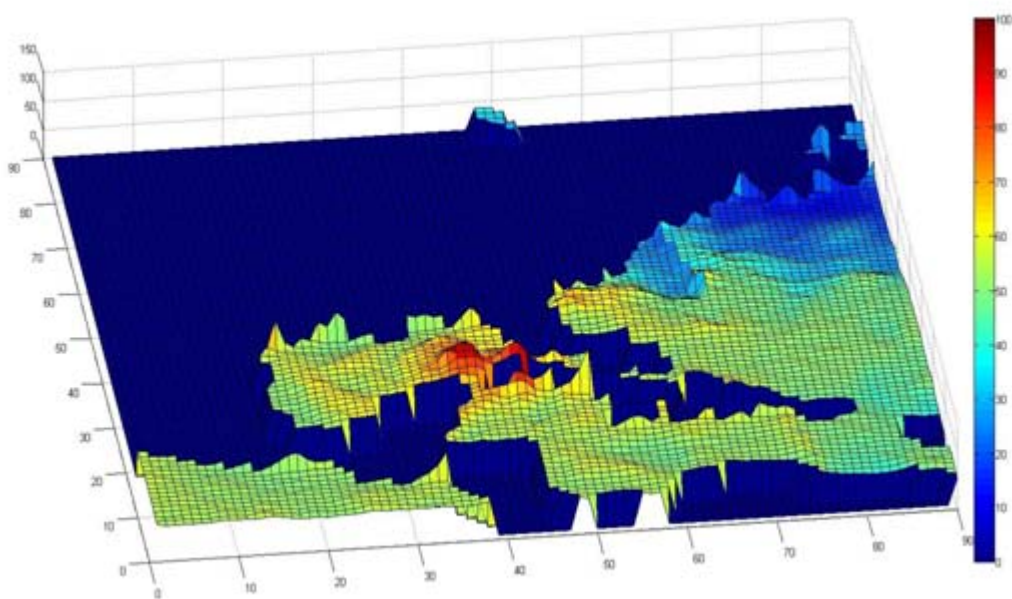


Рис. 4.3.1.5. Представление поля водяного пара на 27 августа 2005 в зоне мексиканского залива во время функционирования ТЦ Katrina, используя технологию сетчатых поверхностей. Координаты представлены в локальной системе координат. Цветовая схема представлена справа, количественные значения представлены в кг/м²

Исполнители

- 1) зав. отд., д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., (495) 333-13-66; easharkov@iki.rssi.ru.
- 2) мл. науч. сотр. Шрамков Я.Н., (495) 333-53-44; cinlun23@gmail.com
- 3) гл. спец. Покровская И.В., (495) 333-53-44; pokr@iki.rssi.ru
- 4) н. с., канд. физ.-мат. наук Ермаков Д.М., (495) 333-43-01; pldime@gmail.com
- 5) зав. лаб., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д.; (495) 333-43-01; mraev@asp.iki.rssi.ru.

Публикации

1. Sharkov E.A. Global Tropical Cyclogenesis. Second Edition. Springer/PRAXIS. Berlin. Heidelberg. Dordrecht. London. New York. 2012. 604 p.
2. Шрамков Я.Н. Роль глобального тропического циклогенеза в процессе полярного переноса в атмосфере Земли по данным микроволнового спутникового зондирования: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. М.: ИКИ РАН, 2012. 23 с.

3. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Повышенное содержание водяного пара в атмосфере тропических широт как необходимое условие генезиса тропических циклонов // Исследование Земли из космоса. 2012. № 2. С. 73–82.

4. Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Покровская И.В. Поиск источника энергии при интенсификации ТЦ Katrina по данным микроволнового спутникового зондирования. // Исследование Земли из космоса. 2012. № 4. С. 47–56.

5. Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Детализация фаз развития ТЦ Katrina по интерполированным глобальным полям водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 207–213.

6. Ермаков Д.М., Покровская И.В., Раев М.Д., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Особенности поля водяного пара высокого разрешения в моменты промежуточной интенсификации ТЦ Alberto // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 188. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

7. Ермаков Д.М., Раев М.Д., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Проблемы построения радиотепловых полей достаточной однородности при высоком пространственном разрешении по спутниковым данным // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 34. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

Доклады

1. Ермаков Д.М., Покровская И.В., Раев М.Д., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Особенности поля водяного пара высокого разрешения в моменты промежуточной интенсификации ТЦ Alberto: Доклад // 10-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012.

2. Ермаков Д.М., Раев М.Д., Чернушич А.П., Шарков Е.А. Проблемы построения радиотепловых полей достаточной однородности при высоком пространственном разрешении по спутниковым данным: Доклад // 10-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012.

4.3.2 Изучение проявления климатических тенденций в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук Астафьева Н.М.

1. Проведен совместный анализ статистики ряда тропических циклонов (ТЦ) по информации Национального ураганного центра NHC (National Hurricane Center — Tropical Prediction Center NOAA, <http://www.nhc.noaa.gov>) и данных микроволнового спутникового мониторинга из электронной коллекции ИКИ РАН Global-Field (<http://www.iki.rssi.ru>), содержащей информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы за 11 лет. На основе ежесуточных глобальных радиотепловых полей изучены атмосферные ситуации не только вблизи ТЦ, но над всей акваторией океана — в достаточно удаленном от тропического циклона атмосферном окружении. Основное внимание уделялось изучению влияния удаленного атмосферного окружения на изменения траекторий ТЦ, особенно, на непредсказуемые изменения траекторий (как, например, произошло с ТЦ Alberto 03—

23.08.2000 — его траектория включает большую пятидневную антициклоническую петлю, он трижды достигал стадии урагана и совершил экстратропический переход). Такие ТЦ наиболее опасны вследствие невозможности заблаговременного оповещения об их приходе. Взаимодействие ТЦ и удаленного атмосферного окружения — яркий пример работы прямых и обратных связей в атмосфере Земли, поскольку мощные ТЦ, выносящие из внутритропической зоны конвергенции огромные количества влаги в более высокие широты, сами существенно изменяют состояние атмосферы над большими площадями акватории океана и оставляют долгоживущий крупномасштабный «след», который, безусловно, влияет на прохождение очередных ТС (и на перенос тепла и массы в атмосфере). На примере изучения ряда ТЦ показано, что на траектории ТЦ оказывают влияние не только и не столько локальные факторы (которые, как правило, учитываются в прогностических моделях), а именно крупномасштабное достаточно удаленное от ТЦ атмосферное окружение, определяющее форму траекторий циклонов и часто приводящее к резкому изменению направления их движения.

2. Изучение механизмов, управляющих процессом Эль-Ниньо — Ла-Нинья (ЭН–ЛН), все так же актуально, поскольку практически все параметры процесса (быть может за исключением начала теплой фазы) не удается предсказывать с достаточной достоверностью. О разнообразии сценариев процесса ЭН–ЛН свидетельствует довольно большое количество добротных физических моделей процесса. Это, например, теории Бьеркнеса (аномальное потепление в восточном Тихом Океане и ослабление в циркуляции Уокера и пассатов), Виртки (западная выпуклость теплых вод и их движение на восток при ослаблении ветров), перезаряжаемый осциллятор (сброс тепла в более высокие широты с последующим его накоплением), западный тихоокеанский осциллятор (триггер — ослабление западного течения в океане при восточных аномалиях ветра), осцилляции Маддена – Джулиана (которые могут вызывать распространение волн Кельвина в океане на восток). Каждая из этих моделей прекрасно описывала очередное прошедшее ЭН, и разрушалась следующим, которое проходило уже по другому сценарию — давно уже понятно, что единого сценария процесса ЭН–ЛН не существует, поскольку каждое следующее ЭН проходит на фоне и во взаимодействии с постоянно меняющимися условиями в такой сложной системе как океан-атмосфера. Наши исследования показывают, что процесс ЭН–ЛН действительно является способом сброса избыточного накопленного тепла из тропической зоны (как и тропический циклогенез, который делает это более регулярно и на меньших пространственно-временных масштабах). Спусковым механизмом начала фазы ЭН могут быть межполушарные колебания ОЦА, которые обнаруживаются при детальном изучении эволюции основных центров действия атмосферы обоих полушарий. В результате таких колебаний довольно большие массы сухого холодного воздуха внедряются «языками» со стороны Южного полушария в тропическую зону Индийского океана, Атлантики и, в наибольшей мере, — Тихого океана, радикально изменяя структуру атмосферной циркуляции над акваториями Мирового океана и приводя к очередной фазе процесса ЭН–ЛН. Благодаря возникающим прямым и обратным связям в системе океан-атмосфера (фактически — в климатической системе) процесс ЭН–ЛН может быть одной из составляющих (наиболее мощной) межполушарных колебаний системы океан-атмосфера — макроциркуляционных атмосферных процессов, связанных с главной модой ОЦА (западной зональной циркуляцией) и ее межполушарными колебаниями.

Межполушарные колебания изучаются на основе серий глобальных радиотепловых полей из сформированной в ИКИ РАН электронной коллекции Global-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>). Изучаются пространственно-временные колебания полей радиояркостной температуры (т. е. полей влаго- и водозапаса тропосферы) Северного и Южного полушарий, связанные с крупномасштабными (фактически планетарного масштаба) межгодовыми (на масштабах процесса Эль-Ниньо — Ла-Нинья, т. е. 4–10 лет) атмосферными колебаниями. Особое внимание уделяется межполушарным колебаниям и выявлению структурных различий между полушариями. Проведено сравнение результатов

анализа динамики выявленных атмосферных структур разного масштаба с пространственно-временной динамикой основных центров действия атмосферы Южного полушария. Работа выполнена при частичной поддержке Программы 22 Президиума РАН.

Публикации

1. *Астафьева Н.М., Онищенко О.Г., Раев М.Д.* Эль-Ниньо – Ла-Нинья и колебания центров действия атмосферы Южного полушария // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. (В печати.)

2. *Астафьева Н.М.* Погода (и климат) на Земле и в космосе // Международная конференция «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле». Москва, ИКИ РАН, 4–8 июня 2012. Сборник тезисов. С. 16–17.

3. *Астафьева Н.М., Онищенко О.Г., Раев М.Д.* Южное полушарие: пространственно-временная динамика распределения радиояркостной температуры, центры действия и зональная циркуляция атмосферы // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 167. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

4. *Астафьева Н.М., Раев М.Д.* Индийский океан и Атлантика: тропический циклогенез и атлантическое Эль-Ниньо // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 168. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

5. *Астафьева Н.М., Раев М.Д.* Влияние внутритропической зоны конвергенции и других элементов общей циркуляции атмосферы на траектории и интенсивность тропических циклонов // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 169. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

Написание программ и оформление интерфейса, предназначенного для анализа серий глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции Global-Field

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук Астафьева Н.М., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д.

На основе разработанной авторами методики, базирующейся на процедуре Такенса, проведен анализ данных микроволнового спутникового мониторинга — серий глобальных радиотепловых полей из электронной коллекции ИКИ РАН Global-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>). Идея анализа случайных сигналов с целью реконструкции свойств порождающих их источников (процессов), предложенная Ф. Такенсом (*Takens F.* Lect. Notes Math. 1981. № 899. P. 366–381) и развитая в работе (*Grassberger P., Procaccia I.* Phys. Rev. Lett. 1983. V. 50. № 5. P. 346–349), состоит в построении диагностики на основе анализа конкретной достаточно длинной, но конечной временной реализации исследуемого физического процесса. В настоящей работе представлена методика, основанная на процедуре Такенса, и результаты ее применения для анализа пространственно-временной структуры радиотеплового поля Земли. С помощью предлагаемой методики (и фильтрации разных временных масштабов — меньше года и годовых) изучены межгодовые изменения радиотеплового поля. Выявлена широтная структура годовых циклов и квазидвухлетних колебаний в тропосфере. Сравнение с результатами, полученными другими методами (вейвлет-преобразование, в частности) показало хорошее согласие результатов и эффективность методики, основанной на процедуре Такенса. Показано, что методика позволяет исследовать временную структуру радиотепловых полей Земли, выявлены ее

различия на разных широтах. Сравнение результатов изучения межгодовых изменений радиотеплового поля Земли, полученных на основе методики, базирующейся на процедуре Такенса, и на основе математического аппарата вейвлет-преобразования показало хорошее согласие и эффективность методики. Результаты, полученные на основе двух разных методик, подтвердили наличие выявленных авторами ранее квазидвухлетних колебаний в тропосфере Земли. Методика реконструкции фазового пространства, основанная на процедуре Такенса, может с успехом применяться для анализа сигналов любой физической природы, полученных в результате вычислений, лабораторного эксперимента или натуральных наблюдений.

Публикации

1. Астафьева Н.М., Раев М.Д., Хайруллина Г.Р. Методика изучения структуры радиотеплового поля Земли, основанная на процедуре Такенса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 22–31.

4.3.3 Определение запасов воды в снежном покрове по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Тихонов В.В., канд. физ.-мат. наук Боярский Д.А.

Исследованы особенности взаимодействия микроволнового излучения со снежным покровом, для уточнения методов оценки пространственного распределения снегозапаса. Для локальных условий разработаны подходы к моделированию изменения яркостной температуры поверхности в зависимости от структуры снежного покрова, определены причины и возможная величина погрешности. Проведена сравнительная характеристика пространственно-временной изменчивости модельных, спутниковых и наземных данных для ключевых участков Восточно-Европейской равнины. Оценено сходство полей спутниковой яркостной температуры, приземной фактической температуры воздуха и высоты снежного покрова.

Для Восточно-Европейской равнины в период 1978–2006 гг. оценена погрешность снегозапаса, восстановленного по модели Чанга (*Chang et al.*, 1996; 1987) с использованием данных спутниковой радиометрии SSM/I-DMSP. Выявлено значительное несоответствие восстановленного и измеренного снегозапаса с превышением ошибки 25 %, обозначенной авторами модели, как для конкретных метеорологических станций, так и для осредненных по региону значений. Минимальная, при анализе данных в точках (метеостанции), погрешность восстановленного снегозапаса характерна для долготы 40–45° и широты 55–65° и связана, по-видимому, с более низкой температурой воздуха и небольшими льдистыми прослойками в снежной толще. Максимальная неточность спутниковых данных отмечена в начале зимы. Можно предположить, что в этом случае на оценку снегозапаса влияет наличие высокой травы и кустарника. Не соответствует реальной и тенденция многолетнего изменения восстановленного снегозапаса.

Для арктического региона выявлено, что присутствие снежного покрова на ледяной поверхности уменьшает крутизну частотной зависимости яркостной температуры системы водная поверхность – лед – атмосфера на частотах 19,35 и 22,235 ГГц. Снежный покров может удерживать влаги не более 12 % от его общего объема (Boyarskii et al., 1994). Однако даже при такой влажности снега глубина формирования излучения составляет всего несколько сантиметров (рис. 1). Стоит отметить, что для сухого снега глубина формирования излучения на этих частотах составляет всего 20–30 см (см. рис. 4.3.3.1.). Таким образом, при наличии небольшого снежного покрова на ледяной поверхности,

основной вклад в излучение на частотах выше 10 ГГц будет давать слой снега, т.е. ледяной покров практически не будет вносить вклад в яркостную температуру системы. Диэлектрическая проницаемость снега, как влажного, так и сухого, значительно ниже диэлектрической проницаемости воды и влажного льда (Boyarskii et al., 1994). Этот факт и приводит к сглаживанию зависимости яркостной температуры на низких частотах данного диапазона.

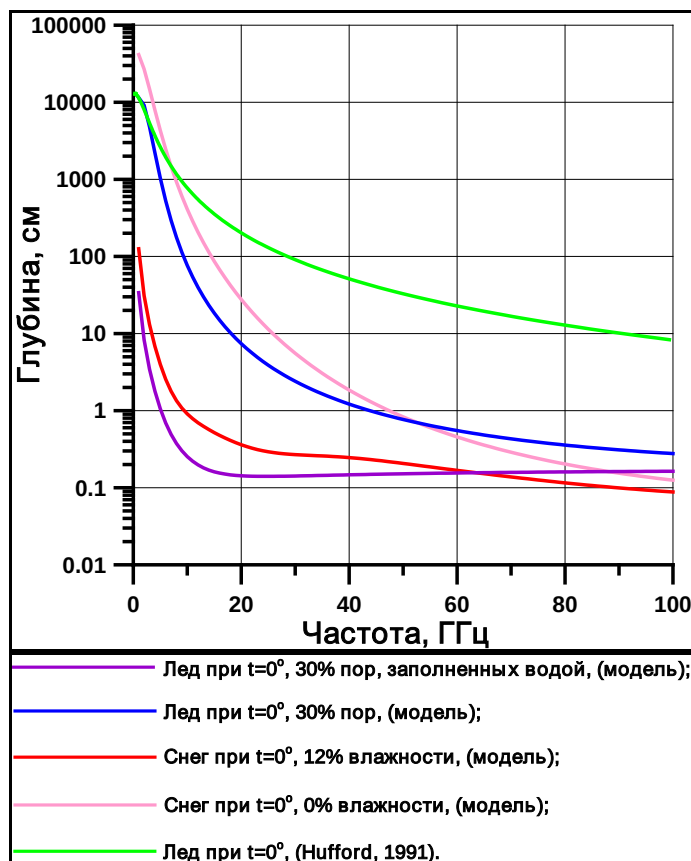


Рис. 4.3.3.1. Частотные зависимости глубины формирования излучения для льда и снежного покрова

Необходимо отметить, что проведенный анализ и сравнение модельных расчетов со спутниковыми данными показали невозможность прямого определения толщины ледового покрова Арктического региона из данных прибора SSM/I. Для частот, принимаемых радиометрическим комплексом SSM/I, глубина формирования излучения ледового и снежного покрова составляет, в лучшем случае, десятки сантиметров, что значительно меньше реальной толщины льда в данном регионе. Таким образом, определение толщины ледового покрова Арктического региона из данных SSM/I возможно только косвенным способом, например из анализа возраста льда по его диэлектрическим свойствам.

Работа выполняется совместно с Институтом географии РАН (ИГ РАН).

Исполнители со стороны ИКИ РАН

1) ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук Тихонов В.В., (495) 333-50-78, vtikhonov@asp.iki.rssi.ru;

2) ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук Боярский Д.А., (495) 333-50-78, dboyarski@rambler.ru;

3) зав. лаб., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д., (495) 333-43-01, mraev@asp.iki.rssi.ru

4) вед. спец. Комарова Н.Ю., (495) 333-42-56, nata.komarova@asp.iki.rssi.ru.

Публикации

1. **Репина И.А., Тихонов В.В., Алексеева Т.А., Иванов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю.** Электродинамическая модель излучения арктического ледяного покрова для решения задач спутниковой микроволновой радиометрии // Исследование Земли из космоса. 2012. № 5. С. 29–36.

2. **Китаев Л.М., Тихонов В.В., Боярский Д.А., Титкова Т.Б., Комарова Н.Ю.** Снежный покров Восточно-Европейской равнины по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 249–257.

3. **Тихонов В.В., Репина И.А., Алексеева Т.А., Иванов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю.** Моделирование излучательных характеристик ледяного покрова Арктического региона для решения задач спутниковой микроволновой радиометрии // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 302. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

4. **Тихонов В.В., Репина И.А., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю., Алексеева Т.А., Иванов В.В.** Алгоритм восстановления сплоченности ледяного покрова Арктики из данных SSM/I // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 303. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

5. **Репина И.А., Алексеева Т.А., Иванов В.В., Раев М.Д., Тихонов В.В., Чечин Д.Г.** Чувствительность определения потоков тепла и влаги по данным дистанционного зондирования в Арктике к выбору алгоритма восстановления ледяного покрова // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 215. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

Доклады

1. **Тихонов В.В., Репина И.А., Алексеева Т.А., Иванов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю.** Моделирование излучательных характеристик ледяного покрова Арктического региона для решения задач спутниковой микроволновой радиометрии: Доклад // 10-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012.

2. **Тихонов В.В., Репина И.А., Раев М.Д., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю., Алексеева Т.А., Иванов В.В.** Алгоритм восстановления сплоченности ледяного покрова Арктики из данных SSM/I: Доклад // 10-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012.

4.3.4 Поиск ионосферного параметра, адекватно отражающего состояние ионосферы экваториальных и низких широт под воздействием тропических циклонов.

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Ванина-Дарт Л.Б., д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А.

Основные научные результаты этапа работы за 2012 г. были представлены на 10-й открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, Москва, 12–16 ноября 2012.

В предыдущих работах настоящих авторов было отмечено, что тропический циклон является «широкополостным» источником возмущения, который действует в течение длительного времени. Чтобы найти отклик в ионосфере на это событие, нам необходимо рассмотреть ионосферные данные «по радиусу» над местом локализации ТЦ. Например, высотный профиль электронной концентрации или широтный разрез ПЭС (полное электронное содержание) не являются объектами доказательства наличия в них отклика на ТЦ, они только могут указывать на отклик. В этих целях мы продолжили изучение поведения верхней ионосферы над ТЦ над Австралией. Нам опять пришлось прибегнуть к открытым зарубежным данным. К сожалению, современные российские спутниковые ресурсы исследования отличаются крайне ограниченным и нерегулярным мониторингом ионосферы.

В работе было решено использовать ежечасные карты ионосферных отклонений над Австралийским континентом. Отклонения получены в результате вычитания от реального значения ПЭС (полного электронного содержания в столбе с сечением 1 м^2 над данным пунктом) предполагаемого значения ПЭС, полученного с использованием модели, основанной на нескольких климатических параметрах. Реально в остатках эмпирически исключается зависимость от зенитного угла Солнца и сезона. Данная карта составляется каждые 15 минут.

ТЦ Iggy, Lua и Jasmine действовали в первом квартале 2012 г. Согласно шкале Саффира – Симпсона по силе действия вышеназванные ураганы оцениваются 1-й, 2-й и 4-й категориями. ТЦ Iggy (действовал в конце января – начале февраля) и Lua (действовал в середине марта) функционировали в акватории Индийского океана. Если ТЦ Lua «пересек» берег материка, то ТЦ Iggy не удалось сделать это. ТЦ Jasmine (действовал в первой половине февраля) функционировал в акватории Тихого океана, появившись недалеко от берега континента и уходя на восток. В период действия данных тропических циклонов наблюдались значительные землетрясения в достаточной близости от Австралии. В работе представлен анализ ионосферных данных с позиции взаимодействия слоев литосфера – атмосфера – ионосфера. В работе наглядно представлен волновой характер предполагаемого влияния ТЦ на ионосферу, а также подтверждается вывод о разнонаправленных тенденциях влияния ТЦ в зависимости от фазы действия и отсутствия зависимости от мощности ТЦ (рис. 1–3). Предполагаемый отклик от ТЦ по величине меньше от предполагаемого отклика от землетрясений. По данным результатам планируется полноценное представление статей.

На рис. 1–3 представлены карты ионосферных отклонений над Австралийским континентом в фиксированный момент времени. Красными точками помечены положения ТЦ Iggy (см. рис. 4.3.4.1.), Jasmine (см. рис. 4.3.4.2.) и Lua (см. рис. 4.3.4.3.).

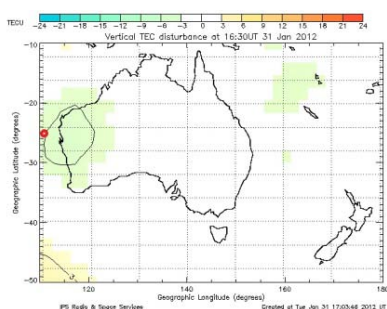


Рис. 4.3.4.1.

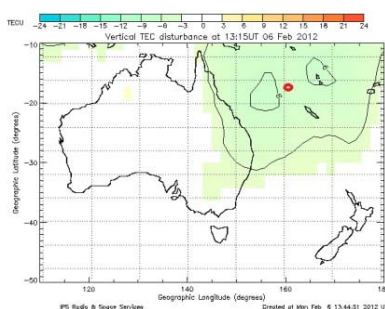


Рис. 4.3.4.2.

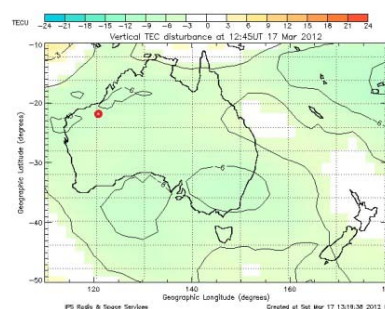


Рис. 4.3.4.3.

Публикации

1. *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А.* Сопоставление ионосферных вариаций над Австралийским континентом во время действия тропических циклонов различной мощности // Исследование Земли из космоса. 2012. № 6. С. 62–68.

2. *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А., Дарт Т.М.* Ионосферные вариации над Австралийским континентом в первом квартале 2012 г. // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

Доклады

1. *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А., Дарт Т.М.* Ионосферные вариации над Австралийским континентом в первом квартале 2012 г.: Доклад // 10-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 12–16 ноября 2012.

РАЗДЕЛ 4.4. МОНИТОРИНГ-ОКЕАН

Отв. исп. д.ф.-м.н. Шарков Е.А.

4.4.1 Теоретическое и экспериментальное исследование динамических вихревых и волновых процессов в верхнем слое океана и в приповерхностной атмосфере на основе данных спутникового дистанционного зондирования.

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Лаврова О.Ю.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование тонкой пространственной структуры течений на основе данных спутникового дистанционного зондирования. Основное внимание уделялось проявлениям так называемых филаментов, тонким нитевидным структурам, протяженность которых многократно превосходит их ширину. На спутниковых радиолокационных и оптических изображениях высокого пространственного разрешения филаменты проявляются в виде квазипериодических сликовых полос, вытянутых по направлению течений и часто наблюдаются вблизи вихревых структур и связаны с ними. На основе данных ASAR IC3 Envisat и ERS-2 IC3 SAR, получаемых с пространственным разрешением 25–150 м, а также композитных снимков ETM+ и TM IC3 Landsat-5/7, имеющих разрешение 30 м, предпринята попытка определения параметров тонкой структуры течений по искривлению корабельного следа. Узкие длинные сликовые полосы, которые образуются на поверхности моря из-за сброшенных с движущихся судов вод, содержащих поверхностно-активные вещества (балластные, льяльные или промывочные воды, отходы рыбопереработки и пр.) часто подвергаются заметному сносу и искривлению под влиянием течений, связанных с прохождением вихрей, внутренних волн, гидрологических фронтов и пр. Сравнивая истинный маршрут судна с его следом, по величине смещения рассчитывалась скорость течения. На рис. 1 представлен пример искривления корабельного следа под влиянием вихревых движений в циклонической части диполя. Ступенчатое искажение, явно связанное с закручивающимися филаментами циклонического вихря, составляет 2,2 км (левая часть рис. 1). Проведенные оценки показали, что скорость течения в вихре достигала 40 см/с. В правой части рис. 4.4.1.1. видны волнообразные искривления меньшей амплитуды, связанные с многочисленными более слабыми филаментами в антициклонической части вихревого диполя.

Продолжены экспериментальные работы по изучению параметров течений в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря. Подспутниковые измерения с маломерного судна с помощью акустического доплеровского профилометра (ADCP)

проводились на акватории шельфа Черного моря вблизи Геленджика в пределах границ от траверза Голубой бухты до мыса Толстого в три этапа: с 4 по 15 июня, с 10 по 28 сентября и с 6 по 15 октября 2012 г. Обширный экспериментальный материал, полученный в разные сезоны, позволил всесторонне исследовать тонкую структуру течений в регионе. В сентябре 2012 г. наблюдалась сильная вихревая активность. Были выявлены многочисленные антициклонические и циклонические субмезомасштабные вихри и измерены их параметры: скорость и направление течения, глубина проникновения вихря, положение термоклина в вихре и др. Путем сопоставления данных ADCP с данными спутникового радиолокационного зондирования высокого пространственного разрешения с ИСЗ TerraSAR-X и RADARSAT-2 выявлено, что области смены направления течения проявляются на радиолокационных изображениях в виде сликовых полос. На рис. 4.4.1.2. представлен пример проявления антициклонического вихря и результат измерения течения в нем с помощью ADCP.

Во время проведения подспутниковых измерений выявлены случаи проявлений короткопериодных внутренних волн, генерация которых вызвана прохождением антициклонического вихря (рис. 4.4.1.3.).

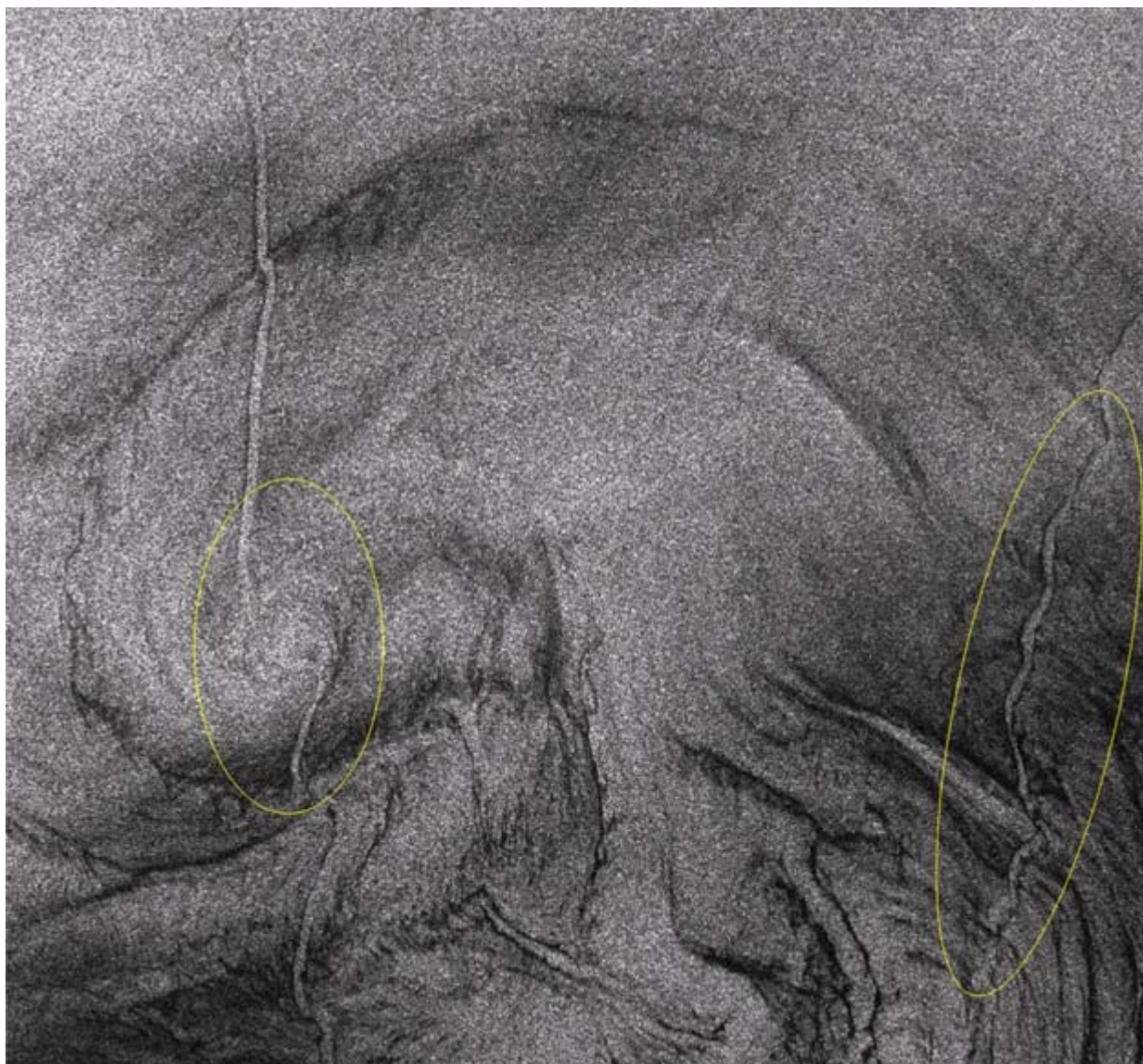


Рис. 4.4.1.1. Поверхностные проявления влияния вихревых движений на корабельные следы. Фрагмент ERS-2 SAR изображения, полученного 23.06.11 в юго-восточной части Балтийского моря. Овалами отмечены места искривлений корабельного следа

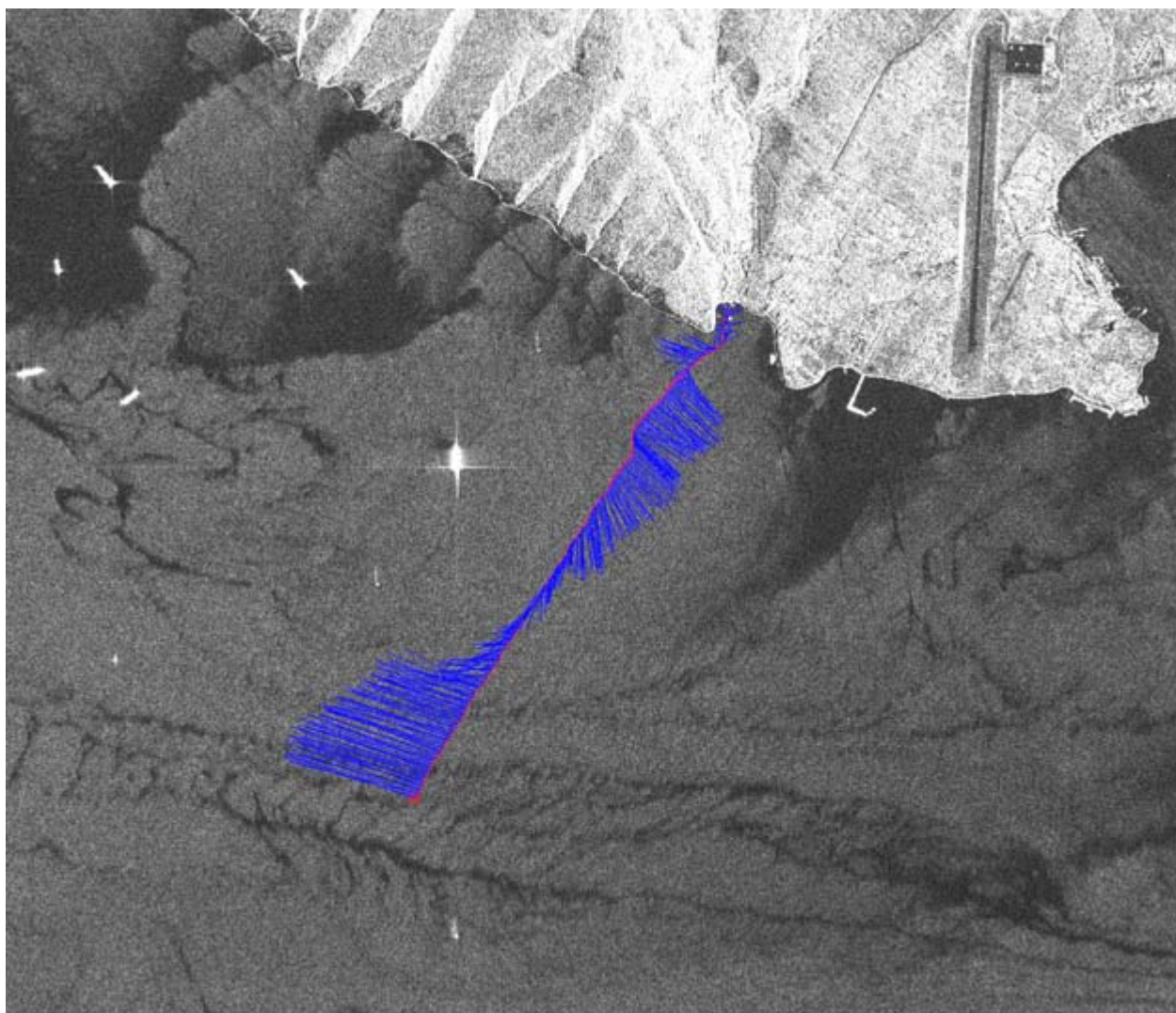


Рис. 4.4.1.2. Фрагмент RADARSAT-2 изображения, полученного 28.09.12. Синим отмечена скорость и направление течения в прибрежном антициклоническом вихре, измеренные с помощью ADCP в период спутниковой съемки

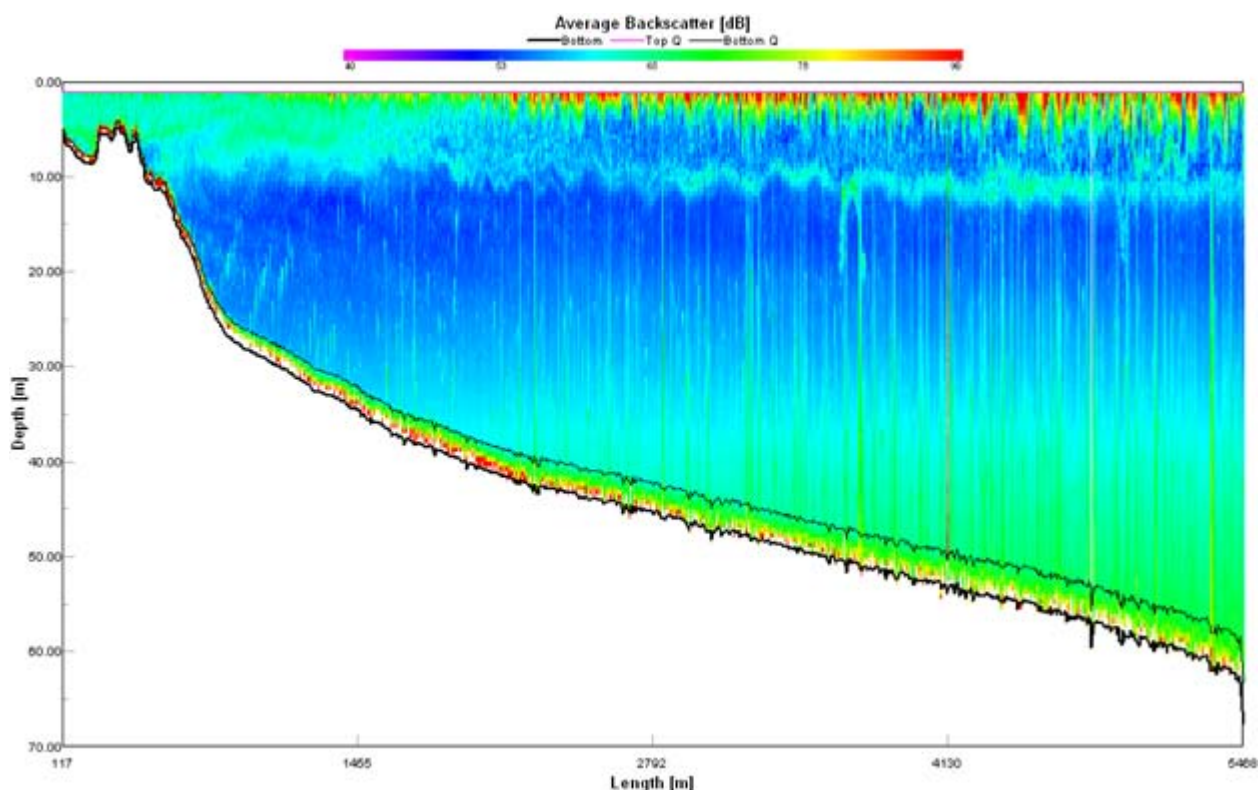


Рис. 4.4.1.3. Проявление короткопериодных внутренних волн, генерация которых связана с прохождением прибрежного антициклонического вихря. Картина эхо-сигнала ADCP на первом галсе разреза (сечение от берега до дальней точки) 11.09.2012

Исполнители

- 1) канд. физ.-мат. наук Лаврова О.Ю., olavrova@iki.rssi.ru;
- 2) канд. физ.-мат. наук Митягина М.И., mityag@iki.rssi.ru;
- 3) Назирова К.Р., knazirova@gmail.com;
- 4) д-р физ.-мат. наук Сабинин К.Д., ksabinin@yandex.ru;
- 5) д-р физ.-мат. наук Серебряный А.Н., serebryany@hotmail.com.

1. Lavrova O.Yu., Sabinin K.D., Mityagina M. Ship wake distortion as indicator of spatial current fine structure // Proc. 4th International Workshop SeaSAR 2012. 18–22 June 2012. Tromsø, Norway, ESA / Ed. ESA. 2012. V. ESA-SP-709. ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands. CD-ROM.

2. Lavrova O., Serebryany A., Bocharova T., Mityagina M. Investigation of fine spatial structure of currents and submesoscale eddies based on satellite radar data and concurrent acoustic measurements // Proceedings SPIE 8532, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. 2012. 85320L (October 19, 2012). doi: 10.1117/12.970482.

3. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Каримова С.С., Бочарова Т.Ю. Применение радиолокаторов RADARSAT-2 и TerraSAR-X для исследования гидродинамических процессов в океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 312–323.

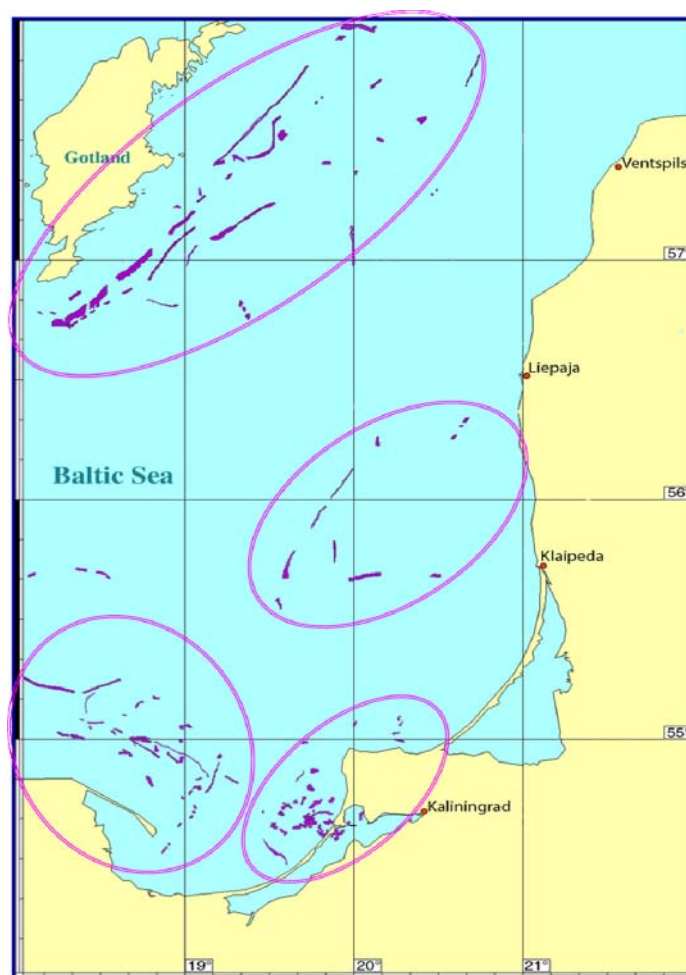
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Серебряный А.Н., Назирова К.Р. Тонкая структура течений и субмезомасштабные вихри: спутниковые наблюдения и подспутниковые акустические измерения // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 279. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

4.4.2 Выявление пленочных загрязнений антропогенного и естественного происхождения на морской поверхности по данным спутникового зондирования.

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Лаврова О.Ю.

Выявление пленочных загрязнений морской поверхности на основе многосенсорного спутникового зондирования

Продолжена работа по разработке научных основ спутникового метода контроля загрязнений поверхности прибрежных районов океана и внутренних морей. В основу метода положен комплексный (многосенсорный и междисциплинарный) подход к решению задачи обнаружения и прогнозирования распространения нефтяных загрязнений, базирующийся на совместном использовании разнородных данных спутникового зондирования морской поверхности. Основным средством спутникового контроля состояния морской поверхности и оценки степени загрязненности, являются радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), установленные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) ERS-2 и Envisat Европейского космического агентства (ЕКА). Кроме того, для интерпретации радиолокационных изображений (РЛИ) привлекались данные сенсоров MODIS ИСЗ Aqua/Terra, MERIS ИСЗ Envisat и AVHRR ИСЗ NOAA видимого и инфракрасного диапазонов, несущие информацию о полях температуры поверхности моря (ТПМ) и мезомасштабной динамике вод. Дополнительно использовались данные сканирующих радиометров ETM+ ИСЗ Landsat 7 и TM Landsat 5. Проведен совместный анализ разнородных данных, полученных методами дистанционного зондирования морской поверхности из космоса в юго-восточной части Балтийского моря и в Финском заливе. Выявлены районы, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами и получены статистически достоверные результаты о пространственной и временной изменчивости нефтяного загрязнения морской поверхности в районе интереса.



Сводная карта нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации за 2009-2011 гг.

Выявлено 122 отдельных пятна нефтепродуктов. Индивидуальная площадь пятен варьировалась в пределах от 0,1 до 105 км². Совокупная площадь загрязнений, содержащих нефтепродукты, составила более 380 км².

Районы, подверженные наиболее частому загрязнению нефтепродуктами:

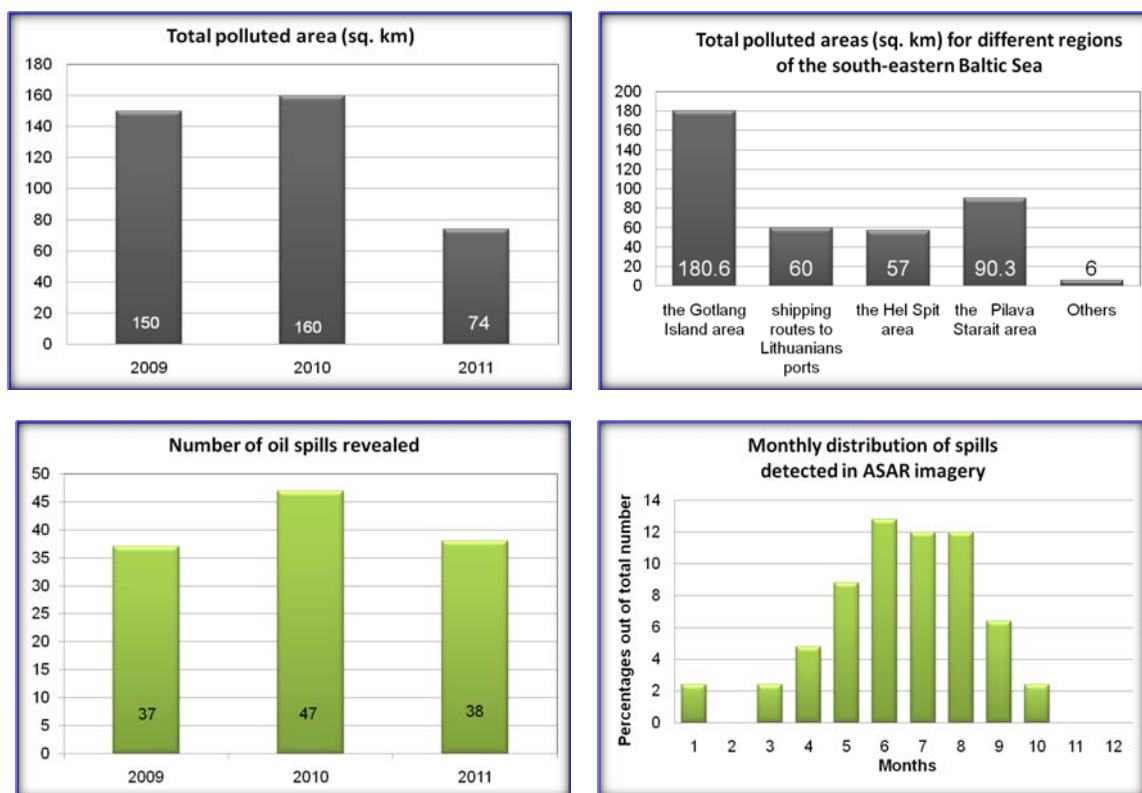
- основные судоходные трассы к юго-востоку от о-ва Готланд;
- судоходные трассы к портам Клайпеда и Лиепая;
- участок акватории в окрестности Хельской косы;
- участок акватории Гданьского залива вблизи входа в Балтийский (Пилавский) пролив.

Все нефтяные загрязнения, выявленные вдоль основных судоходных трасс к юго-востоку от о-ва Готланд обусловлены сбросом нефтесодержащих вод с движущихся судов.

Сбросы с судов вод, содержащих нефтепродукты, выявленные в радиолокационных изображениях над центральной частью района интереса вдоль основных судоходных трасс, ведущих к портам Лиепая и Клайпеда, не столь многочисленны и отличаются меньшими размерами. Это может быть обусловлено менее активным судоходством в этом районе. Большинство выявленных пятен представляли собой «старые» сбросы, характеризующиеся большей площадью растекания и более слабыми радиолокационными контрастами.

Многие нефтяные загрязнения в окрестности Хельской косы изогнуты, повторяя форму основной судоходной трассы, ведущей из порта Гданьск к портам юго-западной Балтики и к Датским проливам и огибающей Хельскую косу. Остальные сбросы в этом районе вытянуты в северо-восточном направлении вдоль судоходных трасс, ведущих к портам восточной Балтики.

Нефтяное загрязнение морской поверхности вблизи входа в Балтийский (Пилавский) пролив обусловлено сбросом нефтесодержащих вод с неподвижных судов на якорной стоянке. В этом районе регулярно выявляется большое количество нефтяных пятен, имеющих относительно небольшие размеры, но иногда под влиянием ветра и волнения нефтяная пленка растекается и покрывает большую площадь.



Статистика нефтяных пятен, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации за 2009–2011 гг.



Сводная карта нефтяных пятен в Финском заливе, обнаруженных в результате анализа данных спутниковой радиолокации в 2009–2011 гг.

1. Вблизи входа в Финский залив спутниковая съемка выявила высокий уровень загрязненности вдоль судоходных трасс. Основной источник загрязнений — сбросы нефтепродуктов и неочищенных вод с движущихся судов.

2. В центральной части Финского залива, на радиолокационных изображениях выявлены пленочные загрязнения, меньшей протяженности, но существенно большей площади. Такие признаки характерны либо для сбросов с неподвижных судов.

3. Основные пленочные загрязнения, выявленные на радиолокационных изображениях акватории Невской губы (восточная часть Финского залива), обусловлены береговыми сбросами, содержащими антропогенные загрязнения.

Исполнители

1) канд. физ.-мат. наук Митягина М.И., mityag@iki.rssi.ru;

2) канд. физ.-мат. наук Лаврова О.Ю., olavrova@iki.rssi.ru.

Публикации

1. Mityagina M., Lavrova O., Kostianoy A. Long Term Satellite Monitoring of the Oil Spillages in the South-Eastern Baltic Sea // Proceedings 4th International Workshop SeaSAR 2012. 18–22 June 2012. Tromsø, Norway, ESA / Ed. ESA. 2012. V. ESA-SP-709, ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands. (CD-ROM).

2. Костяной А.Г., Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю., Лебедев С.А., Станичный С.В., Соловьев Д.М., Сирота А.М. Комплексный оперативный спутниковый мониторинг в 2004–2005 годах // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. 2. Море / Под. ред. Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.В. Сивкова, В.Н. Фельдмана. Калининград: Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть», 2012. С. 483–518.

3. Mityagina M., Lavrova O., Kostianoy A. Long Term Satellite Monitoring of the Oil Spillages in the South-Eastern Baltic Sea // Proceedings 4th International Workshop SeaSAR 2012. 18–22 June 2012. Tromsø, Norway, ESA / Ed. ESA. 2012. V. ESA-SP-709, ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands. (CD-ROM).

4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Калашиникова Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного, Балтийского и Каспийского морей // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. С. 280. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

4.4.3 Микроволновые исследования нелинейной динамики морских волн с применением радиометрических, скаттерометрических комплексов и синхронной видео- и фотосъемкой высокого разрешения.

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Скворцов Е.И., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д.

Модернизация комплексов скаттерометрической и радиолокационной аппаратуры. Исследование связи характеристик рассеянного микроволнового излучения с параметрами возмущений, возникающих на морской поверхности в процессе макро- и микрообрушений поверхностных волн с применением радиометрических, скаттерометрических комплексов и синхронной видео- и фотосъемкой высокого разрешения.

Отв. исп.: к.ф.-м.н. Скворцов Е.И., к.ф.-м.н. Раев М.Д., отд.55

В 2012 г. исследования проводились по двум основным направлениям.

1. Проверка и совершенствование комбинированного метода радиолокационного измерения параметров течений при различных гидрометеороусловиях.

2. Построение карт течений в прибрежной зоне, прилегающей к Голубой бухте (Геленджик).

Комбинированный метод предполагает, что по измерениям, проводимым в традиционном режиме кругового обзора, делается предварительная оценка направления ветрового волнения. Собственно измерения параметров поверхностных течений выполняются в режиме неподвижной антенны, с фиксированными направлениями (как минимум – в двух) - вблизи определенного ранее направления ветрового течения, при значительном времени накопления по каждому азимутальному направлению. Спектральный анализ выполняется по полученным таким образом изображениям, построенным в координатах дальность – время (RPI-диаграммы) при длительности накопления 300–600 с. По отклонению полученного спектра от кривой, соответствующей дисперсионному соотношению, определяется проекция скорости поверхностного течения на выбранные фиксированные направления зондирования и последующее вычисление полной скорости и направления течения.

В ходе экспедиции с помощью двухполяризационной РЛС высокого разрешения с цифровым интерфейсом была проведена серия измерений поверхностных течений в различных погодных условиях. Из-за географических особенностей бухты при круговом обзоре для наблюдений был пригоден сектор приблизительно в 100° : юго-запад – юго-восток (140° – 240°). Соответственно измерения проводились при ветрах, дующих в этом секторе. Направление распространения морских волн, в основном, совпадало с направлением ветра. Скорость ветра при проведении экспериментов находилась в пределах 2–16 м/с, причём выбирались ситуации, когда ветер был относительно устойчив в течение 3–4 ч. По результатам измерений на дистанции 200–1500 м от лоатора построены приведенные ниже карты течений – направление и скорость, отражающие особенности гидрологии Голубой бухты и прилегающей к ней прибрежной зоны. Ниже представлены варианты таких карт, полученных при различных направлениях ветра для вертикальной (VV) поляризации.



Выводы

Обработка большого количества экспериментов при разных скоростях ветра и вычисление компонент поверхностных течений при использовании RTI-диаграмм, а также результаты обработки модельных RTI-диаграмм, построенных с учётом дисперсионного соотношения $k-\omega$ и заданных компонент скорости поверхностного течения, показали, что среднеквадратическая ошибка вычисления скорости течения составляет величину порядка 10 %.

Публикации

1. Раев М.Д., Скворцов Е.И. Комбинированный метод определения вектора скорости поверхностного течения с помощью двухполяризационного радиолокатора X-диапазона // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 292–297.

2. Раев М.Д., Скворцов Е.И. Дистанционные исследования течений в Голубой бухте (Геленджик) // 10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012: Сборник тезисов конференции. М.: ИКИ РАН, 2012. [Электрон. текст]. 1 CD-ROM.

3. Kravtsov Yu., Raev M.D., Skvortsov E.I. Detection of the sea surface currents by two-polarization X-band radar IKI-2 // Conference OMU. Szczecin, 11–14 October 2012: Abstract. 2012.

Микроволновая биоскаттерометрия морской поверхности. Микроволновая диагностика состояния морской поверхности, возмущаемой подводным потоком газовой мелкодисперсной среды

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Скворцов Е.И., канд. физ.-мат. наук Раев М.Д.

1. С целью приближения условий проведения модельных экспериментов к реальным продолжена модернизация лабораторной установки для измерения коэффициента поверхностного натяжения (КПН) поверхностных плёнок, образованных скоплением фитопланктона. В частности применён новый генератор мелкодисперсных пузырьков с диаметром 0,1–0,2 мм. Это позволило увеличить время взаимодействия клеток микроводорослей с пузырьками воздуха и увеличить массу выносимого на поверхность фитопланктона.

2. Для исследования механизмов изменения биофизических характеристик поверхностного слоя воды при воздействии на него потока газовых пузырей, всплывающих через насыщенную клетками фитопланктона толщу воды, были проведены измерения КПН органических плёнок, образованных на водной поверхности фитопланктоном различного видового состава. Было показано, что при одинаковых концентрациях фитопланктона и одинаковом времени воздействия на водную среду газовых пузырьков в зависимости от видового состава разброс уменьшения КПН изменялся от 2 до 10 мН/м и более. Для объяснения этого факта будут проведены дополнительные исследования.

Разработка точного решения математической теории дифракции сферической электромагнитной волны с произвольной диэлектрической постоянной для задачи теплового поглощения периодической водной поверхности.

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Кузьмин А.В., Селунский А.Б.

Дистанционные аэрокосмические методы сегодня играют определяющую роль в исследованиях Мирового океана. В свою очередь, микроволновые радиометрические измерения в дистанционном зондировании океана занимают одно из ведущих мест. С помощью микроволновой радиометрии удастся определять такие важнейшие параметры системы океан-атмосфера как температура поверхности океана, скорость и направление приповерхностного ветра, интегральные параметры влажности и содержания водяного пара в атмосфере и т. п. Все это требует постоянного исследования физических механизмов формирования поляризационных характеристик собственного и рассеянного микроволнового излучения шероховатой поверхностью.

Нами решалась задача дифракции плоской волны на периодической поверхности. Поля для падающей прошедшей и отражённой волн запишутся в виде бесконечных рядов по периоду модуляции границы. Для решения этой задачи был использован подход, основанный на разделении поляризаций. Падающая волна разбивается на две группы полей:

$$E_y, H_x, H_z, \quad (1)$$

$$H_y, E_x, E_z. \quad (2)$$

Компоненты волны (1) и (2) переходят в горизонтальную и вертикальную поляризации, соответственно, при нормальном падении. При этом группа (1) возбуждает прошедшую и отражённую волну с теми же компонентами полей (2) и соответственно группа (1) определяет цуг волн компонентами (2).

Следует отметить, что подобная терминология продиктована исключительно соображениями удобства и некоторой аналогии с формулами Френеля для плоской границы. Другими словами, нужно рассматривать дальнейшие выкладки как обобщение формул Френеля для синусоидальной границы и цуга волн. В дальнейшем будем именовать тройку компонент (1) горизонтальной поляризацией (ГП), а тройку (2) — вертикальной поляризацией (ВП).

При падении под произвольным углом для волны произвольной поляризации в среде возникают сразу две волны — вертикальной и горизонтальной поляризаций. При этом E_y компонента (в нашей геометрии) падающей волны (и, соответственно, H_x, H_z) возбуждают в среде E волну (горизонтальную поляризацию), а H_y , компонента падающей волны (и, соответственно, E_x, E_z) возбуждают в среде H волну (вертикальную поляризацию). В этом случае в среде распространяются обе волны, для которых коэффициенты разложения электромагнитных полей по плоским волнам B_n и C_n , существенно различны.

Расчет проходит по следующей схеме. Сначала по известным компонентам (H_y, E_x, E_z) падающей волны находятся коэффициенты разложения для вертикальной поляризации. Затем по компонентам (E_y, H_x, H_z) падающей волны находятся коэффициенты B_n и C_n для горизонтальной поляризации. Суммарные поля $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ находятся векторным сложением.

В качестве выводов, проделанных вычислений, отметим следующее. В работе развита теория взаимодействия плоско-поляризованной монохроматической электромагнитной волны с синусоидальной морской поверхностью. Получено точное решение волнового уравнения на синусоидальной границе вода – воздух для произвольной поляризации. Граничные условия на периодической поверхности разлагаются в ряды Фурье по пространственным гармоникам. После чего приравниваются коэффициенты при одинаковых экспонентах. Это приводит к бесконечномерной системе линейных уравнений, которая решается с любой выбранной степенью точности, в силу ее диагональной

сходимости. На основе полученного решения проведены расчеты коэффициента поглощения, излучения и радиояркостной температуры морской поверхности от различных параметров. Показаны резонансные особенности в коэффициентах излучения и поглощения. Максимальные эффекты связаны, как это и ожидалось, с вертикальной поляризацией излучения. Проведено сравнение полученных результатов с лабораторными экспериментами.

Исследования пространственного спектра гравитационно-капиллярного волнения морской поверхности по данным угловых радиометрических измерений.

**Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Кузьмин А.В.,
канд. физ.-мат. наук, доцент Садовский И.Н.**

В рамках выполнения работ по данному направлению в 2012 г. были рассмотрены следующие задачи:

1. Повышение точности метода Нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС) изучения пространственных характеристик ветрового волнения за счет обоснованного выбора используемой модели диэлектрической проницаемости морской воды (продолжение работ 2011 г.).

Как известно, для решения большинства задач пассивной радиополяриметрии наибольший интерес представляет не измеряемая приборами радиояркостная температура объектов, а определяемые по её значениям их строение и состояние, что неизбежно ведет к необходимости решения ряда обратных задач. Для этого требуется набор неких априорных знаний о влиянии на интенсивность собственного излучения всех дополнительных факторов, что эквивалентно наличию строгих аналитических зависимостей между параметрами излучающего объекта и радиояркостной температурой, которые на сегодняшний день не определены. Это объясняет попытки описания физических процессов радиоизлучения не строго аналитическими моделями, а некоторыми полуэмпирическими их аналогами, которых к сегодняшнему дню предложено достаточно большое количество. Однако, при существующем разнообразии моделей описания, встает проблема выбора той или иной модели, что является определяющим фактором при решении обратных задач, так как при использовании неадекватной модели, небольшие неточности в измеряемых величинах вызывают весьма существенные ошибки в величинах определяемых.

При решении большинства задач дистанционного зондирования океана, традиционно, выделяют три группы моделей, описывающих процесс формирования собственного радиотеплового излучения гладкой водной поверхности. К первой из них следует отнести модели, описывающие диэлектрические свойства морской воды, представляемой, в данном случае, в виде раствора NaCl. Вторая группа моделей, по сути, описывает процессы отражения/излучения электромагнитных волн на границе раздела океан – атмосфера. К третьей группе относятся модели, характеризующие процессы формирования собственного излучения атмосферы, а также параметры распространения электромагнитных волн в ней.

Следует отметить, что в отношении выбора того, или иного модельного представления, лишь для моделей второй группы достигнуто определенное согласие. Здесь, традиционно, используются коэффициенты отражения Френеля (для двух поляризаций, вертикальной и горизонтальной), связывающие амплитуды преломлённой и отражённой электромагнитной волны при прохождении через плоскую границу раздела двух сред с разными показателями преломления.

Однако, ни в отношении моделей первой, ни третьей групп аналогичного замечания сделать нельзя. Развитие теоретических сведений о физике соответствующих процессов и явлений, повышение точности современной измерительной техники и, как следствие,

появление все более новых и достоверных данных экспериментальных исследований приводит к постоянной трансформации используемых соотношений как в области описания диэлектрических свойств водной среды, так и учета атмосферного влияния.

Целью настоящей работы является анализ некоторых общепринятых моделей диэлектрической проницаемости (ДП) водной среды и их сравнение с данными экспериментальных измерений.

Общие подходы к описанию диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков

Общепринятой теорией релаксационных потерь однородных жидких диэлектриков является теория Дебая. Рассматривая молекулы жидкости в виде шарообразных структур обладающих одинаковыми временами жизни и постоянными дипольными моментами, а так же вращающихся под действием электрического поля в вязкой среде, он получил общеизвестное выражение для значения диэлектрической проницаемости жидкого диэлектрика:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}}{1 + i\omega\tau} - i \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}, \quad (1)$$

где ε_S — значение диэлектрической проницаемости на низких частотах; ε_{∞} — «оптическая» диэлектрическая проницаемость; ε_0 — диэлектрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$; σ — ионная проводимость; τ — время релаксации дипольного излучения диэлектрика. Одним из наиболее значимых модельных факторов является время релаксации τ , которое зависит от температуры жидкого диэлектрика. При заданной температуре величина τ постоянна, однако при изменении температуры диэлектрика имеет место некое распределение времен релаксаций по отдельно взятым диполям, которое имеет довольно сложный вид.

Учет этого фактора был произведен Коула-Коула: рассмотрев ситуацию при наличии двух времен релаксаций и обобщая её на случай множества времен релаксации, описываемого некоторой функцией плотности вероятности, они пришли к качественно иным зависимостям диэлектрической проницаемости от частоты:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_S - \varepsilon_{\infty}}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} - i \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где α — некий эмпирический параметр, характеризующий распределение времен релаксаций (распределение является физически адекватным при выборе значений параметра α в пределах от нуля до 0,05). Как видно из сравнения (1) и (2) при $\alpha = 0$, что соответствует равенству времен релаксаций, выражение (2) переходит в (1).

В последнее десятилетие все большую популярность приобретает, так называемая, двухчастотная модель Дебая, представленная, например, в работах [1, 2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_S - \varepsilon_L}{1 + i\omega\tau_1} + \frac{\varepsilon_L - \varepsilon_{\infty}}{1 + i\omega\tau_2} - i \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}, \quad (3)$$

где: τ_1 и τ_2 — первое и второе время релаксации; ε_L — диэлектрическая проницаемость на промежуточной (вспомогательной) частоте.

По замечанию авторов работ [1, 2], использование соотношения (3), наилучшим образом объясняет данные спутниковых исследований, полученных, в частности, с помощью SSM/I (Special sensor microwave/imager). При этом, введение второго времени релаксации, не позволяет рассматривать двухчастотную модель Дебая как, некоторого рода, компромисс между моделью Дебая и Коула-Коула, поскольку, как это было отмечено в статье [2], пока неизвестно, какой физический процесс лежит в основе данного явления.

Анализируемые модели диэлектрической проницаемости

Для анализа, в настоящей работе были выбраны аналитические модели ДП, представленные в таблице. Следует отметить, что данный список является далеко не

полным, однако в нем представлены все три типа моделей — Дебая, Коула-Коула и двухчастотная модель Дебая.

№	Автор(ы)	Источник	Форма записи	Условное обозначение
1	A.P. Stogryn	[3]	Модель Дебая	M11
2	A.P. Stogryn	[3] (с изменениями: $\varepsilon_0 = 5,0 + 0,04t$)	Модель Дебая	M12
3	A.P. Stogryn	[4]	Модель Коула-Коула	M21
4	Klein A., Swift C.	[5] с изменениями [6]	Модель Коула-Коула	M22
5	A.P. Stogryn, H.T. Bull, K. Rubayi, S. Iravanchy	[1]	Двухчастотная модель Дебая	M31
6	T. Meissner, F.J. Wentz	[2]	Двухчастотная модель Дебая	M32

Данные лабораторных исследований

В качестве опорных, в настоящей работе использовались данные сторонних экспериментальных измерений значений диэлектрической проницаемости водного раствора NaCl. Подробное описание экспериментальной установки, методик выполнения измерений и оценки их погрешностей могут быть найдены в [7]. Измерения проводились на основе экспериментального стенда отражательного типа для измерения ДП сильнопоглощающих жидкостей. Измерения были выполнены на трех различных частотах (9,5; 35,5 и 75,5 ГГц) и охватывали значительные диапазоны значений температур и солености. Так, в ходе измерений температура образца (водного раствора NaCl) изменялась от $-2,2$ до $80,0$ °С, а значения солености варьировались в пределах от 0 до 200 ‰. Вполне очевидно, что результаты описываемых исследований можно считать наиболее полными из известных в литературе с точки зрения охватываемых диапазонов солености и температуры. Это позволяет одновременно сравнивать результаты модельных предсказаний, вне зависимости от границ применимости той, или иной модели ДП. Кроме этого, оказывается возможность оценить адекватность моделей при возникновении случаев их некорректного использования. Последний аспект особенно важен при решении обратных задач, когда результат заведомо неизвестен и, в общем-то, говоря, может быть далек от пределов применимости задействованной модели.

Методика сравнения

Сравнения результатов модельных оценок действительной и мнимой частей ДП, выполненных в соответствии с моделями, представленными в таблице, с данными лабораторных измерений соответствующих величин, осуществлялось по следующему параметру:

$$P = \sum_{n=1}^N \left\{ \left(\varepsilon'_{\text{mod}} - \varepsilon'_{\text{exp}} \right)_n^2 + \left(\varepsilon''_{\text{mod}} - \varepsilon''_{\text{exp}} \right)_n^2 \right\}, \quad (4)$$

где суммирование осуществляется по всему набору измерений N , относящихся к одному, фиксированному значению солености или температуры. Таким образом, для каждой из анализируемых моделей осуществлялся расчет двух оценочных кривых в виде зависимостей $P(T)$ (от температуры) и $P(S)$ (от солености) для каждой из трех частот (9,5; 35,5 и 75,5 ГГц). Следует отметить, что при выполнении модельных расчетов использовались лишь те значения T и S водного раствора, для которых были выполнены экспериментальные исследования.

Результаты

Некоторые из полученных результатов представлены на рис. 4.4.3.1. В частности, представлены оценочные зависимости $P(T)$ (слева) и $P(S)$ (справа) для всех анализируемых

моделей ДП на трех фиксированных частотах. Важно, что на представленных графиках оставлены лишь те расчетные значения P , которые удовлетворяю условию $P < 500$. Для сравнения, такой результат может быть получен, например, в случае если расхождения между модельными и экспериментальными значениями ДП составляют 25 и более процентов. Не смотря на то, что разницу в 25 % нельзя считать приемлемой при решении большинства обратных задач, данное значение сохранено ввиду значительных расхождений модельных оценок и результатов эксперимента.

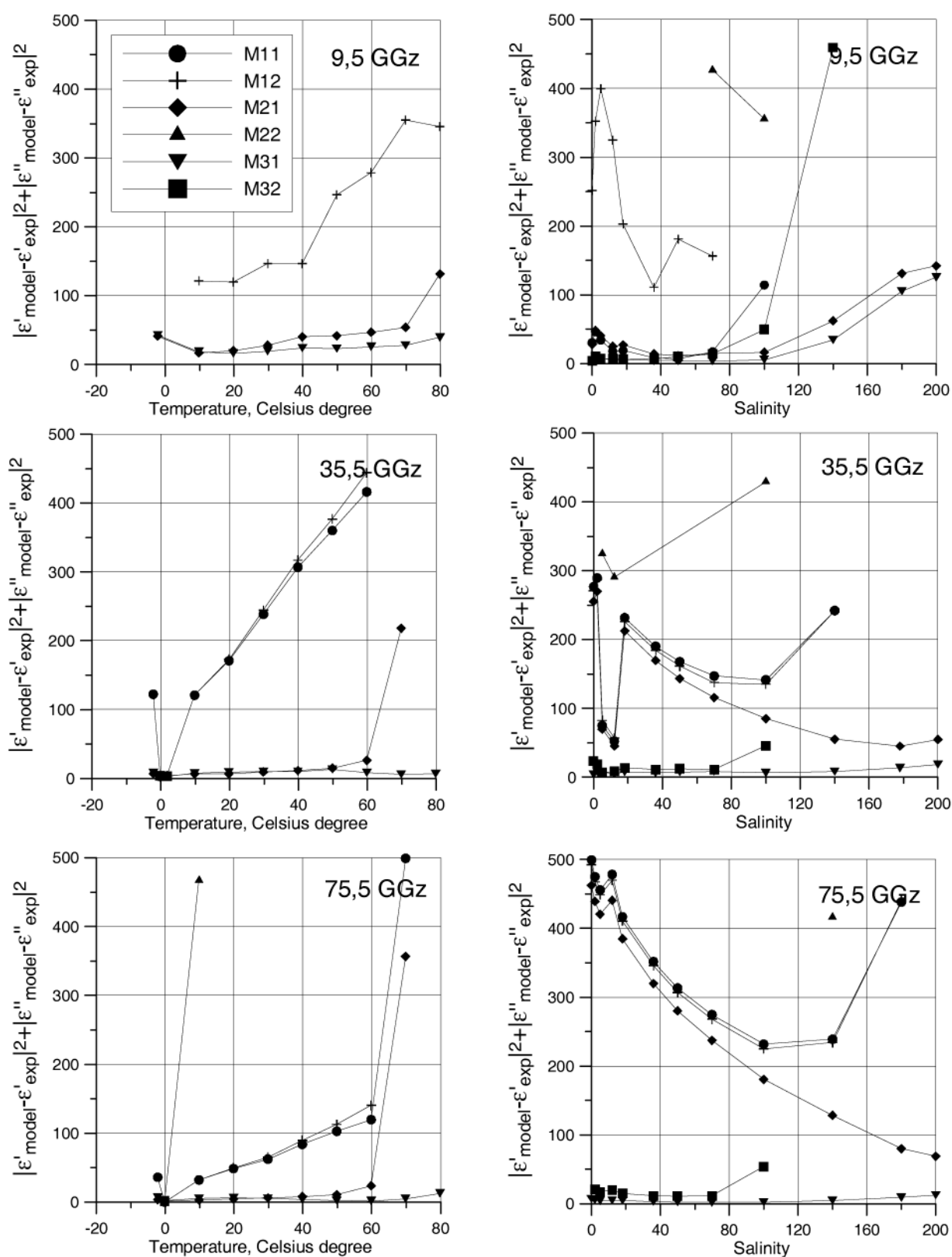


Рис. 4.4.3.1. Расчетные значения параметра оценки P близости данных экспериментальных измерений и модельных расчетов

В силу ограниченного объема данной работы, ограничимся лишь общей характеристикой представленных зависимостей:

- Как и следовало ожидать, многие аналитические модели, при выходе за пределы их применимости (как по температуре, так и по солености), дают заведомо ошибочные результаты.

Опираясь на результаты анализа, можно констатировать, что в большей степени, это утверждение применимо к модели М32.

- Наименьшие значения расхождений с экспериментом для всех участвующих в анализе моделей наблюдаются в области значений солености 30–40 ‰ и температур 10–20 °С. По всей видимости, объяснением данного факта является то, что большинство данных наблюдений, используемых при разработке и верификации аналитических моделей ДП, относятся к указанным интервалам.

- Наилучшие результаты демонстрирует модель М31. Практически во всем диапазоне температур и солености, значение оценочного параметра не превышает отметки 50 и уменьшается с ростом частоты. Данный результат является закономерным следствием малых расхождений данных экспериментальных измерений и модельных расчетов, не превышающих значения 10 % как для ε' , так и для ε'' .

Таким образом, опираясь на полученные результаты, можно заключить, что в настоящее время, не существует аналитической модели ДП, адекватно описывающей диэлектрические свойства морской воды. Как следствие – дальнейшее повышение точности анализа радиополяриметрических измерений вообще, и метода НРРС, в частности, напрямую зависит от возможности создания новой модели диэлектрической проницаемости в ближайшее время.

Литература

Stogryn A.P., Bull H.T., Rubayi K., Iravanchy S. The microwave dielectric properties of sea and fresh water // GenCorp Aerojet, Azusa, Calif., 1995.

Meissner T., Wentz F.J. The Complex Dielectric Constant of Pure and Sea Water from Microwave Satellite Observations // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2004. V. 42. N. 9. P. 1836–1849.

Митник Л.М. Физические основы дистанционного зондирования окружающей среды: Учебное пособие. ЛПИ, 1977.

Stogryn A. Equations for calculating the dielectric constant for saline water // IEEE Trans. Micr. Theor. Techn. 1971. V. 19. N. 8. P. 733–736.

Klein A., Swift C. An improved model for the dielectric constant of sea water at microwave frequencies // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1977. V. 25. N. 1. P. 104–111.

Александров Д.В. Верификация СВЧ-моделей диэлектрической проницаемости воды по данным угловых измерений собственного радиоизлучения в миллиметровом диапазоне длин волн: Препринт ИКИ РАН. М.: ИКИ РАН, 2002. Пр-2066. 36 с.

Ашеко А.А., Гордиенко В.Г., Стрельцина А.К., Шарков Е.А. Диэлектрические свойства водных электролитных систем. II. Частота 35,5 ГГц // Вестник ХНУ. Сер. Физическая «Ядра, частицы, поля». 2000. № 496. Вып. 4(12). С. 58–62.

2. Разработка пакета программ, позволяющих решать задачи восстановления параметров спектра ветровых ГКВ в режиме реального времени.

В условиях проведения натурных исследований особое значение приобретает возможность оценки получаемых результатов в режиме реального времени. Это позволяет не только исследовать зависимости измеряемых величин от сопутствующих параметров, но и оперативно вмешиваться в процесс измерений, внося коррективы в программу исследований и условия их проведения.

По этой причине, одной из актуальных задач усовершенствования метода НРРС стало обеспечение возможности применения метода при анализе данных натурных измерений в режиме реального времени. С этой целью, был разработан комплекс программных продуктов на языке программирования C++.

Конструктивно, программный комплекс состоит из двух частей: блока обработки и блока визуализации.

Блок обработки экспериментальных данных (рис. 4.4.3.2.) выполняет функцию мониторинга системы (режим «дежурства») на предмет поступления новых данных и, в случае их обнаружения, реализует процесс поиска определения параметров спектра ветровых гравитационно-капиллярных волн на основе метода НРРС.

Результатом работы блока является представление 10 вариантов решения задачи восстановления параметров спектра.

После окончания процедуры поиска решения, управление передается блоку визуализации (рис. 4.4.3.3.). Помимо представления восстановленных характеристик спектра кривизны и функции дисперсии уклонов волн (для всего набора полученных решений с выделением наилучшего), блок визуализации позволяет отслеживать статистику получаемых решений и контролировать уровень их ошибок (рис. 4.4.3.4.). Также предоставляется информация о метеоусловиях в момент проведения измерений — скорости и направлении ветра, температуре приповерхностного слоя атмосферы, давлении, влажности и т. д.

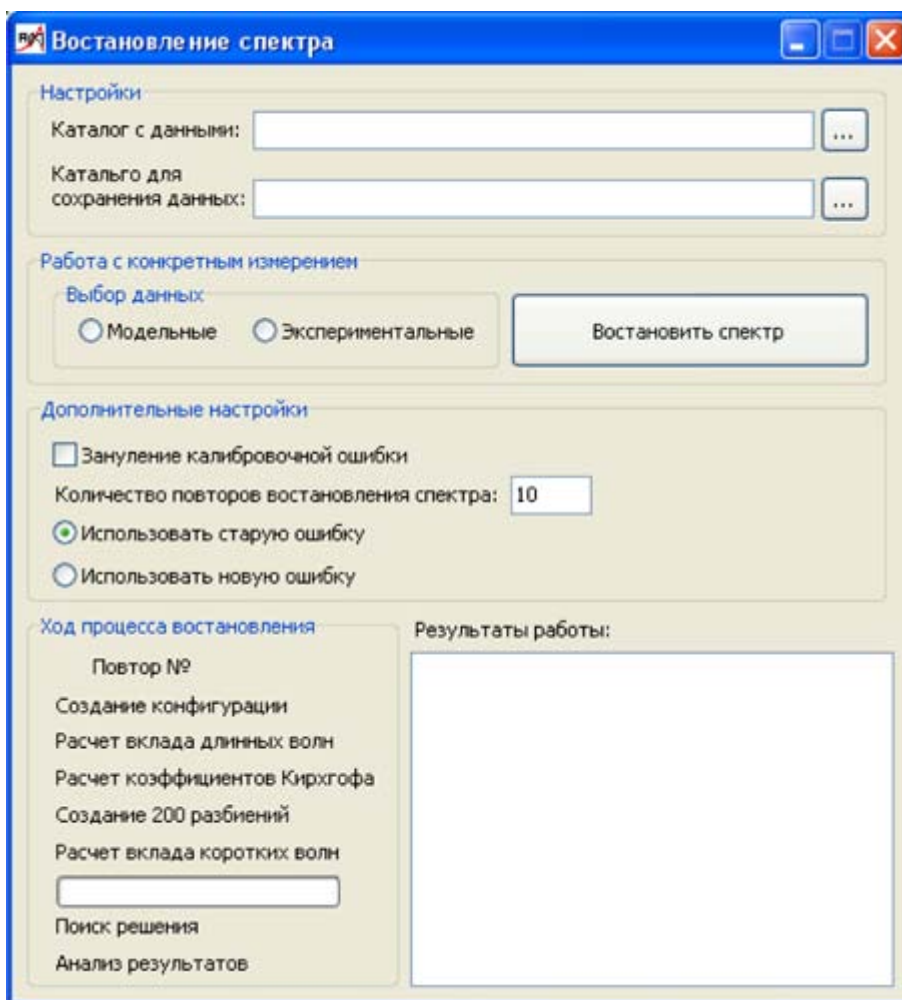


Рис. 4.4.3.2. Внешний вид рабочего окна программы обработки экспериментальных данных

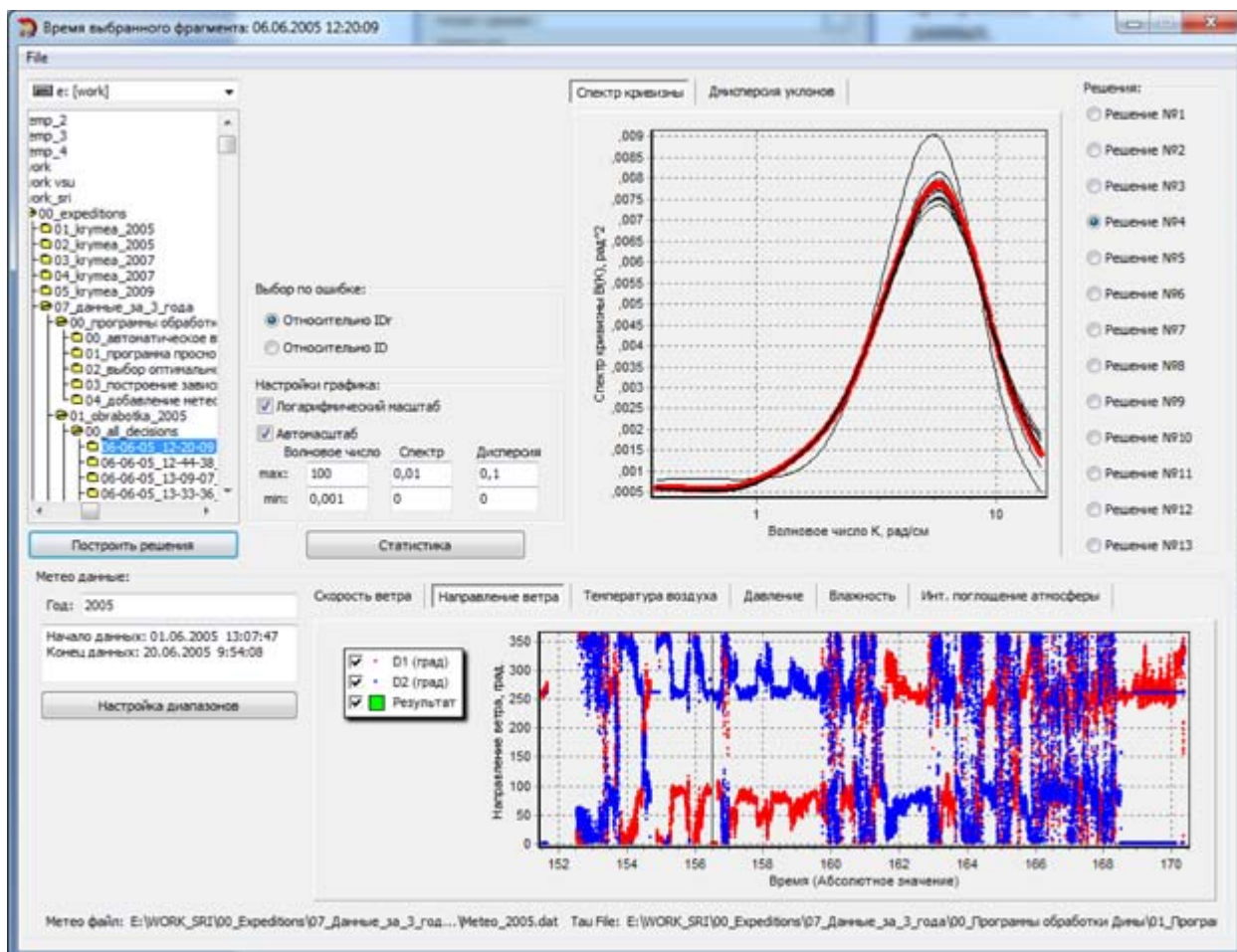


Рис. 4.4.3.3. Внешний вид рабочего окна программы визуализации

Статистика

Параметры входных данных:

	Длина волны	Поларизация	Поглощение атмос
Канал 1	0,8108	90	0,187642
Канал 2	0,8108	0	0,188804
Канал 3	0,8108	90	0,187642

Статистика решений:

Номер решения	dTbr_err_IDr	dTbr_err_ID	Variance	dTabs_sum_1/fn	dTabs_sum_2/fn	dTabs_sum_3/fn
1	5,08930419461903	5,08920419461905	0,004665394853	2,384368928	2,724644106	2,245855122
2	3,27238108111905	1,08911564211905	0,006391714741	0,3852939431	0,3282162313	0,2232274305
3	3,15945176047619	0,846530654309524	0,006510196905	0,2026111542	0,07227614941	0,1179055319
4	3,13222105423809	0,771209863357142	0,006698899681	0,1098255251	0,05219141969	0,02077677814
5	3,24881682978571	0,815840465921425	0,006920640553	0,1985775972	0,06382562256	0,1399281404
6	3,23243398216667	0,780406556942858	0,00725664936	0,04996691437	0,110884307	0,05376524775
7	3,26267081214286	0,778016399690476	0,007372404285	0,04598899238	0,04953921018	0,1306262322
8	3,286538557	0,746233161571426	0,007381942006	0,06009806427	0,07642202149	0,05174921102
9	3,29349668535714	0,747825806095238	0,007597069963	0,04900903562	0,02128962427	0,04435345567
10	3,31060761967857	0,74776246375	0,007582361157	0,03759732825	0,06518135131	0,009064886316

Рис. 4.4.3.4. Вызываемое окно блока статистики

РАЗДЕЛ 4.5. МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Отв. исп. д.ф.-м.н. Ерохин Н.С.

4.5.1 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных в целях исследования, мониторинга и прогноза состояний атмосферы, в том числе для выявления закономерностей формирования и ранней эволюции вихревых структур ТЦ в зональном ветре для тропической атмосферы Земли в области внутритропической зоны конвергенции и анализа структурных свойств электрической турбулентности в грозовой облачности.

Отв. исп. д.ф.-м.н. Ерохин Н.С., д.ф.-м.н. проф. Шарков Е.А.

1. Применение диагностического подхода, основанного на анализе спиральных и энергетических характеристик поля скорости, для обработки данных в других атмосферных численных экспериментах с использованием высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, а также применение данной методики для анализа данных натурных экспериментов и наблюдений за тропическими циклонами.

Были выполнены исследования, развивающие предложенный в 2011 г. "спиральный" сценарий зарождения и усиления тропических циклонов. Сценарий основан на особых свойствах спиральной турбулентности, в которой за счет подавления потока энергии к масштабам диссипации, существуют благоприятные условия для возникновения крупномасштабной вихревой неустойчивости.

На основе данных «почти облачно-разрешающего» (2-3 км по горизонтальным направлениям) численного атмосферного моделирования проведен количественный анализ процессов генерации спиральности на масштабах облачной конвекции и всей вихревой системы. Показана определяющая роль особых когерентных конвективных структур – вихревых горячих башен (Vortical Hot Towers) – в процессе генерации спиральности путем преобразования горизонтальных составляющих завихренности в вертикальную, сопровождающегося зацеплением вихревых линий. Обоснована ключевая роль этих конвективных структур в зацеплении горизонтальной и вертикальной циркуляций на масштабах всей системы и обеспечении целостности крупномасштабного спирального вихря на всех этапах его эволюции.

Практическая значимость полученных результатов связана с тем, что данный сценарий позволяет осуществить диагностику: (а) зарождения тропического циклона, (б) формирования вихря тропической депрессии, (в) двух разных стадий в эволюции крупномасштабного атмосферного вихря – зарождения и интенсификации – с помощью количественного анализа интегральных характеристик энергии и спиральности и набора гидро- и термодинамических полей.

При сотрудничестве с молодыми учеными-экспериментаторами из ИМСС УрО РАН (г.Пермь) поставлена задача и начаты исследования по лабораторному моделированию механизма генерации и усиления вертикальной составляющей завихренности за счет взаимодействия конвекции и крупномасштабного сдвигового течения, который был обнаружен в атмосферных исследованиях и играет определяющую роль в генерации ненулевой интегральной спиральности поля скорости при формировании тропических циклонов.

Работа поддержана РФФИ в рамках проекта № 10-05-00100

А.В. Евграфова, Г.В. Левина, А.Н. Сухановский. Генерация спиральности в адвективном потоке. Вестник Пермского университета. Физика. 2012, вып. 3 (выйдет в декабре 2012 г.)

Левина Галина Владимировна, к.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, galchonok2002@yahoo.co.uk

2. Анализ обобщенной масштабной инвариантности для электрической турбулентности в грозовой облачности

Как известно, ветровые потоки в интенсивных атмосферных вихрях типа тропических циклонов (ТЦ) обладают гидродинамической спиральностью, которая повышает их устойчивость и увеличивает время существования. Кроме того, в ТЦ имеются заряженные подсистемы, создающие большие напряженности электрического поля порядка 100 кВ/м, которые способствуют генерации в атмосфере ураганов и торнадо. Поэтому для корректного описания роли заряженных подсистем в формировании и последующей динамике спиральных ветровых потоков в мощном атмосферном вихре необходим анализ структурных характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности.

В работе на основе анализа структурных функций $S_m(L)$ представлены результаты исследования возможности обобщенной масштабной инвариантности электрической турбулентности для экспериментальных данных по вертикальному профилю электрического поля $E_z(z)$ в грозовой облачности на высотах $z < 13$ km. Рассмотрены инерционные интервалы электрической турбулентности, скейлинговые экспоненты, величины индекса Херста и куртозиса в них. В инерционных интервалах выявлены отклонения $S_m(L)$ от степенного скейлинга. Показано, что для интервалов малых и средних масштабов приближенно выполняется обобщенная масштабная инвариантность электрической турбулентности. Наблюдаемые отклонения скейлинга структурных функций, от соответствующего обобщенной масштабной инвариантности, объясняются наличием перемежаемости электрической турбулентности и когерентных электрических структур. Полученные результаты могут быть использованы для последующих оценок роли электрических подсистем в формировании самосогласованной, существенно неоднородной структуры ветровых потоков в ТЦ, при численном моделировании их нелинейной динамики с использованием схем параметризации, учитывающих электрические подсистемы вихрей. Это представляет интерес для дальнейшего развития методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов обработки экспериментальных данных

И.А.Краснова, Н.С.Ерохин, Н.Н.Зольникова, Л.А.Михайловская. Исследование с высоким пространственным разрешением структурных функций электрической турбулентности в грозовой облачности. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012, т.9, № 3, с.137-141.

И.А. Краснова, Н.С. Ерохин, Л.А. Михайловская. О возможности обобщенной масштабной инвариантности электрической турбулентности в грозовой облачности. XLVIII Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники. Тезисы докладов, Москва, РУДН, 2012, с.148-151.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru
Краснова Ирина Анатольевна, тел.8- 926-383-14-97, sungirl8@mail.ru

3. Построение теоретической модели, генерации тропических циклонов, содержащую термодинамику фазовых превращений атмосферной влаги и восточную волну.

Дистанционное изучение тропических циклонов (ТЦ) окружающей их геофизической среды занимает особое место в программах дистанционного мониторинга тропических возмущений. В первую очередь надо отметить задачи прогнозирования возникновения первичных форм возмущения и последующего перехода индивидуального первичного тропического возмущения в развитую форму ТЦ. При этом наблюдается образование мощной облачности, возникающей за счёт испарения пара с океана. Мощная облачная структура всегда характерна для ТЦ, поскольку именно фазовые превращения атмосферной влаги являются основным источником энергии тропических циклонов. На сегодняшний день построены модели, учитывающие термодинамику фазовых превращений в тропических облаках. Однако при построении теоретических моделей формирования ТЦ необходимо учитывать еще и несохранение массы водяного пара в облаке при конденсации влаги и выпадения значительного её количества в виде дождя. В данной работе рассматривается вопрос об образовании выпадении значительной жидкой фазы в виде капель из облака. В модели учитывается поток пара в вертикальном направлении при его испарении с океана. При этом существует также некоторый поток воздуха вверх. Рассматриваются стационарная и нестационарная задачи. Задача сводится к нелинейному дифференциальному уравнению в частных производных. В результате получена динамика плотности водности в облаке и её выход на стационарный уровень.

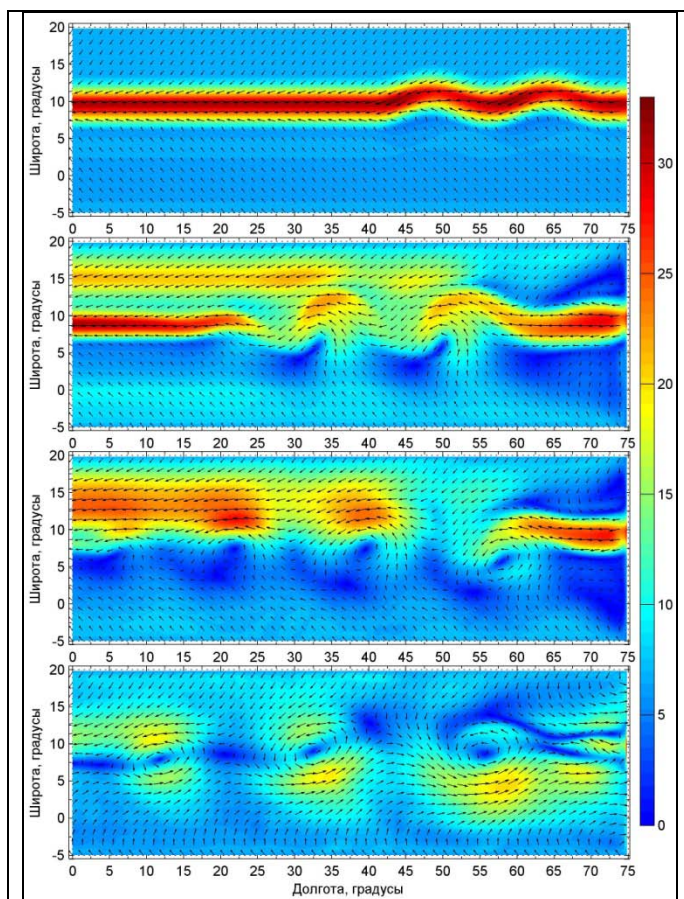
Руткевич П.Б. Нелинейная задача о вертикальном распределении водности в мощном облаке. // Десятая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012. Сборник тезисов конференции, 2012. С.219.

Руткевич П.Б. Стационарное распределение водности в мощном облаке при испарении с океана. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М. 2012, т.9, № 4, с.129.

Руткевич Петр Борисовч, д.ф.м.н., тел. 8-495-333-25-01, peter_home@tarusa.ru

4. Формирование вихревых структур циклонов и антициклонов в зональном ветре на основе численных расчетов уравнений газовой динамики с учетом фазовых переходов влаги. Интерпретация моделируемых структур зонального ветра на основе данных спутникового мониторинга атмосферы

В рамках полной системы уравнений газовой динамики исследуются механизмы формирования циклонических вихрей в тропической атмосфере Земли в области внутритропической зоны конвергенции. Трехмерная модель циркуляции атмосферы построена с учетом переноса инфракрасного излучения, фазовых переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда и с учетом оседания этих капель и частиц льда в поле силы тяжести. Область численного моделирования представляет собой часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности. В начальных и граничных условиях модели используются наблюдательные данные о структуре доминирующих воздушных потоков, формирующихся во внутритропической зоне конвергенции в периоды ее наибольшей термодинамической активности и неустойчивости. Показано, что циклонические вихри возникают при отсутствии вихря в начальный момент, но при наличии достаточно большого искривленного участка горизонтального сдвигового течения (во внутритропической зоне конвергенции) и только при учете вертикального и меридионального переноса теплых и влажных стратифицированных воздушных масс в начальных и граничных условиях. Кроме одиночных вихрей формируются также цепочки из нескольких вихрей (см. рисунок).



Последовательные моменты формирования и развития цепочки из трех циклонических вихрей.

На рисунках показано распределение горизонтальной составляющей скорости ветра (м/с) на высоте 600 м в начальный момент (вверху) и через 30, 60 и 90 часов (сверху вниз) после начала моделирования; стрелки указывают направление, а их длина и цвет фона — величину скорости ветра

Геометрическая конфигурация течения воздушных масс в районе внутритропической зоны конвергенции и форма возмущения существенно влияют на количество образовавшихся циклонических вихрей и на траекторию их движения после возникновения. Вихри могут двигаться на запад и на северо-запад. Отметим, что регистрируя по данным спутникового мониторинга появление искривленных участков внутритропической зоны конвергенции длиной 700 км и более, можно предсказать количество образующихся циклонических вихрей, которые могут со временем превратиться в тропические циклоны. Также можно предсказать районы образования этих вихрей и направление их движения в течение первых суток после образования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-01-00451.

Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Четкин В.М., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Влияние геометрии течения воздушных масс в области внутритропической зоны конвергенции на процесс формирования циклонических вихрей. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012, т. 9, № 4, с.154-161.

Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Четкин В.М., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Численное моделирование формирования циклонических вихревых течений в области внутритропической зоны конвергенции и их раннее обнаружение. // Космические исследования. 2012, т.50, № 3, с.242-257.

Астафьева Наталья Михайловна, д.ф.-м.н., в.н.с., тел.333-21-45, ast@iki.rssi.ru

5. Исследование нелинейной динамики крупномасштабного регионального циклогенеза на основе малопараметрической модели и ее зависимости от выбора

исходных параметров. Численные расчеты малопараметрической модели с учетом возможности вариаций скорости ветра в ТЦ в течение его жизненного цикла.

На основе системы связанных нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона, описывающих временную динамику мощных атмосферных вихрей типа тропических циклонов (ТЦ), продолжен анализ самосогласованной малопараметрической модели (МПМ) регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ) с учетом возможности вариаций скорости ветра в ТЦ. Численными расчетами подтверждено, что выбор исходных параметров задачи позволяет получить генерацию в активном сезоне конкретного региона заданное количество ТЦ с различающимися характеристиками вихрей и возможностью возникновения вариаций скорости ветра в течение его жизненного цикла. Амплитуда вариаций скорости ветра определяется величиной входящего в МПМ малого параметра. Подтверждена существенная чувствительность динамики циклогенеза к выбору параметров данной задачи.

Таким образом на основе обобщенной малопараметрической, нелинейной модели можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона. Предлагаемый подход к исследованию динамики РКЦ на основе МПМ с учетом экспериментальных данных по характеристикам тропических возмущений типа тайфунов позволит получить аналитическую модель сезонного хода интенсивности циклогенеза в конкретном регионе, что представляет большой научный и практический интерес в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений и моделирования их связей с другими процессами в период активного сезона, зависимости их характеристик от внешних факторов, в частности, космической погоды.

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Л.А. Михайловская, Р. Шкевов. Малопараметрическая модель регионального циклогенеза с вариациями скорости ветра в тропических циклонах. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012, т.9, № 2, с.214-219.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru

6. Анализ результатов численных расчетов по учёту влияния электромагнитной структуры ТЦ на поле скоростей и поле спиральности в ТЦ.

С учётом наличия больших заряженных областей и чётко детерминированной электромагнитной структуры ТЦ, проведены детальные оценки микродвижений, сопоставление действующих сил и механизмов поддержания структуры крупномасштабных движений в ТЦ и доказана важная роль в этих процессах электромагнитных сил. Проведён численный счёт системы ЭМГД-уравнений, описывающих изменение компонент скорости от начального чисто гидродинамического распределения при "включении" электромагнитной структуры ТЦ и фиксированном поле давлений (ранее была подготовлена программа расчетов в системе Mathematica). В качестве начальных значений в расчётах брались самосогласованные аналитические усреднённые гидродинамические характеристики ТЦ (характерные наблюдаемые величины в ТЦ), в качестве электромагнитных характеристик также были выбраны аналитические выражения, аппроксимирующие структуру усреднённых полей в ТЦ, и рассчитанные ранее распределения зарядов, плотности тока и магнитных полей. В результате оказалось, что все скорости очень быстро нарастают и начинают превышать изначально заданные величины. Это означает, что действие электромагнитных сил является не малой поправкой, а вносит существенный вклад в генерацию макродвижений и

поддержание фиксированной структуры ТЦ. Для описания режима насыщения необходимо учесть перераспределение давлений, вызванное этими силами. Для численных расчётов подготовлена соответствующая программа.

- **Артеха С.Н., Белян А.В., Ерохин Н.С.** О роли электромагнитных явлений в крупномасштаб-ных атмосферных процессах. Статья будет в декабре представлена в печать.

7. Генерация "теплового ветра" над неоднородно нагретой волнистой поверхностью Экспериментальные исследования турбулентных шумов обтекания и турбулентных источников гидродинамической помехи гидроакустических систем.

В рамках упрощенной аналитической модели исследована задача о стационарных конвективных течениях над неоднородно нагреваемой волнистой поверхностью. Показано, что периодический по горизонтали нагрев такой поверхности может приводить к эффекту "теплового ветра" – генерации однородного горизонтального потока вдали от поверхности. В целом, рассмотренная задача, близка задаче о склоновых ветрах и появление горизонтального движения обусловлено коллективным действием множественных гравитационных течений над грядой барханов. Оценка этого эффекта по натурным данным даёт следующие значения для скорости возникающего ветра. Разность температур между солнечной и теневой стороной бархана в условиях пустыни достигает в дневное время пиковых значений (20-25) °К при слабом среднем ветре (до 2-3 м/с) и падает до (7-10) °К при возрастании ветра до (6-10) м/с. Среднее значение для разности температур в течении дня можно принимать порядка 10 °К. Перепады высоты барханов находятся в среднем в диапазоне $\delta h = 2 \div 5$ м. При этом длина полуволны рельефа меняется от 30 до 70 м. Согласно полученным в работе соотношениям, получаем при $\delta T = 10$ °К, $\delta h \approx 2$ м, $\nu = 5$ м²/с, $\nu \approx 0.2$ м/сек. Для более значительных перепадов высот $\delta h \approx 5$ м (горизонтальный масштаб 70 м), $\nu = (1-5)$ м²/с получаем значения скорости теплового ветра $\nu \approx (0.9 \div 4.5)$ м/сек, но здесь мы уже выходим за рамки линейного приближения и требуется нелинейный анализ или численное моделирование.

Совместно с гидрофизическим институтом Академии наук Абхазии создан морской полунатурный стенд для экспериментальных исследований гидродинамической турбулентности в условиях глубокого моря. В состав морского стенда входит всплывающее устройство с регулируемой положительной плавучестью и аппаратурой для измерения гидродинамических шумов обтекания. Высокая скорость движения морского стенда относительно воды достигается исключительно за счет избыточной силы плавучести, действующей на всплывающее устройство при его всплытии с большой глубины. Внешне стенд выглядит как удлиненное тело вращения с обтекаемой носовой частью и кольцевым стабилизатором в его кормовой части. На основе морского стенда начата разработка автономной лаборатории, оснащенной датчиками турбулентных пульсаций давления, не оказывающими обратного влияния на изучаемый поток.

Основные параметры всплывающего устройства: длина (в зависимости от варианта сборки) от 6 до 14 м; диаметр цилиндрической части 0,65 м; скорость на участке установившегося движения (5÷25) м / с. Проведена модернизация береговой инфраструктуры для функционирования всплывающего устройства. Разработана тросовая дорога, обеспечивающая заглубление всплывающего устройства на заданную глубину. Начато экспериментальное моделирование турбулентных источников гидродинамических шумов обтекания при высоких значениях числа Рейнольдса в условиях глубокого моря. Обобщение и приложения полученных результатов позволят существенно повысить эффективность прогнозирования и управления турбулентным шумом обтекания быстро

движущихся транспортных средств. Результаты представляют интерес для движения тел как в океане, так и в атмосфере.

Работа поддержана РФФИ, грант 11-08-90300 (2011-2012 г.г.).

Публикации

О.Г. Чхетиани, М.В. Калашник, Л.Х. Ингель. Генерация "теплового ветра" над неоднородно нагретой волнистой поверхностью. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2013, т.49, № 2 (Принято в печать.)

Е.Б. Кудашев, Г.В. Кенегсбергер. Экспериментальные исследования турбулентных пульсаций

давления в условиях глубокого моря. // Ученые записки Казанского университета. Серия Физ.-мат. науки, 2012 т.154, кн.3.

Е.Б.Кудашев, В.А. Колышницын, В.П. Маршов, В.М.Ткаченко, А.М. Цветков. // Экспериментальное моделирование гидродинамических шумов обтекания на автономной морской лаборатории. // Акустический журнал. 2013, т.59, № 2.

Чхетиани Отто Гурамович, д.ф.-м.н., тел.8-495-333-22-23, ochkheti@mx.iki.rssi.ru

Кудашев Ефим Борисович, д.т.н., тел.8-495-333-12-34, kudashev@iki.rssi.ru

4.5.2 Разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных, средств исследований в целях мониторинга состояния атмосферы, в том числе методик дистанционного определения характеристик облачности кучевых форм и облачности верхнего яруса на основе данных измерений собственного ИК-излучения и отраженной солнечной радиации.

Отв. исп. _____

1. Исследование характеристик атмосферного аэрозоля на основе анализа характеристик рассеяния солнечного света в атмосфере Земли

С 2011 года проводятся систематические поляризационные измерения фона сумеречного и ночного неба широкоугольной камерой с полем зрения около 140 градусов в высоких слоях атмосферы (60 ÷ 90) км. Была обнаружена деполяризация однократного рассеяния выше 75 км, связанная с пылевыми частицами, вторгающимися в атмосферу из космоса, а также показано, что измерения позволяют оценивать температуру мезосферы на различных высотах и в период светлых сумерек дают информацию о функции рассеяния тропосферного аэрозоля. На основе спектральных исследований антарктической стратосферы и спектроскопии Луны во время полного лунного затмения 10 декабря 2011 года оценено содержание озона, диоксида азота и водяного пара в нижней стратосфере (высота 10 ÷ 12) км, причем оценка озонового поглощения превышает по точности существующие измерения для этого слоя.

Угольников О.С., Маслов И.А., Короткий С.А. Спектральная и пространственная зависимость аэрозольного ослабления света в верхней тропосфере на основе фотометрии Луны в тени Земли. // Космические исследования, 2012, т.50, № 5, с.366-372.

Угольников Олег Станиславович, 8-495-333-40-11, ougolnikov@gmail.com

2. Мониторинг рентгеновского фона естественного происхождения

В течение 2011-2012 гг. на базе Института технологии аэронавтики (ITA José dos Campos, SP, Brazil) производился мониторинг γ -излучения естественного происхождения.

Наблюдаемые суточные вариации интенсивности связаны с соответствующими вариациями температуры поверхности и атмосферы. Значительные возрастания интенсивности во время осадков объясняется вымыванием дочерних продуктов распада радона из дождевых облаков. Результаты измерений хорошо согласуются с выполненными расчетами.

I.M. Martin, U. Jayanthi, M.A. Alves, A. Gusev, G. Pugacheva. Natural radiation monitoring in Sao Jose dos Campos, SP, Brazil, Abstracts The Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA-2012) conference, 9-11 July, 2012, Moscow, Russia, p.42.

Гусев Анатолий Александрович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-30-45, vpan-iki@yandex.ru

3. Развитие методов дистанционного определения характеристик облачности кучевых форм и облачности верхнего яруса на основе данных измерений собственного ИК-излучения и отраженной солнечной радиации. Проработка и адаптация алгоритмических средств для задач определения профилей атмосферных метеопараметров и содержания малых газовых составляющих по данным спутникового зондирования.

Проведена проверка работоспособности пороговых критериев идентификации фазового состава слоистых форм облачности верхнего яруса для различных условий: - облачности перистых форм, образующихся в областях фронтальных зон; - для тропических штормов различной мощности; - в зонах внутритропической конвергенции в результате ветрового разрыва наковален мощной кучевой облачности и ветрового выноса верхнего слоя; - в зонах струйных течений. Определен диапазон интенсивности уходящего излучения, соответствующий максимальной разности радиационной температуры в области спектра 8,5 мкм и 11 мкм, который для ледяных облаков верхнего яруса составляет 244-246 °К. Использование пороговых значений для идентификации форм облачности верхнего яруса зависит от мощности облаков и их оптической толщи.

Предложен метод определения высоты нижней границы кучевой облачности, основывающийся на пространственном разделении изображения, образованного рассеянием и отражением солнечного излучения от самого облака и от изображения тени облака на земной поверхности. При реализации метода используется выбор спектральных диапазонов, обеспечивающий контраст тени облаков на поверхности. В частности, метод может применяться для разделения бликов и теней в условиях солнечной дорожки на морской поверхности. Метод апробирован на материалах измерений радиометра Modis, установленного на спутниках Aqua и Terra. Сопоставление данных определения высоты нижней границы кучевой облачности этим методом и высотных профилей метеорологических параметров показывает, что расхождение находится в пределах, эквивалентных размеру разрешаемого пиксела.

Проведен анализ содержания окиси углерода (CO) в атмосфере над центральными и восточными регионами России в период июнь – сентябрь 2012 г., которое значительно увеличивается вследствие многочисленных длительных пожаров на обширных территориях. Источником данных о содержании CO в атмосфере являются спектры ИК излучения в диапазоне полосы поглощения CO в спектральной области 1980 - 2300 см⁻¹, измеряемые с помощью спектрометра AIRS на спутнике Aqua. Значительное увеличение CO вызывается неполным сгоранием органики при ограниченном доступе кислорода. Подпочвенные пожары торфяников и пожары на низменных уровнях в районах вечной мерзлоты соответствуют этим условиям в полной мере. Увеличению содержания и

накоплению СО в атмосфере способствует особенность циркуляции воздушных потоков, образующих дымовые шлейфы, в которых концентрируются продукты сгорания отдельных источников пожаров. Временное и пространственное накопление содержания СО усиливается в условиях циркуляции дымов с воздушными потоками по замкнутому контуру в циклонических условиях. Для районов Западной Сибири и Якутии увеличение общего содержания СО в атмосферном столбе относительно фоновому уровню в этих условиях составило 4-5 раз.

Продолжены исследования поля вариаций восходящего излучения системы «атмосфера - земная поверхность» по материалам Международного многоуровневого эксперимента "Карибэ - 88", которые направлены на изучение возможностей дистанционной дифференциации и идентификации компонентного состава САП по измерениям в оптическом диапазоне длин волн. Проведена проверка применения результатов исследований поля вариаций восходящего излучения САП для дистанционного восстановления поглощения водной поверхности в области 570 нм. Восстановление индекса поглощения вдоль трассы протяженностью 75 км по вариациям восходящего излучения с использованием биспектрального подхода характеризовалось средними значениями $R_{cp} = 0,14$ при коэффициенте вариаций $k_v = 0,71$. Анализ распределений восстановленного поглощения позволяет предполагать, что точность восстановления индекса, была не хуже 0,05.

Продолжены работы по совершенствованию прогнозно-ситуационной модели разлива нефтепродуктов на водной поверхности по материалам аэрокосмических наблюдений. Проведены работы по оценке работоспособности прогнозной модели, в т.ч. по разливу в Мексиканском заливе и валидации с привлечением спутниковых и буйковых измерений.

Е.В. Егоров, Ю.А. Палатов, К.А. Бычков, А.В. Николаев, Н.А. Князев. Средства дистанционного зондирования окружающей среды в решении задач радиационной, химической и биологической разведки. II Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы военной геофизики и контроля природной среды", СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012.

Е.В. Егоров, Ю.А. Палатов, Ю.А. Климентьев, К.А. Бычков, А.В. Николаев, Н.А. Князев. Дистанционное зондирование Земли из космоса- перспективное направление развития средств химического мониторинга в интересах обеспечения национальной химической и биологической безопасности России. II Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы военной геофизики и контроля природной среды", СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012.

Н.А. Князев, С.А. Втюрин, Е.В. Егоров, Ю.П. Кулешов, В.П. Мисник, Ю.А. Палатов. Космический сегмент контроля экологической, радиационной и химической обстановки. II Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы военной геофизики и контроля природной среды", СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012.

Н.А. Князев, Л.М. Зеленый, Ю.П. Кулешов, В.П. Мисник, А.А. Петрукович. Спутниковый комплекс средств контроля и прогноза гелиогеофизической обстановки (Проект "Космическая погода"). II Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы военной геофизики и контроля природной среды", СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012.

Городецкий Александр Константинович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-32-12, gora@mx.iki.rssi.ru
Князев Николай Александрович, тел.8-495-333-51-66, nknyazev@iki.rssi.ru

4. Продолжение создания баз данных по тропическим циклонам. Данные по вариации максимальной скорости ветра в ТЦ.

Информационная поддержка интегрированных научных исследований

Проведен анализ данных по ветровым потокам в ТЦ. В частности, для урагана Катрина получено, что в этом урагане вариации скорости ветра практически отсутствуют, зависимость скорости ветра от времени в течение жизненного цикла данного ТЦ имеет однокорную форму.

Выполнены теоретические исследования, направленные на создание цифровой инфраструктуры, реализующей концепцию формирования спутникового архива, обеспечивающего непрерывный доступ к спутниковым данным и их длительное хранение информационных ресурсов и региональном Центре спутникового мониторинга. При выработке требований к электронной инфраструктуре, обеспечивающей ее реализацию, необходимо учитывать как собственный опыт регионального спутникового центра по работе с пользователями, так и основные мировые тенденции Digital Preservation и Permanent Access применительно к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Одним из важных направлений исследований является задача создания глобальных распределённых систем, позволяющих пользователю проводить эффективный поиск ресурсов, получать информацию о наличии определённых данных у конкретных спутниковых центров и непрерывно получать эти данные. Особенностью цифровой инфраструктуры является возможность обеспечить пользователю доступ к интересующим его ресурсам через единый интерфейс, вне зависимости от физического расположения регионального спутникового центра. Совместно с Научным Центром аэрокосмических исследований Института Геологии НАН Украины исследованы принципы построения сетевой инфраструктуры для долговременного хранения, доступа и использования пространственных данных. Предложена архитектура объединенной электронной Инфраструктуры информационных ресурсов для оптимизации процедур решения ряда тематических задач ДЗЗ и принятия решений в по устойчивому развитию территорий на основе потенциала веб- и ГИС-технологий. Электронная инфраструктура информационных ресурсов обеспечивает информационную поддержку фундаментальных и прикладных научных исследований в области физики океана и атмосферы, океанологии и экологии. Результаты представляют интерес для информационной поддержки интегрированных научных исследований как в океане, так и в атмосфере.

Работа поддержана РФФИ, гранты 11-07-00006 (2011-2013) и 11-07-90404 (2011-2012)

E.B. Kudashev. Science Data Infrastructure for Access to Earth Observation Satellite Data // Russian Digital Libraries Journal. 2012. Volume 15. Issue 1.

М.А. Попов, Е.Б. Кудашев, С.Ю.Марков, М.В. Топольницкий, С.А. Станкевич. Принципы построения объединенной е-Инфраструктуры геоинформационных ресурсов для оптимизации процедур решения тематических задач ДЗЗ. // Российский научный Электронный журнал "Электронные библиотеки". 2012. Т. 15. Вып.4.

Лазарев Андрей Алексеевич, к.ф.м.н., тел.8-495-333-41-67, feliscatus@mail.ru

Кудашев Ефим Борисович, д.т.н., тел.8-495-333-12-34, kudashev@iki.rssi.ru

5. Разработка метода определения микрофизических свойств рассеивающих объектов двухпозиционными схемами зондирования. Разработка полного сценария первичной калибровки лидара с использованием приемного канала с квантовым счетчиком.

Предложен метод метрологического обеспечения измерений с помощью экрана со случайной модуляцией коэффициента пропускания (СМКП). Установив перед приемным каналом СМКП экран, можно увеличить поле зрения на заданную величину. Зная сигнал обратного рассеяния без СМКП экрана и при его наличии, можно определить, насколько изменился сигнал при заданном увеличении поля зрения и затем определить эффективный угловой размер ореола вокруг пучка. Угловой размер ореола является измеряемым

параметром непосредственно связанным с эффективным размером статистических неоднородностей. Предложенный метод является перспективным для миниатюрного микрожоульного (ММД) лидара, так как появляется качественно иной подход в метрологическом обеспечении измерений в отличие от обычных лидаров. Принципиальным отличием является то, что сигнал обратного рассеяния для ММД лидара сосредоточен в ближней зоне. Это делает необходимым применение СМКП экрана для определения формы сигнала обратного рассеяния из чистой атмосферы, контроля взаимной ориентации оптических осей приемного и передающего каналов, а так же микрофизической калибровки.

Г. П. Арумов, А. В. Бухарин, И. М. Сирота. Использование экрана со случайной модуляцией коэффициента пропускания в задаче метрологического обеспечения измерений миниатюрным лидаром упругого рассеяния. Труды Третьей российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения [Электронный ресурс]: труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12.— Электрон. дан.— М.:ИПУ РАН, Москва, 16-19 апреля 2012 г. — 1 USB накопитель. Секция 7. элементы и устройства автоматики. Стр 000891-000896. ISBN 978-5-91450-100-3.

Арумов Герггий Петрович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-31-33, arumov@iki.rssi.ru

Бухарин Алексей Владимирович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-32-01, tumbul@iki.rssi.ru

4.5.3 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы, в том числе для выявления долгопериодических (10-100 лет) вариаций, развитие моделей для описания колебаний КС и зависимости от внешних факторов

Отв. исп. _____

1. О возможности резонансного взаимодействия солнечной активности и климатической системы.

В опубликованных до настоящего времени работах предположения о возможности связи между солнечными и климатическими вариациями основываются либо на корреляции между этими вариациями, либо просто на присутствии в климатической вариации периодов близких к фундаментальным солнечным. Подобный подход, однако, мало помогает в выявлении возможного физического механизма, который мог бы связывать вариации. В настоящей работе применён другой подход – наблюдаемая климатическая вариация связывается с солнечной через уравнение вынужденных колебаний, в которой внешняя сила (солнечная вариация), описываемая реальной вариацией числа солнечных пятен, воздействует на предполагаемую собственную климатическую вариацию синусоидальной формы. Таким образом, в работе механизмы внешнего и внутреннего происхождения климатических вариаций рассмотрены не как альтернативные, но взаимодополняющие: близость периодов солнечных и климатических вариаций объясняется воздействием солнечной активности на климатические осцилляции, имеющие собственные частоту близкую к частоте вариации солнечной активности. Результаты модельных расчётов для различных частот собственных климатических колебаний сравниваются с наблюдаемыми вариациями уровня осадков в Форталезе (Бразилия), определяемыми динамикой внутритропической зоны конвергенции. Показано, что уравнение хорошо воспроизводит междесятилетние и десятилетние вариации уровня осадков в предположении существования собственных климатических колебаний с периодом в 31,7 года и 13 лет соответственно. Для всего 160-летнего

периода наблюдений (1849-2010 гг.) уравнение воспроизводит нерегулярные сдвиги фазы в десятилетней вариации уровня осадков, а также опрокидывание фазы и увеличение амплитуды и продолжительности периода междесятилетней вариации, следующее за таким же увеличением в соответствующей вариации числа солнечных пятен во второй половине прошлого века. Полученный результат позволяет предполагать, что наблюдаемые в ряде случаев нерегулярные сдвиги фаз между солнечными и климатическими вариациями объясняются влиянием вариаций солнечной активности на собственные осцилляции климатической системы. Наличие таких нерегулярных сдвигов фаз рассматривается как один из основных аргументов против существования причинно-следственной связи между солнечными и климатическими вариациями. Результаты работы указывают на возможность преодоления этого противоречия, а также являются дополнительным аргументом в пользу существования собственных климатических осцилляций.

A.A.Gusev, I.M. Martin. On possible relation between Inter-Tropical Convergence Zone location and the solar cycles, *Sun and Geosphere*, 2012, v 7, No 1, pp, 57-61, ISSN: 1819-0839

A.A. Gusev, I.M. Martin. Possible evidence the of resonant influence of solar forcing on the climate system, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2012, DOI: 10.1016/j.jastp.2012.01.008, ISSN: 1364-682

Гусев Анатолий Александрович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-30-45, vpan-iki@yandex.ru

2. Разработка критериев совместного анализа данных спутникового дистанционного зондирования поверхности океана и прилежащего к ней слоя атмосферы в различных диапазонах электромагнитного спектра и создание методик извлечения взаимодополняющей геофизической информации.

Продолжены работы, направленные на разработку критериев совместного анализа данных спутникового дистанционного зондирования поверхности океана и прилежащего к ней слоя атмосферы в различных диапазонах электромагнитного спектра при помощи различных сенсоров, установленных на различных специализированных спутниках дистанционного зондирования Земли, и создание методик извлечения взаимодополняющей геофизической информации. В ходе работ по спутниковому космическому мониторингу внутренних морей (Балтийское, Черное и Каспийское) отдельное внимание уделялось изучению влияния атмосферных воздействий на уверенное детектирование пленочных загрязнений морской поверхности при помощи спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой.

Выявлено, что для тестового региона юго-восточной части Балтийского моря основным фактором, затрудняющим уверенное детектирование пленочных загрязнений на спутниковых радиолокационных изображениях, являются активные атмосферные процессы, протекающие в этом регионе и приводящие к весьма значительным вариациям поля приповерхностного ветра. Усложнение гидрометеорологических условий – усиление или ослабление приводного ветра (штиль, ветровая тень), выпадение интенсивных осадков, прохождение резких атмосферных и ветровых фронтов, появление внутренних волн атмосфере – все это затрудняет уверенное распознавание пленочных загрязнений, зачастую повышая вероятность «ложной тревоги». Безусловно, атмосфера прозрачна для радиолокационного сигнала, и явления, происходящие в ней, отражаются на радиолокационных изображениях только как неоднородности в поле мелкомасштабного волнения морской поверхности. Пространственные вариации мелкомасштабных ветровых волн, связанные с аэродинамическими возмущениями, проявляются в РЛИ в виде пространственных неоднородностей в распределении интенсивности рассеянного сигнала. Наши наблюдения показали, что радиолокационные образы атмосферных явлений в этом

регионе занимают большую часть площади практически каждого РЛИ, а обусловленные ими вариации интенсивности радиолокационного сигнала достаточно высоки, что зачастую приводит к невозможности идентификации пленочных загрязнений (см. рисунок ниже).



Mityagina Marina, Lavrova Olga, Kostianoy Andrey. Long Term Satellite Monitoring of the Oil Spillages in the South-Eastern Baltic Sea. // Proc. 4th International Workshop SeaSAR 2012. 18-22 June 2012. Tromsø, Norway, ESA / Ed.: ESA. 2012. V. ESA-SP-709 (CD-ROM), ESA Publications Division, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands.

Митягина Марина Ивановна, к.ф.м.н., тел.8-495-333-50-78, mityag@mx.iki.rssi.ru

РАЗДЕЛ 4.6. МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ

Отв. исп.к.ф.-м.н. Форш А.А.

Разработка методов и средств повышения качества синтеза и радиометрических свойств изображений приборов МСУ-100 и МСУ-50 на КА "Метеор-М" №1 и №2.

Отв. исп. Полянский И.В.

Количественная оценка характеристик наблюдаемых объектов по аэрокосмическим изображениям требует абсолютной радиометрической калибровки съемочной аппаратуры.

В состав Комплекса многозональной спутниковой съемки на функционирующем в настоящее время КА Метеор-М» №1 и на готовящемся к запуску КА «Метеор-М» №2 входят две трехканальных камеры МСУ-100 и одна трехканальная камера МСУ-50. Приборы МСУ-100 имеют разрешение около 60 м и спектральные каналы, оптимизированные для исследований суши. Разрешение приборов МСУ-50 составляет около 120 м, а их спектральные каналы оптимизированы для исследований водных объектов.

Указанные приборы прошли наземную радиометрическую калибровку. После запуска КА Метеор-М» №1 по результатам измерения яркости типичных природных объектов было обнаружено отклонение чувствительности приборов МСУ-100 и МСУ-50 от

результатов наземных калибровок, что можно объяснить изменением температуры приборов, воздействием радиации и «атмосферы» вокруг КА.

Была разработана методика полетной калибровки приборов МСУ-100 и МСУ-50, которая включает:

- привязку темнового уровня сигнала по «темновым» элементам в начале ПЗС-линеек камер;
- коррекцию абсолютной чувствительности каналов приборов КМСС путем их кросс-калибровки со спектрорадиометром MODIS на КА Terra по снежным полям в Антарктиде.

Спектрорадиометр MODIS является адекватным эталоном для кросс-калибровки, поскольку точность его калибровки поддерживается на уровне ~5% за счет использования внутренних калибровочных источников, а также благодаря обширной программе подспутниковых измерений. Эта точность подтверждена рядом независимых исследований.

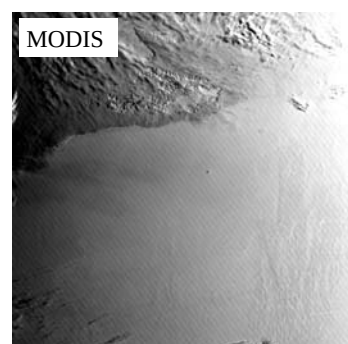
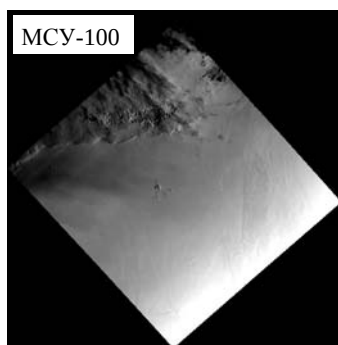
Разработанная методика кросс-калибровки приборов КМСС со спектрорадиометром MODIS по снежным полям Антарктиды учитывает различие спектральных зон приборов, а также возможное различие углов наблюдения и высоты Солнца (разность по времени наблюдений КМСС и MODIS может достигать 1,5 час.). Достигнутая в результате точность абсолютной калибровки приборов КМСС оценивается в 7–8%.

В течение года после кросс-калибровки проверка калибровки приборов КМСС проводилась по независимым объектам:

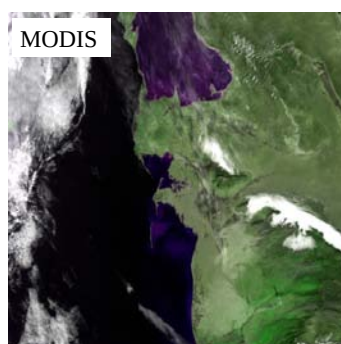
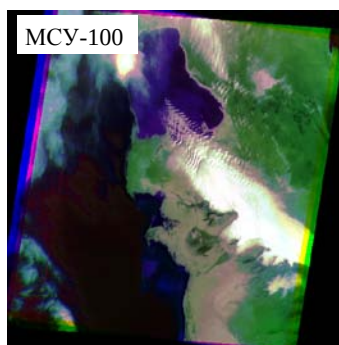
- снежным полям Антарктиды (отличным от использованных при калибровке),
- почвенно-растительным объектам на полуострове Крым,
- Туркменским пустыням,
- водам Черного и Каспийского морей.

Получено, в целом, хорошее соответствие коэффициентов спектральной яркости, измеряемых по данным КМСС и MODIS (см. рисунок). Единственным существенным отличием является повышенный коэффициент спектральной яркости (КСЯ) снега в канале 0,7-0,9 мкм МСУ-100/КМСС, что объясняется тем, что в данном канале наблюдения проводились вблизи направления обратного рассеяния (съемки в подобных условиях, когда для шероховатых поверхностей наблюдается «обратный блеск», при калибровках не учитываются).

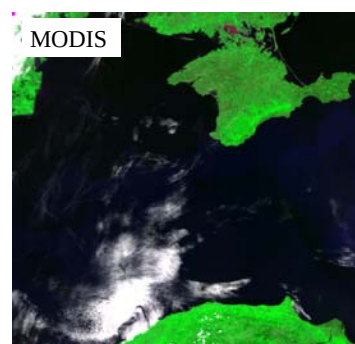
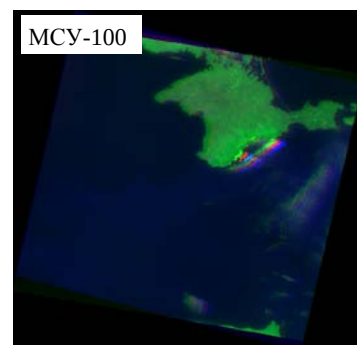
Продолжаются работы по кросс-калибровке камер КМСС и МСУ-МР на КА «Метеор-М» №1, а также сопоставление данных КМСС с результатами подспутниковых измерений КСЯ на наземных полигонах Украины.



Антарктида, 25 декабря 2011 г.



Туркменские пустыни, Каспийское море, 17 января 2012 г.



Крым и Черное море, 13 июня 2012 г.

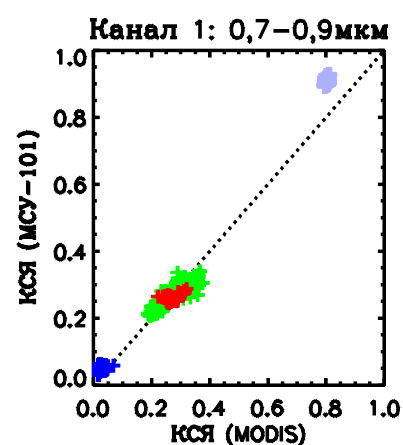
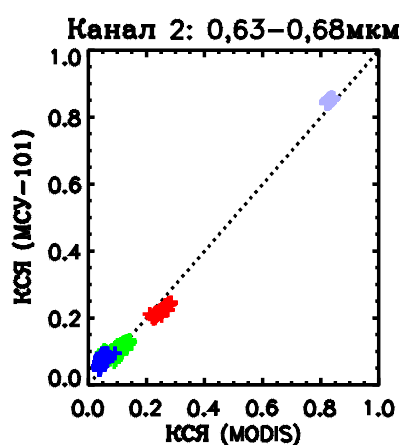
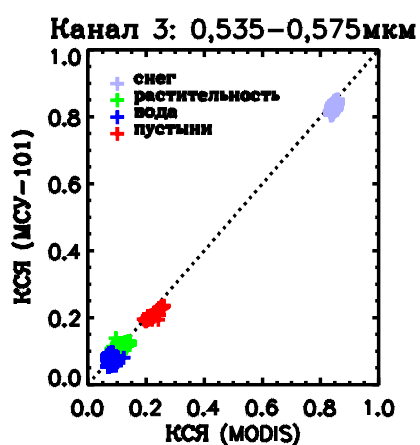


Рисунок – Тестовые участки, по которым проводилась проверка кросс-калибровки МСУ-100/КМСС (прибор №1) и MODIS, и сопоставление значений КСЯ, измеренных указанными съемочными системами