

Тема «Мониторинг»

Основные результаты

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

Научный руководитель проекта:

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»	Полянский И.В.
«Мониторинг-Инфраструктура»	к.ф.-м.н. Лаврова О.Ю.

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 и совершенствование научных основ, методов, технологий и систем работы с данными дистанционных (спутниковых) наблюдений Земли для решения научных и прикладных задач.
- **«Мониторинг-биосфера»** Разработка и совершенствование научных основ и методов спутникового мониторинга наземных экосистем для научных исследований изменений биосферы, решения задач рационального природопользования и охраны окружающей среды. Исследование глобальных процессов, происходящих в биосфере.
- **«Мониторинг-климат»** Разработка и совершенствование научных основ использования данных дистанционного зондирования из космоса, для контроля изучения климатических процессов и опасных природных явлений.
- **«Мониторинг-океан»** Разработка и совершенствование научных основ использования данных дистанционного зондирования из космоса для контроля экологического состояния системы океан-атмосфера и оценки параметров опасных природных и антропогенных явлений.
- **«Мониторинг-Атмосфера»** Разработка научных основ для создания методов, технологий и средств исследования атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы; численное моделирование.

- **«Мониторинг-Эффект»** Разработка научных основ повышения качества данных и систем спутниковых наблюдений.
- **«Мониторинг-Инфраструктура»** Проведение научных мероприятий и издательская деятельность

В 2015 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 соответствующих разделах.

РАЗДЕЛ 4.1.МОНИТОРИНГ-ТЕХНОЛОГИИ

Отв. исп. д.т.н. Лупян Е.А.

4.1.1. Разработка новых методов и технологий полностью автоматизированной обработки спутниковых данных для решения задач контроля состояния и исследования окружающей среды. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка методов для автоматизированного получения информационных продуктов на основе данных российских спутниковых систем, необходимых для проведения изучения и мониторинга энергоактивных объектов (природных пожаров, вулканов, промышленных предприятий и др.)

Разработана автоматизированная процедура обработки данных спутников Landsat 8 для выделения участков горения (горячих точек). Процедура интегрирована в систему обработки данных информационного сервиса Vega-Science, результаты работы доступны для анализа на информационном сервере сервиса. Пример автоматического выделения горячих точек приведен на рис. 4.1.1.1.

Разработана автоматизированная процедура обработки данных спутников по данным прибора МСУ МР, устанавливаемого на спутниках серии Метеор М. Процедура находится в стадии тестирования.

Одной из основных задач различных информационных систем дистанционного мониторинга природных пожаров является оценка площадей, пройденных огнем (гарей). Появление в последние годы возможности массового использования данных высокого пространственного разрешения (десятков метров) позволило проводить массовое картирование гарей на основе этой информации. Однако на настоящий момент нет надежно работающих полностью автоматизированных процедур картирования гарей на больших территориях с использованием спутниковой информации высокого пространственного разрешения. Поэтому обычно в системах дистанционного мониторинга природных пожаров для решения данной задачи используются различные подходы, требующие интерактивного анализа. При этом для систем, контролирующих большие территории, необходимо создание специальных максимально автоматизированных и формализованных процедур проведения картирования. В 2015 году в ИКИ РАН разработана новая схема проведения картирования, основанная на использовании неконтролируемой классификации. Основная идея данного подхода заключается в том, чтобы заменить визуальное оконтуривание гари, процедурой анализа результатов неконтролируемой классификации, которая в конечном итоге сводится к выбору из достаточно ограниченного числа классов тех, которые относятся к гари. Фактически такая процедура переводит задачу из класса, в котором необходимо визуально установить некоторый порог отсечения на достаточно гладкой функции (задачи, в которых оператору в конечном итоге необходимо произвести выбор из достаточно большого числа вариантов), в класс, где нужно произвести выбор решения из ограниченного числа вариантов. Это позволяет более четко формализовать задачу и

сделать ее менее зависимой от квалификации оператора, а также ускорить процесс проведения картографирования. Все это позволяет оптимизировать процедуры интерактивного картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга пожаров. В настоящее время процедура реализована в информационном сервисе Vega-Science и в Информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Основные этапы работы процедуры представлены на рис. 4.1.1.2

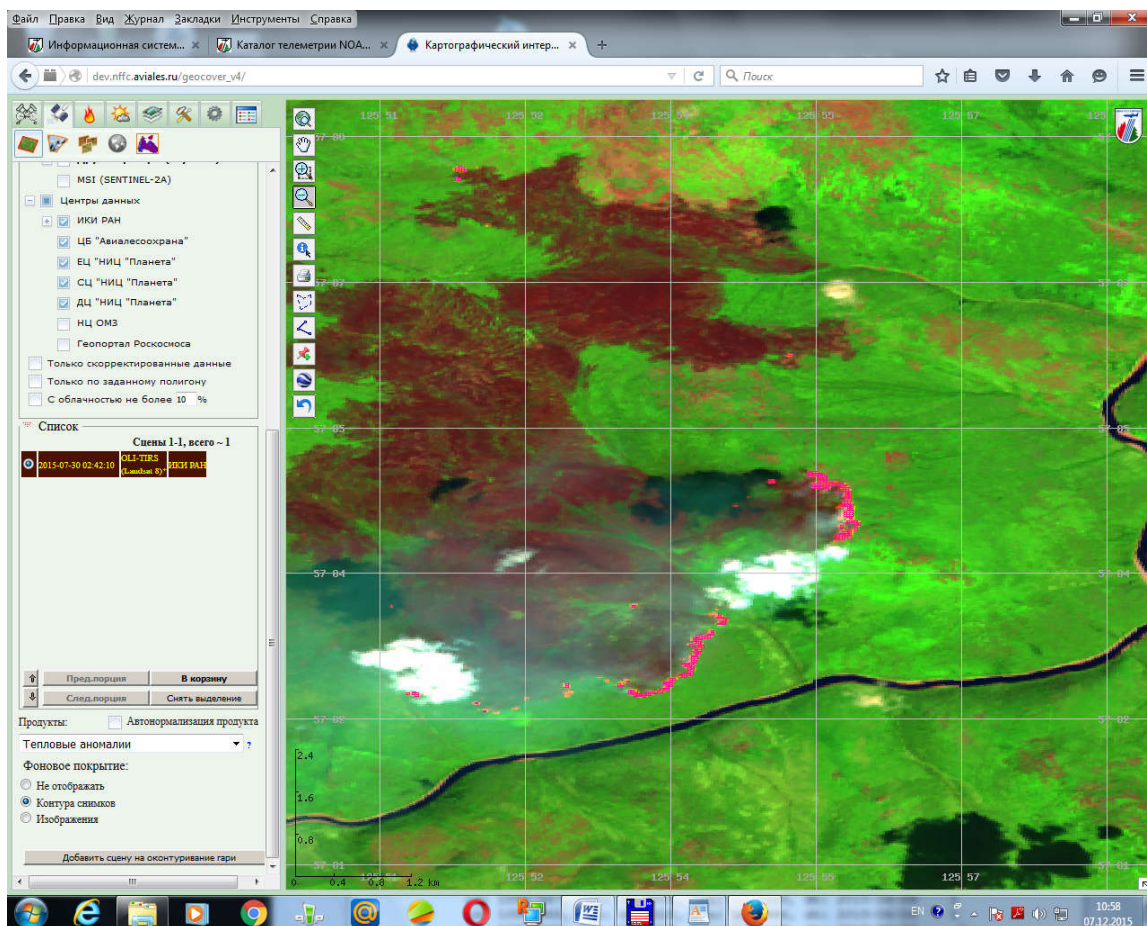


Рис 4.1.1.1

Пример результата работы автоматизированной процедуры выделения горячих точек на основе данных спутников Landsat.

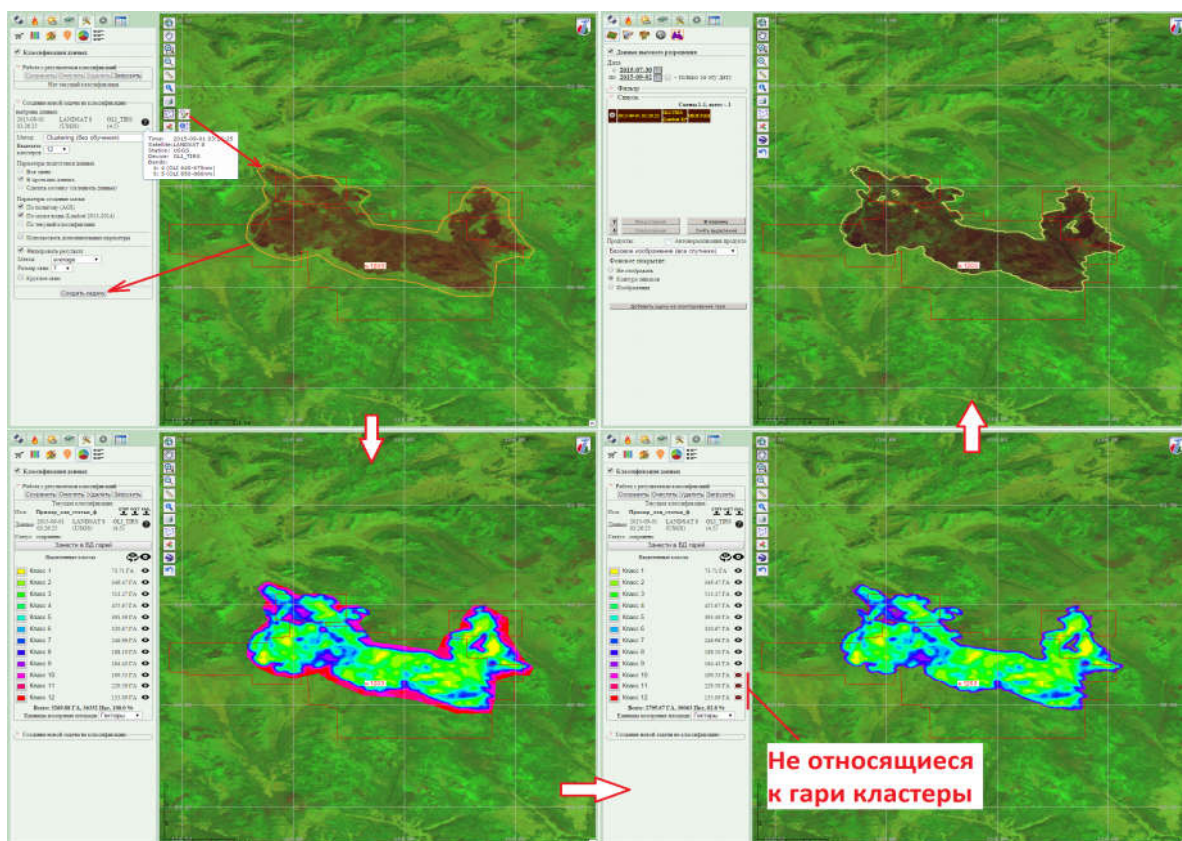


Рис 4.1.1.2

Основные этапы построения контура гари с использованием возможностей неконтролируемой классификации

4.1.2 Развитие методов и технологий автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных для обеспечения мониторинга и анализа состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов (в том числе, создание специализированных архивов спутниковых данных для изучения экосистем Северной Евразии общей емкостью более 1 Пбт (2014-2015 год)). В том числе в 2015 году: Разработка подходов и технологии online интеграции ресурсов специализированного научного узла Единой территориально-распределенной информационной системы работы с данными дистанционного зондирования (ЕТРИС ДЗЗ) в информационные системы различных научных проектов.

В 2015 году продолжены работы по обеспечению возможности получения пользователями информационного сервиса Vega-Science различной спутниковой информации и результатов ее обработки, предоставляемой объединенной системой доступа к распределенным архивам данных центров ФГБУ "НИЦ "Планета" (Росгидромет), входящих в состав ЕТРИС ДЗЗ. Доступ к этим данным для научных пользователей осуществляется в рамках соглашения между ИКИ РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета", заключенного в 2014 году. В настоящее время для пользователей системы Vega-Science реализована возможность работы с оперативно получаемой информацией приборов МСУ-МР, КМСС, установленных на спутнике Метеор М № 2, а также с данными геостационарных спутников, получаемыми в ФГБУ "НИЦ "Планета". Кроме этого реализована возможность работы с данными спутников Канопус В и Ресурс П № 1 и № 2, получаемыми центрами ФГБУ "НИЦ "Планета" в рамках заказов РАН. Пример представления данных прибора КМСС в картографическом интерфейсе Vega-Science приведен на рис 4.1.2.1

В 2015 году в ИКИ РАН создан и введен в опытную эксплуатацию научный узел ЕТРИС ДЗЗ. Узел должен обеспечить возможность осуществления онлайн заказа съемки с российских спутниковых систем в интересах различных научных проектов, а также для организации обмена информацией между единым банком геоданных ЕТРИС ДЗЗ (ЕБГД ЕТРИС ДЗЗ) и различными информационными системами, создаваемыми для выполнения научных проектов.

В 2015 были также продолжены работы по созданию и развитию технологий онлайн взаимодействия научных информационных сервисов, развиваемых ИКИ РАН, и геопорталом Роскосмоса. В настоящее время в частности обеспечено онлайн получение в этих сервисах данных спутников Канопус В и Ресурс П № 1 и № 2. Пример представления данных прибора ПСС (спутник Канопус В) в картографическом интерфейсе Vega-Science приведен на рис 4.1.2.2

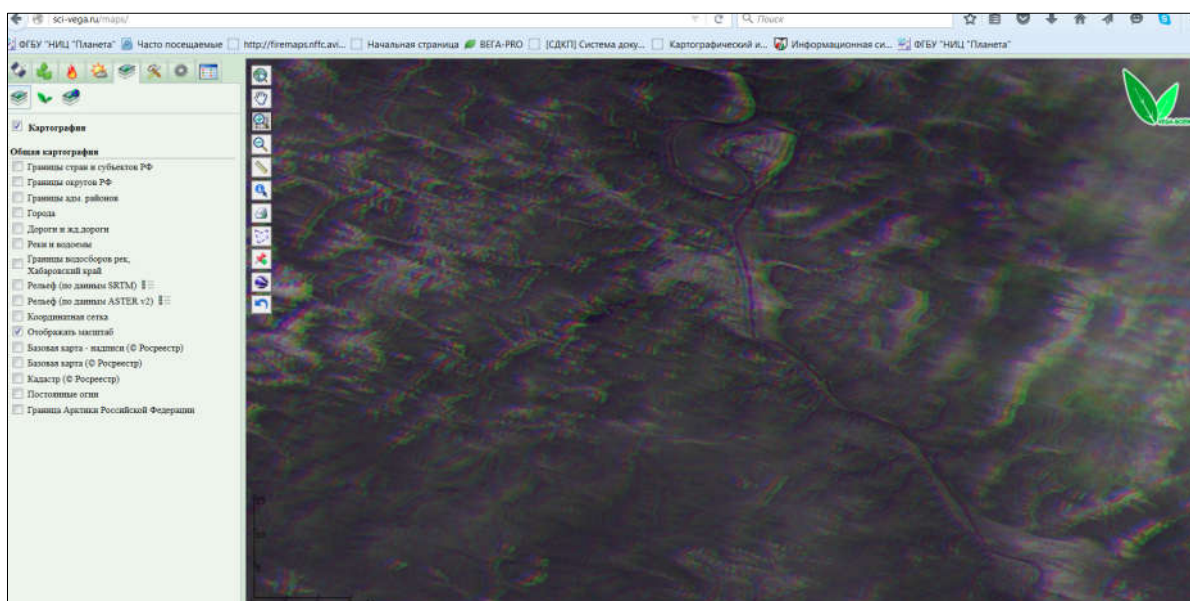


Рис. 4.1.2.1 Пример, представления данных прибора КМСС в картографическом интерфейсе Vega-Science

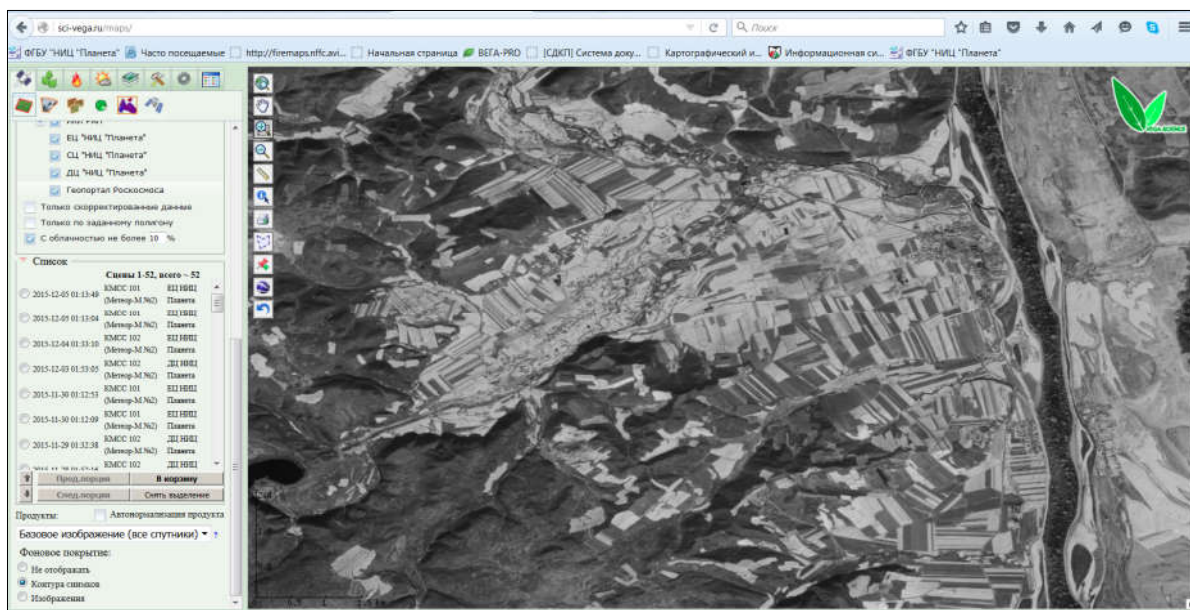


Рис. 4.1.2.2 Пример, представления данных прибора ПСС (спутник Канопус В) в картографическом интерфейсе Vega-Science

4.1.3 Разработка новых методов и технологий, обеспечивающих работу с распределенными сверхбольшими архивами данных, в том числе позволяющих создавать системы распределенной обработки и анализа данных, а также позволяющих проводить анализ временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга поверхности и недр Земли, ее гидросферы, атмосферы и биосферы. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка специализированных инструментов для проведения распределенного многомерного (спектрального, пространственного и временного) анализа спутниковой информации, поступающей от различных спутниковых систем.

В последние годы все актуальней становится задача разработки новых технологий работы с данными дистанционных наблюдений, которые должны позволить организовывать эффективную работу со сверхбольшими, постоянно пополняющимися архивами. “Традиционные” подходы предполагают сначала выбор необходимых наборов данных из архивов, создание их локальных копий у пользователя (исследователя), а потом проведение обработки и анализа. Использование такого подхода ограничивается целым рядом факторов, наиболее существенными из которых являются взрывной рост данных, поступающих от систем спутниковых наблюдений Земли, необходимость выборки, передачи и хранения больших объемов информации и наличие существенных вычислительных ресурсов для анализа данных, которые не всегда имеются у конкретных исследователей. В 2015 г. в ИКИ РАН разработана и начала использоваться в информационных системах различных научных проектов технология организации распределенной обработки спутниковых данных. Принципиальная схема разработанной технологии приведена на рис 4.1.3.1. Технология ориентирована на то, чтобы обеспечить возможности не только выбора и просмотра различной спутниковой информации, но и проведение ее обработки и анализа полученных результатов с использованием вычислительных средств, расположенных в центрах архивации и представления данных. Технология позволяет исследователям использовать распределенные информационные и вычислительные ресурсы с той же легкостью, что и локальные, обеспечивает возможность эффективной работы со сверхбольшими распределенными архивами спутниковых данных и результатами их обработки.

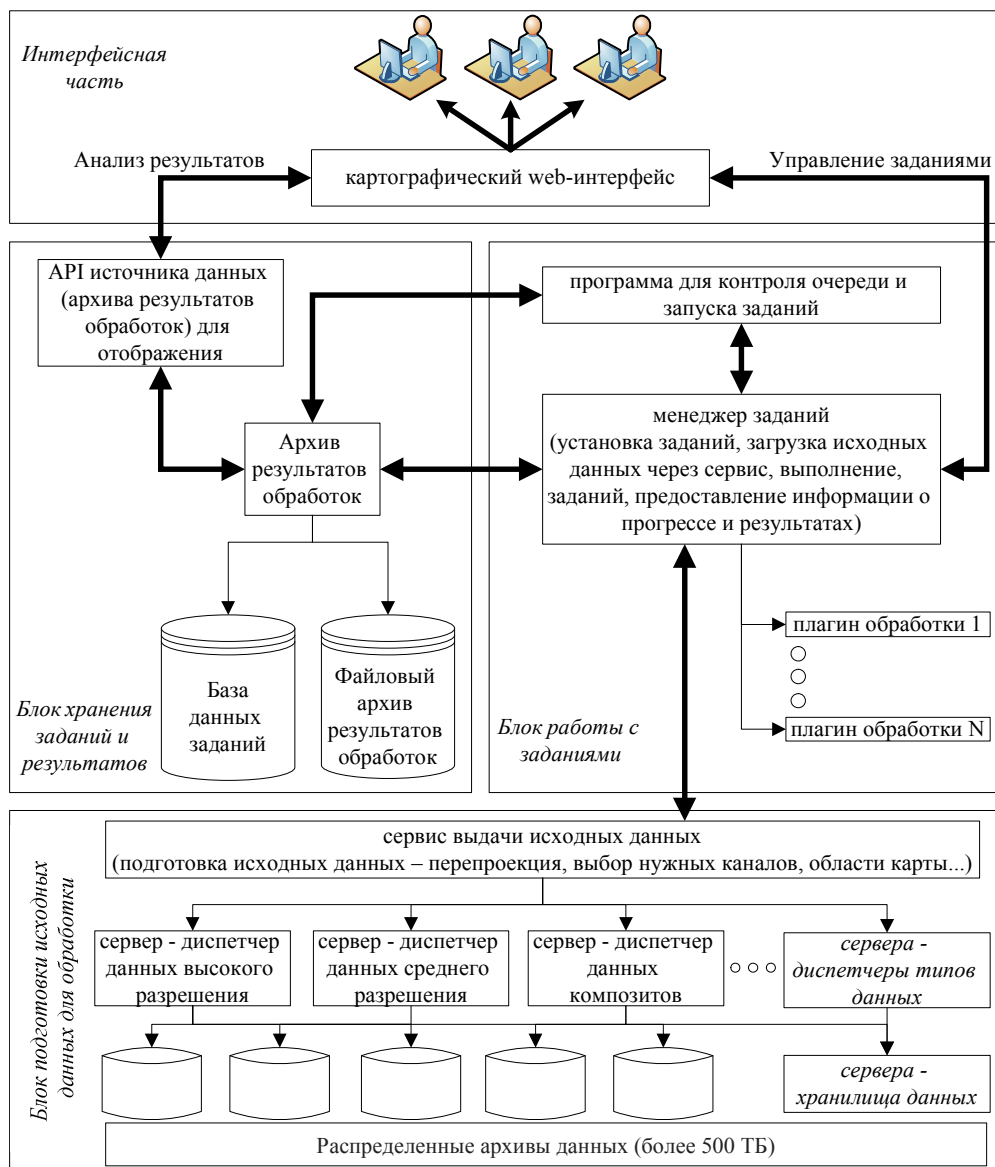


Рис. 4.1.3.1. Принципиальная схема построения технологии.

4.1.4 Разработка научных подходов к организации коллективной работы с данными глобальных спутниковых наблюдений (включая распределенные архивы и инструменты анализа данных), для решения фундаментальных задач в области наук о Земле. (2014-2016 год) В том числе в 2015 году: Разработка архива результатов глобальных спутниковых наблюдений за природными пожарами, в том числе создание инструментов, обеспечивающих удаленный доступ и анализ информации в интересах решения различных научных задач, связанных с их изучением и мониторингом.

На основе информации, распространяемой геологической службой США (US GS) о детектированных "горячих точках" по данным прибора Modis, установленного на спутниках Terra и Aqua, в 2015 году в ИКИ РАН разработана система ведения архивов информации глобальных спутниковых наблюдений за природными пожарами. Система обеспечивает автоматическое объединение получаемых "горячих точек" в объекты (пожары), ведение БД пожаров, прослеживание динамики их развития, анализ территорий, на которых действуют пожары и разделение пожаров по типам в зависимости от территорий, на которых они действовали, например выделение и анализ пожаров,

действовавших на территориях, покрытых лесом, не покрытых лесом, к также на сельскохозяйственных землях.

В настоящее время созданы однородные базы данных о пожарах, действовавших на всей территории земного шара, которые были детектированы прибором Modis за период с 2001 года по настоящее время. Создана также система автоматического ведения этих баз данных, обеспечивающая их оперативное наполнение по мере ежедневного поступления новой информации.

Для обеспечения возможности анализа получаемой информации в системе Vega-Science создан специальный инструментарий, позволяющий проводить пространственный и временной анализ накопленной информации. Пример отображения данной информации в картографическом web-интерфейсе системы Vega-Science приведен на рис. 4.1.4.1. Созданные интерфейсы для работы с данными обеспечивают возможность распределенного доступа и анализа информации для решения задач различных научных проектов.

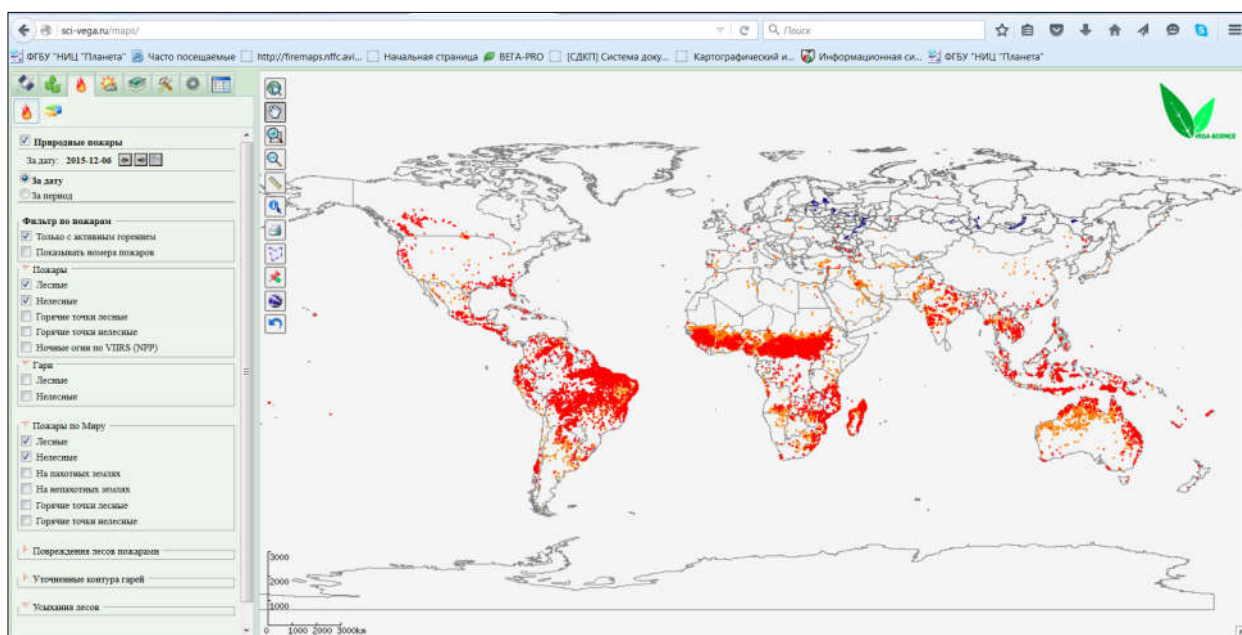


Рис 4.1.4.1 Пример отображения информации глобального мониторинга природных пожаров в картографических web-интерфейсах системы BEGA-Science

4.1.5 Обеспечение постоянной работы и развитие Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») (2014-2016 год). В том числе в 2015 году:

- **ведение и развитие долговременных архивов данных спутниковых измерений физических характеристик окружающей среды для ее изучения и прогноза развития в условиях быстрых природных и антропогенных наблюдений**
- **поддержка и развитие специализированных спутниковых сервисов, ориентированных на решение различных научных задач, в том числе спутниковых сервисов:**
 - **Vega-Science (ориентирован на решение задач мониторинга растительности на территории Северной Евразии);**
 - **See The Sea (ориентирован на решение задач исследования процессов, происходящих на морской поверхности и привозном слое),**

○ *VolSatView (ориентирован на решение задач изучения и мониторинга вулканов Камчатки и Курил)*

На настоящий момент ЦКП «ИКИ-Мониторинг» обеспечивает возможность доступа пользователей к архивам данных, имеющим фактически уникальное для отечественных ресурсов временное и пространственное покрытие. На текущий момент основная область покрытия регулярными спутниковыми данными, доступными через ЦКП «ИКИ-Мониторинг», составляет около 25% площади поверхности суши Земли. В эту область входит вся Северная Евразия, включая арктические территории, приграничные моря России, а также ряд регионов в Африке, Азии, Северной и Южной Америке, наблюдаемых в рамках международных проектов. Для ряда данных, таких как метеоинформация и информация о пожарах, доступно регулярное глобальное покрытие. Также потенциально благодаря возможности получения информации из единой системы работы с данными ФГБУ «НИЦ «Планета» пользователи имеют возможность работы с глобальными покрытиями данных, получаемых некоторыми российскими системами наблюдений (например, системой МСУ-МР, установленной на спутнике Метеор М № 2).

На наш взгляд достаточно важно, что в архивах центров имеются достаточно однородные ряды данных различных приборов. Так, например, пользователям системы доступны данные, получаемые спутниками Landsat с 1984 года. А хорошо очищенные и нормализованные данные приборов MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua, имеются в архивах центра с февраля 2000 года.

Архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» ежедневно обновляются и постоянно расширяется их состав. Информация об основных данных и информационных продуктах, доступных пользователям центра по состоянию на 1 августа 2015 года, представлена в Таблице по адресу http://smiswww.iki.rssi.ru/files/centre/tablica_1.pdf.

В Таблице приводится информация о спутниковых данных и информационных продуктах, полученных на основе их обработки, которые доступны пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» непосредственно в архивах центра или в архивах данных объединенной системы работы с данными центров ФГБУ «НИЦ «Планета». Доступ к информации этих центров организован в рамках соглашения Росгидромета и РАН, договора о сотрудничестве между ИКИ РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета" об организации доступа к спутниковой информации для выполнения научных проектов и программ.

Представленная в Таблице 1 информация сгруппирована по спутникам, приборам и типам спутниковых данных и информационным продуктам, получаемым на основе их обработки. Для каждого типа данных указывается диапазон имеющихся в архиве данных, количество сцен, суммарный объем данных и средняя скорость поступления данных в архивы. Курсивом обозначены типы данных, к которым не реализован непосредственный доступ из интерфейсов системы Vega-Science. Как правило, такие данные используются для проведения потоковой обработки для формирования базовых информационных продуктов. В то же время эта информация может предоставляться в информационные системы различных научных проектов.

Кроме спутниковых данных и продуктов их обработки в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» содержатся также и некоторые другие типы информации, используемые при решении задач мониторинга окружающей среды. В частности, в рамках центра поддерживаются архивы метеоданных в формате NCEP, получаемые из Национального центра атмосферных исследований США (NCAR) <https://ncar.ucar.edu/> В настоящее время в архиве содержатся метеоданные с 2000 года по настоящее время по всему земному шару, относящиеся к следующим типовым наборам:

- ds093.0/ds094.0 -- данные реанализа на регулярной сетке с шагом 0,5 градуса
- ds335.0 -- данные прогноза на регулярной сетке с шагом 1 градус

Как уже отмечалось, информационные ресурсы, доступные пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», постоянно (ежедневно) пополняются благодаря полностью автоматизированному поступлению данных новых наблюдений и различных

информационных продуктов. При этом также постоянно расширяется состав информации, доступной пользователям центра.

Отметим, что на середину 2015 года суммарная скорость пополнения архивов, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (архивы ИКИ РАН и ФГБУ "НИЦ "Планета") приближается к 1 Тб/сутки, а объем информации, находящейся в непосредственном доступе в 1 Птб.

Возможности, предоставляемые ЦКП «ИКИ-Мониторинг», используются сегодня различными научными коллективами и проектами. Так, например, по состоянию на начало декабря 2015 года пользователями, выполняющими различные научные проекты, являлось более 20 научных организаций и групп.

Возможности центра активно используются для решения задач различных проектов, поддерживаемых Российским научным фондом, Российским фондом фундаментальных исследований и Министерством образования и науки. В частности, они использовались и используются для выполнения следующих проектов РФ (14-17-00389), РФФИ (11-07-12026-офи-м, 11-07-12028-офи-м, 13-07-00513, 13-07-12017, 13-07-12116, 13-07-12180, 13-05-41420-рго-а, 13-07-13168-офи-м, 14-05-20238, 14-35-10137), Минобрнауки (14.515.11.0007, 14.515.11.0014, 14.515.11.0030, 14.515.11.0011 14.607.21.0122, 14.616.21.0063).

Инфраструктура и архивы данных, накопленных в ЦКП «ИКИ-Мониторинг», используется сегодня для обеспечения работы следующих специализированных информационных систем, создающихся в интересах различных научных проектов:

- Информационная система «VEGA-GEOGLAM» (<http://vega.geoglam.ru/>), разрабатываемая в рамках проекта SIGMA. Целью системы является обеспечение инструментами анализа данных дистанционных наблюдений участников международного проекта SIGMA, ориентированного на разработку методов и технологий дистанционного сельскохозяйственного мониторинга, в интересах создания глобальной системы мониторинга сельского хозяйства <http://geoglam-crop-monitor.org/>.
- Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru/>). Основной задачей системы является обеспечение специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил. Система создавалась и развивается в рамках проектов РФФИ (11-07-12026-офи-м, 13-07-12180).
- Спутниковый сервис See The Sea (STS, <http://ocean.smislab.ru/>) – информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации. Система призвана обеспечить специалистам, работающим в области исследования Мирового океана, возможность одновременной работы с различными видами спутниковой информации и удобный инструментарий, позволяющий проводить ее комплексный анализ. Система создавалась и развивается в рамках проектов РФФИ (11-07-12025-офи-м, 13-07-12017).

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также используется для проведения разработок методов обработки и анализа спутниковых данных, многие из которых впоследствии внедряются в различные прикладные информационные системы дистанционного мониторинга. В том числе в:

- Информационную систему дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (<http://www.pushkino.aviales.ru/>), предназначенную для сбора информации о пожарах по всей территории России, сбора информации о состоянии окружающей среды, подготовки

информационных продуктов для анализа пожарной обстановки и последствий пожаров и оперативного распространения накопленной информации.

- Отраслевую информационную систему мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства) (<http://osm.smislab.ru/>), ориентированную на получение информации о деятельности промысловых судов.

РАЗДЕЛ 4.2. МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Отв. исп. д.т.н. Барталев С.А.

4.2.1. Формирование баз данных различных характеристик состояния окружающей среды, полученных на основе спутниковой информации (в том числе характеристик растительного покрова) для изучения и мониторинга наземных экосистем и биоразнообразия (2014-2016 год); В том числе в 2015 году: Актуализация карты лесных экосистем на территории России, создание карты водных объектов на основе спутниковых данных пространственного разрешения 15-30 метров

В 2015 году была проведена актуализация и уточнение карт лесного покрова России, получаемых по данным MODIS с пространственным разрешением 250 м. Была скорректирована обучающая выборка, используемая при классификации спутниковых данных и картографирования породной структуры лесов, в том числе, на территории Приморского края, Республики Тыва и некоторых других субъектов РФ. Это позволило повысить достоверность сформированной временной серии ежегодных карт преобладающих пород леса.

Обновлены многолетние карты запаса стволовой древесины в лесах России с учетом новой информации о пространственном распределении различных типов лесного покрова на территории страны по спутниковым данным MODIS.

Выполнена предварительная оценка достоверности сформированных карт преобладающих пород леса и запаса стволовой древесины на основе сравнения с другими продуктами обработки спутниковых данных и материалами официальной статистики. Результаты сравнения демонстрируют согласованность оценок, полученных на основе данных построенных карт, с информацией из других независимых источников.

Разработан метод дистанционной оценки возрастной структуры лесов России на основе локально-адаптивного статистического анализа средних значений и скорости прироста запаса стволовой древесины для различных классов лесного покрова по данным многолетних карт запаса. Предложенный метод потенциально позволяет получать информацию о пространственном распределении лесов различных групп возраста на территории РФ с разрешением 250 м (рис.4.2.1.1.).



Рис.4.2.1.1. Экспериментальный вариант карты возрастной структуры лесов России

Разработан метод выявления водных объектов по спутниковым данным Landsat пространственного разрешения 30 м и на основе него построена карта водной поверхности на территорию Северной Евразии (рис. 4.2.1.2.). Метод основан на анализе временной серии изображений Landsat за длительный период времени для выявления объектов с устойчиво низкими значениями спектральной отражательной способности. Для повышения точности выделения водных объектов используется также цифровая модель рельефа, полученная по спутниковым данным ASTER.



Рис. 4.2.1.2. Полученные по данным Landsat карта водных объектов и очищенное от влияния облаков композитное изображение за летний период 2014 года

4.2.2 Разработка научных подходов к построению полностью автоматизированных методов дистанционной оценки характеристик растительных экосистем на больших территориях (2014-2016 год); В том числе в 2015 году: Развитие методов локально адаптивной классификации растительных систем для обеспечения возможности работы с данными перспективных спутниковых систем с пространственным разрешением 15-30 м.

Постоянное увеличение разрешающей способности приборов дистанционного зондирования Земли из космоса и увеличение размера архивов имеющихся данных требует совершенствования и доработки ПО, используемого для оценки характеристик растительного покрова. Для решения задач глобального картографирования в ИКИ РАН ранее было разработано программное обеспечение LAGMA, в основе которого лежит учет пространственной изменчивости спектральных характеристик растительного покрова на основе метода локализации обучающей выборки. Была проведена доработка ПО LAGMA с целью подготовки его к обработке больших массивов данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения.

Проведенная доработка программного комплекса сделала возможной работу с файлами изображений большого объема (свыше 4 Gb), что позволяет обеспечивать возможность обработки спутниковых данных высокого пространственного разрешения для территорий континентального охвата.

В результате доработки создана 64-битная версия ПО LAGMA, позволяющая загружать большой объем спутниковых данных в оперативную память компьютера. Это позволяет ускорять обработку многолетних рядов спутниковых изображений высокого пространственного разрешения ввиду их большого объема.

Блок работы с файлами изображений ПО LAGMA реализован в виде библиотеки image_IO, что позволяет использовать возможности комплекса по работе с большими объемами спутниковых данных высокого разрешения при разработке других программ и приложений. Данная библиотека была использована при создании прототипа технологии оценки и прогнозирования динамики природных пожаров с пространственным разрешением 30 м.

В библиотеку image_IO добавлена возможность работы с изображениями, хранимыми на удаленном сервере. Библиотека может последовательно загружать фрагменты изображения с сервера по мере поступления запросов данных. Такая возможность позволяет упростить работу с большими объемами данных высокого разрешения, которые может быть затруднительно дублировать на локальных узлах обработки.

4.2.3 Разработка новых подходов и методов оценки последствий негативных воздействий (природных и антропогенных) на экосистемы (2014-2016 год); В том числе в 2015 году: Разработка метода спутниковой оценки долгосрочной динамики состояния поврежденных пожарами лесов России на основе многолетних временных рядов спутниковых данных.

Разработан метод выявления постпирогенных усыханий лесов в последующие за пожаром годы, основанный на автоматической обработке спутниковых данных MODIS с пространственным разрешением 250 м. Метод является логическим продолжением проводимых в ИКИ РАН работ по оценке последствий негативных воздействий природных пожаров на леса, в частности, разработанных ранее методов выявления пройденных огнем площадей и погибших от пожаров лесов, основанных на анализе спутниковых данных. Метод основан на сравнении индикаторов, полученных на основе данных спутниковых наблюдений в последующие за пожаром годы со среднесреднегодной статистической нормой их значений. Применение метода позволило получить оценки долгосрочных усыханий лесов, вызванных пожарами 2006-2014 гг. на территории России. Сравнение результатов разработанного метода с выборочными опорными данными, полученными на основе более детальных спутниковых изображений Landsat-OLI, показало высокую точность разработанного метода. В частности ошибка выявления усыханий, вызванных пожарами 2014 года на территории Якутии, составила 8%. Результаты работы метода были интегрированы в информационную систему ВЕГА (рис. 4.2.3.1.).

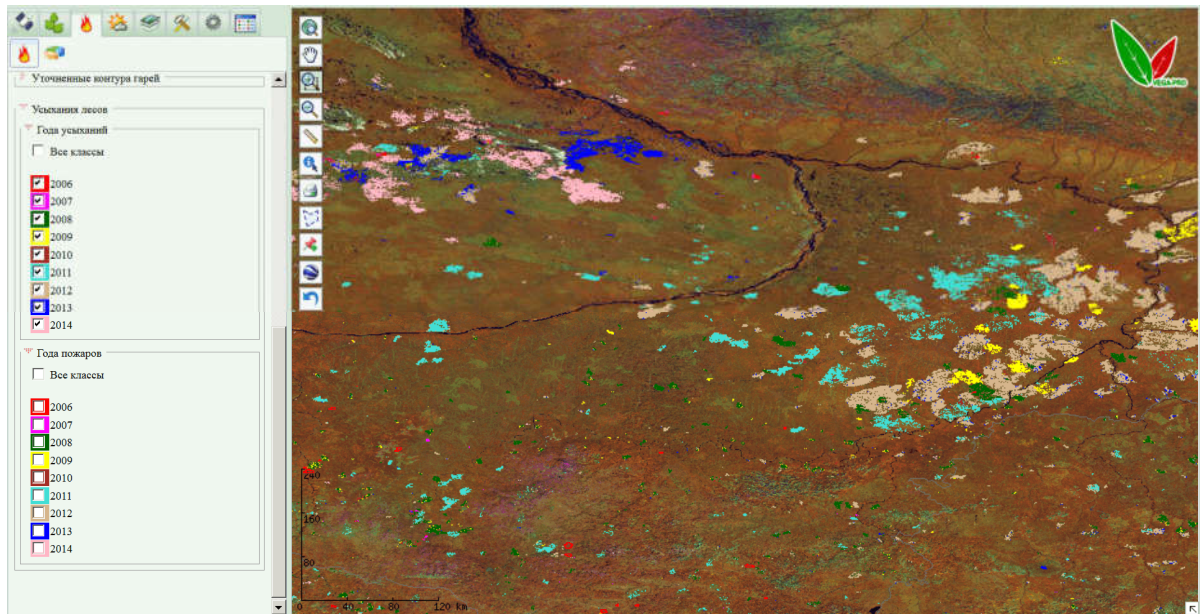


Рис. 4.2.3.1. Результаты работы метода выявления постпожарных усыханий в лесах России, интегрированные в систему BEGA.

4.2.4 Создание моделей прогноза динамики растительного покрова и развития природных пожаров, ориентированных на использование информации, получаемой на основе данных спутниковых наблюдений (2014-2016 год); В том числе в 2015 году: Анализ сезонных особенностей и многолетних трендов динамики пирогенной гибели лесов России на основе результатов обработки спутниковых данных;

Разработанные в ИКИ РАН методы и технологии автоматизированной обработки спутниковых данных позволяют регулярно получать информацию о пожарах и их последствиях. На основе разработанных ранее методов оценки пройденных огнем площадей и гибели лесов в результате воздействия пожаров был проведен анализ сезонных особенностей и многолетних трендов динамики пирогенной гибели лесов России на основе данных о пожарах 2006-2014 годов. Обнаружено, что среднемноголетняя сезонная динамика пройденной огнем площади характеризуется достижением максимума горимости в мае, а возникающие в этом месяце пожары затрагивают около 26,1% повреждаемых за год площади лесов, при этом обнаружен низкий уровень деструктивного воздействия весенних пожаров, приводящих к гибели лесов лишь на 8,1% пройденной огнем территории. Максимальные повреждения лесам причиняют пожары, возникающие в июле, сопровождаемые гибелью до 79% пройденных огнем насаждений. Было установлено, что доля погибших лесов от пройденной огнем их площади колеблется в различные годы в диапазоне от 27,6% до 65,4%, а ее среднемноголетняя величина составляет 47,4%. Начиная с 2008 года, обнаружен рост относительной величины доли погибших насаждений в общей пройденной огнем площади лесов России. Как показал анализ, основной причиной увеличения доли погибших лесов в последние годы является изменение сезонного распределения пожаров, в частности возрастает доля пожаров, происходящих в летние месяцы. Причины происходящих изменений в сезонности лесных пожаров требуют дальнейшего изучения.

4.2.5 Оценка масштабов и исследование основных факторов динамики растительного покрова России с начала 21 века (2014-2016 год); В том числе в 2015 году: Оценка на

основе результатов обработки данных спутниковых наблюдений многолетней динамики пирогенной гибели лесов России.

Разработанный метод выявления пирогенных усыханий лесов в последующие за пожаром годы позволил оценить усыхания, вызванные лесными пожарами 2006-2014 годов (рис. 4.2.5.1.). В результате воздействия пожаров с 2006 по 2014 год в России погибли лесов на площади 24,5 млн. га. Средняя ежегодная пирогенная гибель лесов составила 2,72 млн. га. Было установлено, что 73,7% площади усыхания лесов детектируется в год пожара, а прирост площади постпожарных усыханий в последующие годы составил около 35%. Основной прирост площади постпожарных усыханий детектируется в первый последующий за пожаром год. Кроме того, на основе карт запаса стволовой древесины в лесах, разработанных в ИКИ РАН, были рассчитаны объемы потенциальных потерь древесины на выявленных участках усыханий для всей территории страны. Установлено, что в период с 2006 по 2014 год общий объем стволовой древесины погибших от пожаров лесов составил 2457 млн м³. Пик гибели лесов (671 млн м³) пришелся на пожары 2012 года, характеризующегося большой площадью пожаров и высокой степенью повреждения лесов. Среднегодовое значение объема древесины погибающих от пожаров лесов составило 273 млн м³. Наибольшие объемы потенциальных потерь древесины за весь исследуемый период были выявлены в Якутии, Красноярском крае и Иркутской области. В сумме на эти 3 региона пришлось около 55% объема потерь и 59% площади пирогенных усыханий лесов.

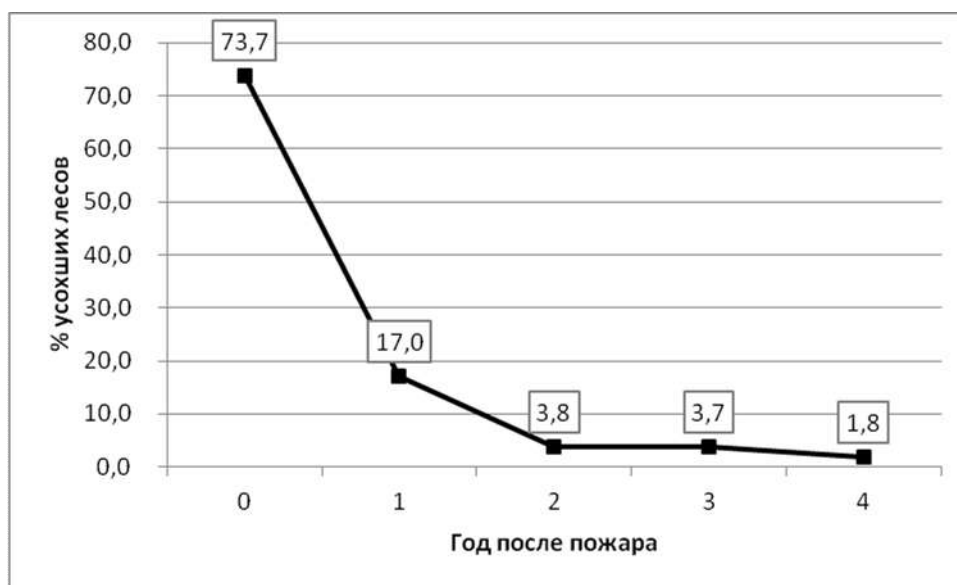


Рис. 4.2.5.1. Распределение доли площади усыханий лесов в зависимости от давности пожара

4.2.6 Создание на основе методов обработки данных спутниковых наблюдений Земли многолетней базы данных о воздействии природных пожаров на наземные экосистемы России с начала 21 века (2015 год); В том числе в 2015 году: Формирование многолетней базы данных пирогенной гибели лесов России на основе автоматизированной обработки временных рядов спутниковых данных.

На основе разработанных методов и технологий автоматизированной обработки спутниковых данных была сформирована многолетняя база данных пирогенной гибели лесов. База данных включает в себя как информацию о гибели лесов, выявленную непосредственно в год воздействия огня, так и данные о постпожарных усыханиях. База данных включает следующую информацию с пространственным разрешением 230м:

- данные о пройденной огнем лесной площади;

- данные о гибели и степени повреждения лесов непосредственно в год пожара;
- данные о постпожарных усыханиях лесов в последующие за пожаром годы;

База данных охватывает всю территорию России и содержит информацию о пирогенной гибели лесов, вызванную пожарами с 2006 по 2015 гг. Указанные данные получаются в автоматическом режиме, что обеспечивает ежегодную актуализацию базы данных.

База данных была дополнена выборочными данными детектирования постпожарных усыханиях по спутниковым данным с пространственным разрешением 30 м. Данные получаются с применением созданной полуавтоматической технологии, основанной на использовании спутникового сервиса ВЕГА.

4.2.7 Создание на основе автоматизированных методов обработки данных спутниковых наблюдений Земли динамических карт агроценозов России (2016 год);

Проведено сравнение пяти различных методов распознавания используемой пашни на примере агросистем разных регионов планеты на основе временных серий данных прибора MODIS. Для сравнения (рис. 4.2.7.1.) использованы методы распознавания пашни, разработанные в ИКИ РАН (Россия, LSAM), UCL (Бельгия, KBC2), INTA (Аргентина, TSAEC), RADi (Китай, DT), SRI (Украина, NNE). Сравнение было произведено с тем, чтобы понять какую роль в ошибке распознавания играет непосредственно метод, а также оценить роль пространственного разрешения прибора. Кроме этого, было получено представление о возможностях каждого метода по распознаванию пашни на континентальном и глобальном масштабе.

Результаты оценки показали, что основное влияние на точность распознавания оказывает тип агроландшафта, обусловленный особенностями местного севооборота и размерами полей, при этом методы демонстрируют очень близкие точности распознавания.

Дополнительно проведено исследование устойчивости методов к уменьшению объема обучающей выборки. Установлено, что все методы достигают близкого к максимальному значению точности распознавания при использовании только 20% от исходного объема выборки.

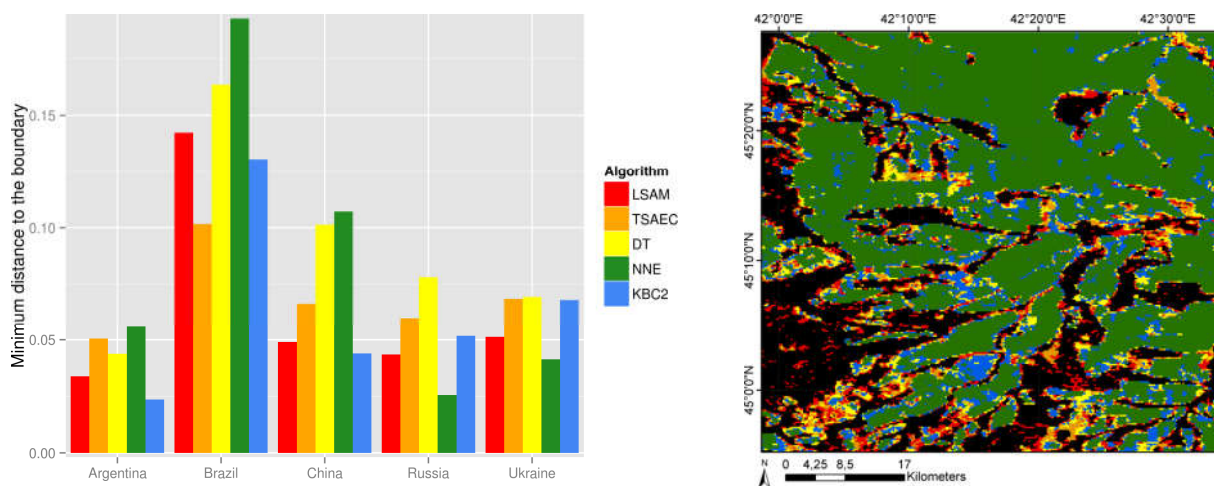


Рис. 4.2.7.1. Расстояние до кривой оптимума Парето для различных методов на каждом из тестовых участков (слева), а также согласованность результатов распознавания пашни пятью различными методами для участка в Ставропольском крае (справа)

РАЗДЕЛ 4.3. МОНИТОРИНГ-КЛИМАТ

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

4.3.1 Разработка научных основ и методов анализа глобальных спутниковых наблюдений для объективной оценки изменений окружающей среды и климата (2014–2016)

В том числе:

Развитие методов изучения проявления климатических тенденций в системе океан-атмосфера и в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга. (2014-2015 год) В том числе в 2015 году: Изучение глобальной атмосферной циркуляция и особенности радиотеплового поля (2015г.);

В настоящее время продолжает активно разрабатываться предложенная ранее методика и соответствующее программное обеспечение для выполнения спутникового радиотепловидения при наблюдении (в режиме анимации) мезомасштабных и синоптических процессов. Методика состоит в пространственно-временной интерполяции и анализе измеренных с полярно-орбитальных спутников радиотепловых полей Земли и восстановленных по ним полей геофизических характеристик. Предложенная методика позволяет получать динамическое описание эволюции рассматриваемых полей с временным шагом (пикселом) до рекордных значений — 1,5 ч на глобальной регулярной географической сетке с шагом до $0,125^\circ$, что предоставляет уникальную возможность прямого расчёта физических величин, характеризующих энергетические аспекты массо- и энергопереноса в атмосферных системах с горизонтальными размерами от 100 км и развивающихся на субсуточных и более длительных интервалах времени, вплоть до процессов синоптического масштаба и, в первую очередь, полей водяного пара в атмосфере Земли. В 2015г. средствами анимационного анализа данных глобального радиотеплового спутникового мониторинга за август 2000 г. исследованы процессы эволюции целого ряда тропических циклонов Северного полушария. Выявлена и подтверждена на имеющихся примерах важнейшая роль адвективных тропосферных потоков скрытого тепла при быстрой интенсификации тропического циклона. Основным мешающим фактором, вносящим существенные погрешности в оценки по примененной методике, является близость больших массивов суши, поэтому более глубокий анализ требует предварительного отбора в качестве объектов исследования тропических циклонов, двигавшихся над открытыми акваториями на удалении от береговой линии. Сформулированы предложения по дальнейшему совершенствованию представленной методики анализа с целью детального изучения отдельных фаз эволюции тропических циклонов на больших массивах радиотепловых дистанционных данных.

Примеры расчёта потоков Q через систему концентрических круговых контуров, дрейфующих вместе с тропическим циклоном (ТЦ) Ewinear (август 2000 г.) в процессе его эволюции, показан на рис. 4.3.1.1.

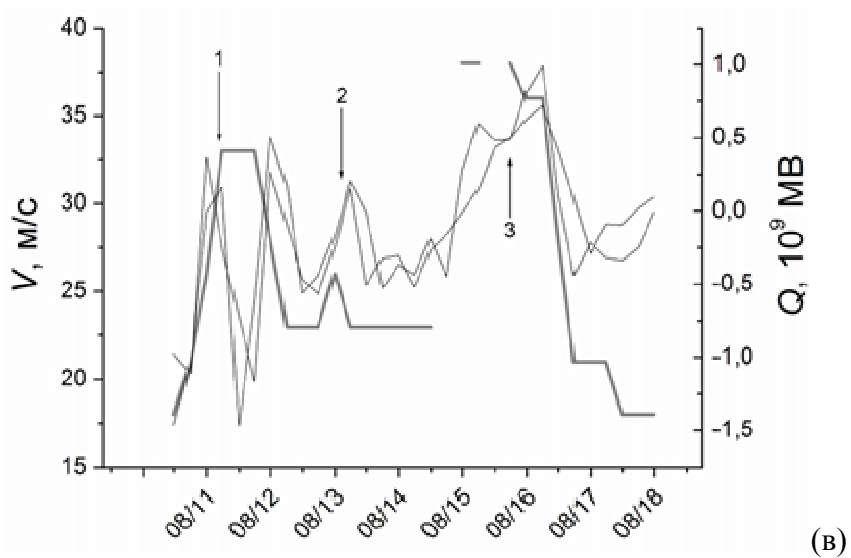
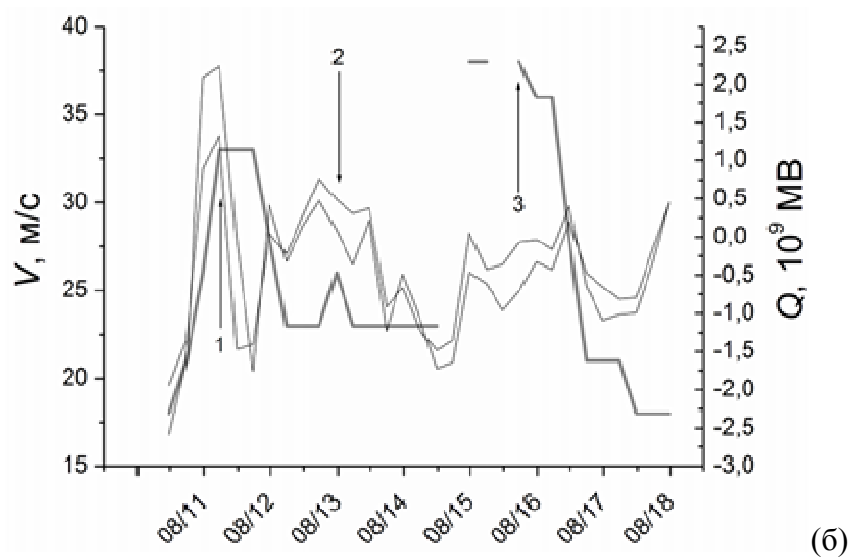
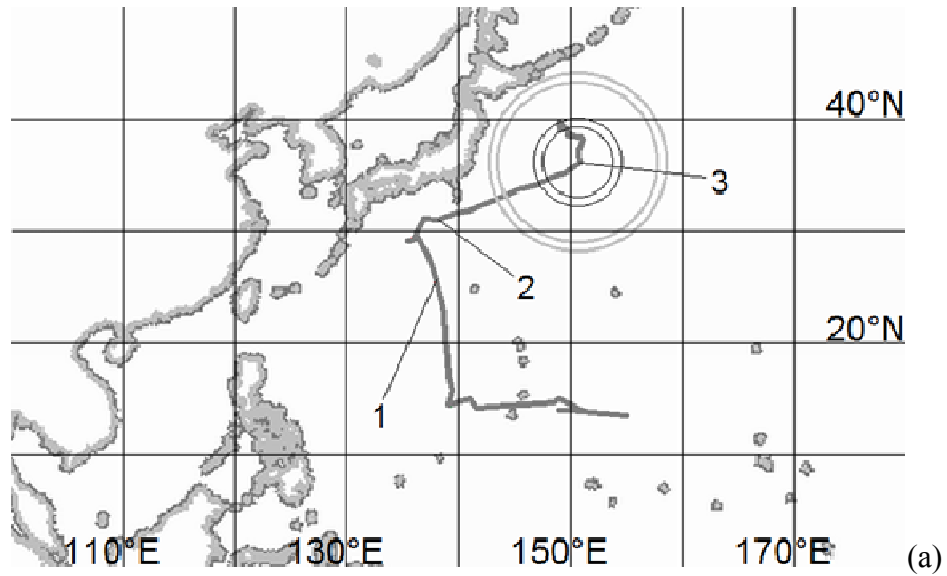


Рис. 4.3.1.1. ТЦ Ewiniar (05.08-19.08.2000г.): а) траектория; б) эволюция, потоки Q через контуры больших радиусов (светлые окружности на рис. а); в) эволюция, потоки Q через контуры малых радиусов (черные тонкие окружности на рис. а).

Поскольку существующие прогностические модели развития и интенсификации ТЦ не могут быть признаны вполне удовлетворительными, необходимо создавать и совершенствовать методы оценки адвективных потоков скрытого тепла по оперативным и архивным спутниковым данным. Развиваемый авторами анимационный анализ дает такую возможность.

На основе анимационного анализа данных глобального радиотеплового спутникового мониторинга в августе 2000 г. выявлена связь между изменениями интенсивности действующих ТЦ и вариациями потоков скрытого тепла через охватывающие их контуры. Наиболее отчетливым образом эта связь прослеживается для ТЦ, двигавшихся на значительном удалении от континентов (что объясняется особенностью расчетной схемы, а не природой явления). В частности, графики временного хода расчетных потоков скрытого тепла хорошо воспроизводят картину трехкратной быстрой интенсификации ТЦ Alberto, двукратной быстрой интенсификации ТЦ Ewiniar, а также эволюции ТЦ Bilis, Debby и Jelawat.

При этом следует подчеркнуть важность более глубокого анализа, базирующегося на оценках потоков скрытого тепла через большую совокупность различных контуров, в том числе, с учетом текущей интенсивности ТЦ и близости крупных массивов суши. Такой анализ также важен для исследования причинно-следственных связей через последовательность фаз наблюдаемых процессов. С одной стороны, приток скрытого тепла к области глаза ТЦ приводит к его интенсификации, с другой – интенсификация ТЦ при благоприятных условиях (высоком паросодержании атмосферы) способна организовать и усилить конвергентные потоки скрытого тепла в еще большей области тропосферы.

Фазы интенсификации и диссипации ТЦ хорошо соотносятся с изменением величины и знака потоков Q : интенсификация ТЦ соответствует конвергентному (положительному, внутрь контура) потоку, а диссипация ТЦ — дивергентному (отрицательному). Таким образом, поля водяного пара являются источниками скрытой теплоты, которая в свою очередь, трансформируется в кинетическую и турбулентную энергетику ТЦ. Другим важным результатом является экспериментальное доказательство того факта, что энергетические обмены в мезомасштабах происходят с фантастическими скоростями, совершенно не подвластными для измерения методиками in-situ (типа самолётных измерений внутри тела ТЦ). Материалы обработки направлены в печать и частично уже опубликованы (см. список публикаций отдела 55 за 2015 г.).

Разработка принципиально новой электродинамической модели радиоизлучения арктического ледяного покрова для изучения пространственно-временных характеристик северной полярной шапки по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. (2015-2016 год). В том числе в 2015 году: Создание алгоритма и обработка спутниковых данных за период 1987-2014гг. на базе новой электродинамической модели радиоизлучения арктического ледового покрова. Нелинейный регрессионный анализ временных стохастических рядов площади ледокрытия Северной полярной шапки.

На основе разработанной теоретической модели излучения «водная поверхность - ледяной покров - снежный покров - атмосфера» создана методика определения основных характеристик морского льда полярных регионов по данным спутниковой микроволновой радиометрии. Основными характеристиками морского ледяного покрова являются: сплоченность - отношение площади льдин в зоне, где они распределены сравнительно равномерно, к общей площади этой зоны; и ледовитость - процент площади, занятой льдом любой сплоченности по отношению к общей площади полярного региона. Разработанная методика (Variation Arctic/Antarctic Sea Ice Algorithm 2 – VASIA2) позволяет

определять сплоченность и ледовитость морского льда полярных регионов, а также удельную площадь поверхности морского льда, занятую снежницами различной стадии образования (рис 4.3.1.2.). Снежницы - скопление на льду талой воды, главным образом, благодаря таянию снега, и на более поздних стадиях также вследствие таяния льда. В начальной стадии представляет собой области пропитанного водой снега. Снежницы являются важнейшим элементом полярной климатической системы. Покрывая, в летний период, более 50% площади льдов Арктики, обладая низким альбедо, они поглощают значительно больше приходящей коротковолновой радиации, чем остальная часть снежно-ледяного покрова. Учитывая значительную площадь и глубину снежниц, которая может достигать нескольких метров, образование их на морском льду в летний период в значительной степени определяет термодинамику ледяного покрова в летние и осенние месяцы.

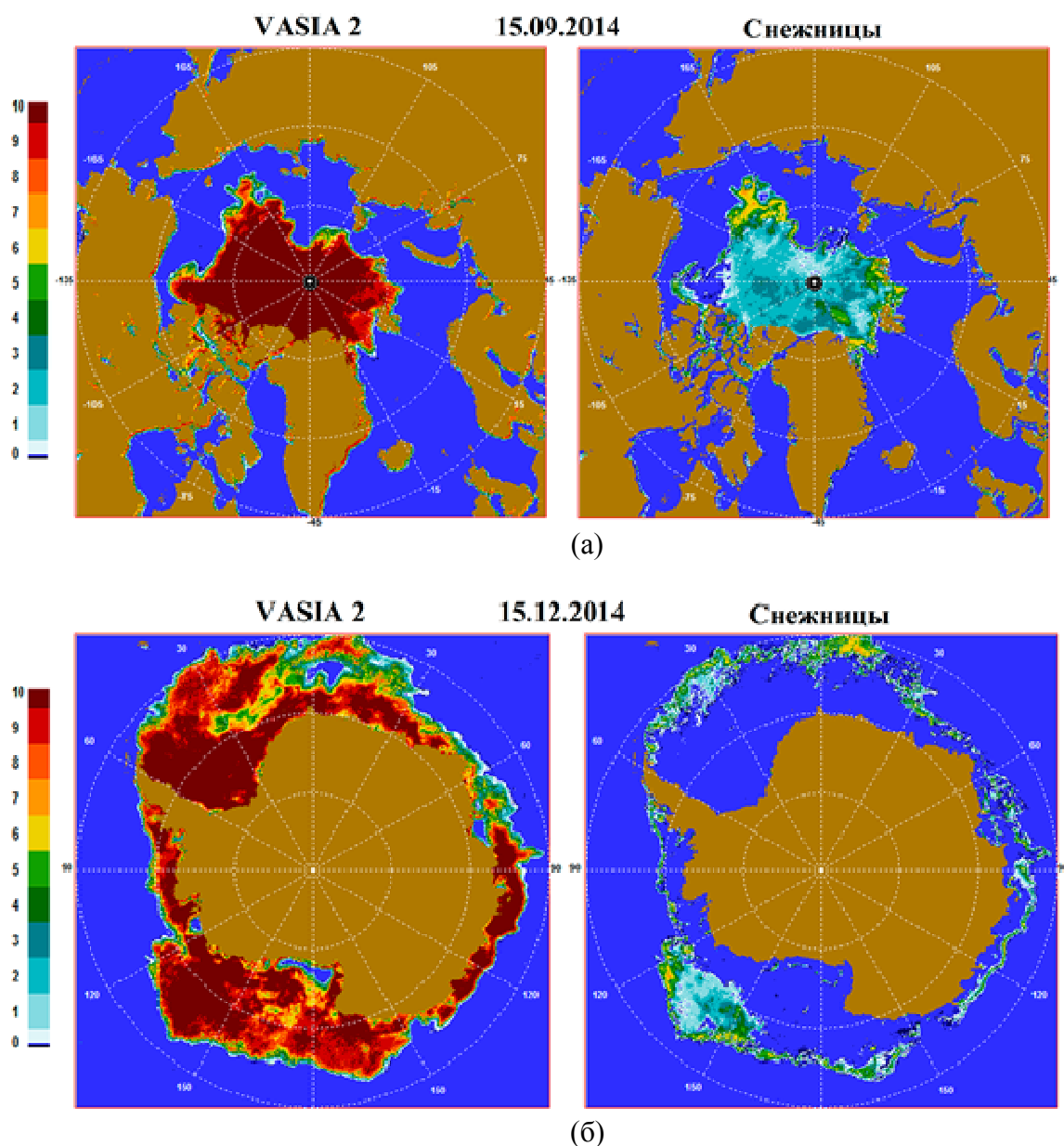


Рисунок 4.3.1.2. Сплоченность морского льда и удельная площадь снежниц: а) Арктика, б) Антарктика.

Нелинейный регрессионный анализ временных стохастических рядов площади ледопокрытия Северной полярной шапки (1987-2015гг.)

По данным спутниковых многоканальных радиотепловых наблюдений, полученных со спутников программы DMSP — F08–F17, накоплена многолетняя база данных (БД) GLOBAL-RT, постоянно обновляющаяся в отделе «Исследования Земли из космоса» ИКИ РАН. С использованием полярной версии этой БД были рассчитаны по алгоритму NASA Team 2 (NT2), широко используемому в зарубежной научной литературе, площади покрытия льдом Арктики для областей выше 60°с.ш. По анализу изменения ледового покрытия Северной полярной шапки (СПШ) за период 1987–2014 гг. были выбраны два месяца, для которых площадь ледяного поля достигала своего максимального значения в текущем году — февраль — и минимальной величины — сентябрь этого же года, и были вычислены средние величины площади льда в эти месяцы. Точность вычисления среднего значения за выбранный период — доверительные интервалы среднего значения — лежали в пределах 95...98 %. Были построены несколько вариантов аппроксимации полученных временных зависимостей величин максимального и минимального покрытия ледовой площади за указанный период и вычислены регрессионные зависимости для полиномов различных степеней от линейной — первой степени — до шестой и установлено, что минимальная среднеквадратичная ошибка отклонения от аппроксимируемой кривой резко падает для полинома четвертой степени и далее практически остаётся неизменной: от 0,5593 для полинома третьей степени до 0,4560 для полинома четвертой степени. Используемую в большинстве работ строго линейную регрессию с отрицательным временным градиентом для минимального сентябрьского значения ледопокрытия за период около 30 лет для СПШ следует признать некорректной.

Детальное исследование стохастических режимов временной эволюции арктического ледового покрова СПШ за 1987–2014 гг. с помощью регрессионных моделей высокого порядка (от второго до шестого) позволило получить доказательства признания чисто линейного регрессионного подхода некорректным при анализе стохастической модели временной эволюции ледового покрова СПШ за 3-декадный временной период. Построение шести вариантов нелинейных аппроксимаций, полученных по дистанционным данным временных зависимостей величин максимального и минимального покрытия ледовой площади СПШ за указанный период, и вычисление регрессионных зависимостей позволила установить, что минимальная среднеквадратичная ошибка отклонения от аппроксимируемой кривой может быть получена для полинома четвертой степени. Таким образом, используемую в большинстве работ модель линейного тренда с отрицательным временным градиентом для минимального значения ледопокрытия за период около 30 лет для СПШ следует признать некорректной, и вопрос о роли площади ледового покрытия СПШ и его стохастического режима в концепции «глобального потепления» остаётся открытым.

Развитие методов научного прогноза изменения климатического состояния системы океан-атмосфера в Арктике и в тропической зоне Земли под воздействием природных факторов на основе современных и перспективных спутниковых комплексов. (2015-2016 год). В том числе в 2015 году: Подготовка и выпуск ТЗ на КЭ Конвергенция и на научную нагрузку для перспективного спутникового комплекса на МКС.;

В рамках подготовки космического эксперимента «Конвергенция», название которого «Определение детальных профилей температуры и влажности атмосферы при исследовании генезиса атмосферных катастроф» (научный руководитель д.ф.-м.-н Е.А.Шарков), подписано ТЗ на КЭ, проведено решение тематической секции КНТС Роскосмоса о введении КЭ «Конвергенция» в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС»,

утвержден сквозной план-график подготовки и проведения КЭ. РКК «Энергия» должна по план-графику в 2015 г. выдать ТЗ на научную аппаратуру «Конвергенция». На 2016 г. намечено выполнение эскизного проекта КЭ «Конвергенция».

4.3.2. Разработка научных подходов организации дистанционного мониторинга природных катастрофических явлений, риска их возникновения и их последствий (ураганов, извержения вулканов и др.) (2014–2016)

В том числе:

Развитие методов формирования научной базы данных глобального тропического циклогенеза и баз данных глобальных радиотепловых полей системы океан-атмосфера на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса (2014-2015 год). В том числе в 2015 году: Создание базы данных глобального тропического циклогенеза за 2015г. и базы данных за 1987-2014гг. микроволновых комплексов по программе DMSP;

Формирование научной базы данных за 1983–2015 гг. глобального тропического циклогенеза

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2015 гг. на основе специального препроцессинга (предварительной обработки) исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. Блок базы данных за 2005–2015 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной из Интернета с сайта Астрономической обсерватории Гавайского университета (<http://www.solar.ifa.hawaii.edu/>). Принципиальной особенностью тропического циклогенеза за 2015г. явилось генезис целого ряда сильнейших за последние десятилетия в земной атмосфере тропических циклонов. Это обстоятельство привлекло пристальное внимание многих специалистов-климатологов и послужило рождению целого ряда гипотез о возможном изменении глобальных циркуляционных процессов в системе океан-атмосфера. В качестве примера ниже приводится видеоизображение с геостационарного ИСЗ ТЦ Patricia. Особое внимание уделяется в настоящее время изучению временной и траекторной структуры этого ТЦ, поскольку он является одним из самых интенсивных ТЦ в акватории Мирового океана за последнее время.

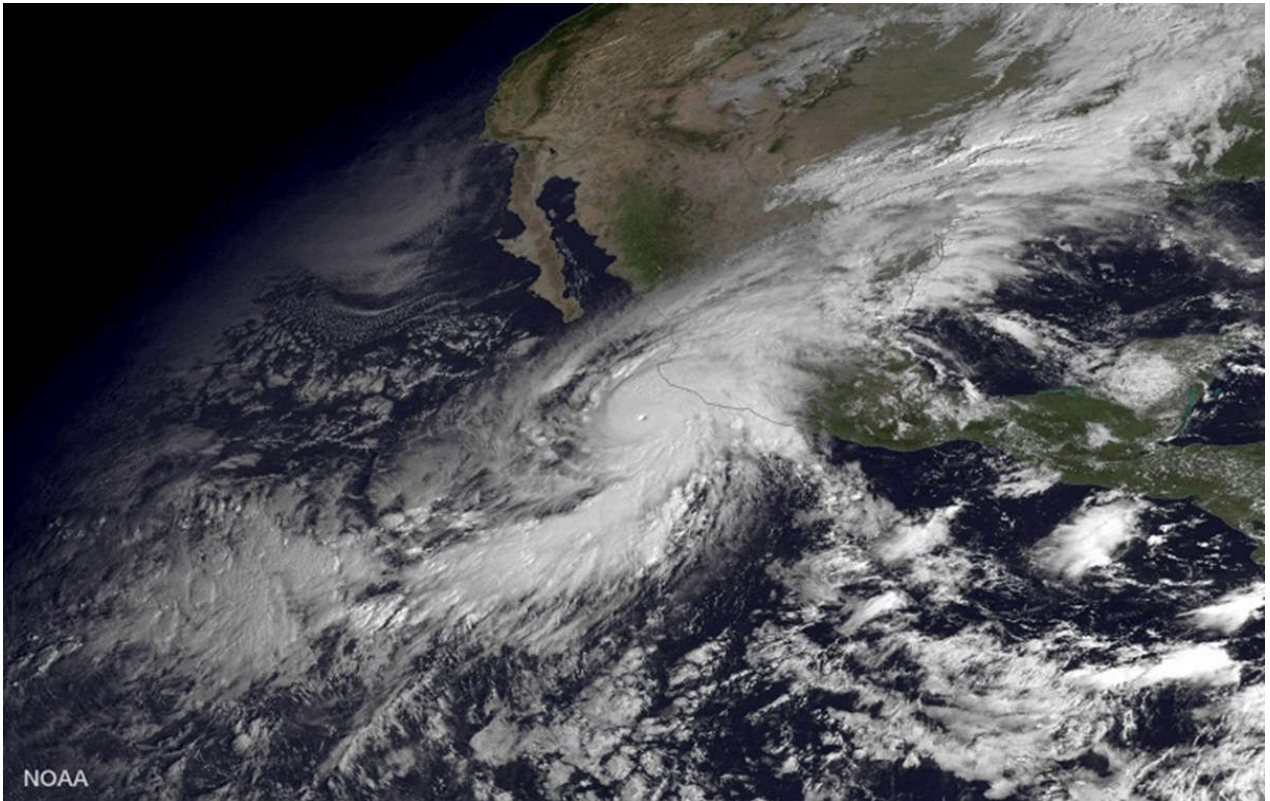


Рис. 4.3.2.1. Видеоизображение с американского геостационара ТЦ Patricia (23 октября 2015г.) в момент наибольшего развития ($V=90\text{ м/с}$) в Северо-восточной части Тихого океана.

Развитие методов формирования научной базы данных глобальных радиотепловых полей системы океан-атмосфера на основе многолетних данных дистанционного микроволнового зондирования по программам DMSP и Aqua

В 2015 году было продолжено формирование, накопление и подготовка к тематической обработке частной научной базы данных POLE-RT-Fields, созданной на основе разработанной в отделе «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН базы данных GLOBAL-RT — данных спутниковых многоканальных микроволновых радиотепловых комплексов по программе DMSP (NASA). К настоящему времени накоплены и подготовлены к тематической обработке данные комплекса AQUA — шестиканального двухполяризационного прибора AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) — за период с 2002 по 2011 годы и данных комплексов программы DMSP — семиканальных микроволновых приборов SSM/I и SMIS (F08-F17) — за период с 1987 по 2015 годы. Разработаны пакеты специализированных программ, позволяющих провести предварительную и тематическую обработку. Использование данных, доступных в указанной базе, позволило начать предварительные исследования по динамике ледового покрова в Арктике и Антарктики. Материалы обработки направлены в печать и частично уже опубликованы (см. список публикаций отдела 55 за 2015 г.).

Разработка научных подходов и методов к организации мониторинга вулканической активности с помощью современных систем и технологий спутниковых наблюдений 2015-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка методов в оценки характеристик

пепловых шлейфов с использованием данных дистанционного зондирования (совместно с ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН).

В рамках работ по разработке методов анализа данных в интересах системы мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил (системы VolSatView) совместно специалистами ИКИ РАН, ИВиС ДВО РАН и ВЦ ДВО РАН разрабатывались инструменты, позволяющие проводить комплексный анализ данных для изучения пепловых шлейфов.

В 2015 году были созданы и интегрированы в VolSatView возможности, позволяющие проводить совместный анализ спутниковых данных (в том числе, продуктов их обработки, обеспечивающих выделение пепловых шлейфов), метеоинформации и результатов моделирования распространения пепловых шлейфов. Пример, одновременного отображения такой информации в VolSatView приведен на рис 4.3.2.2.

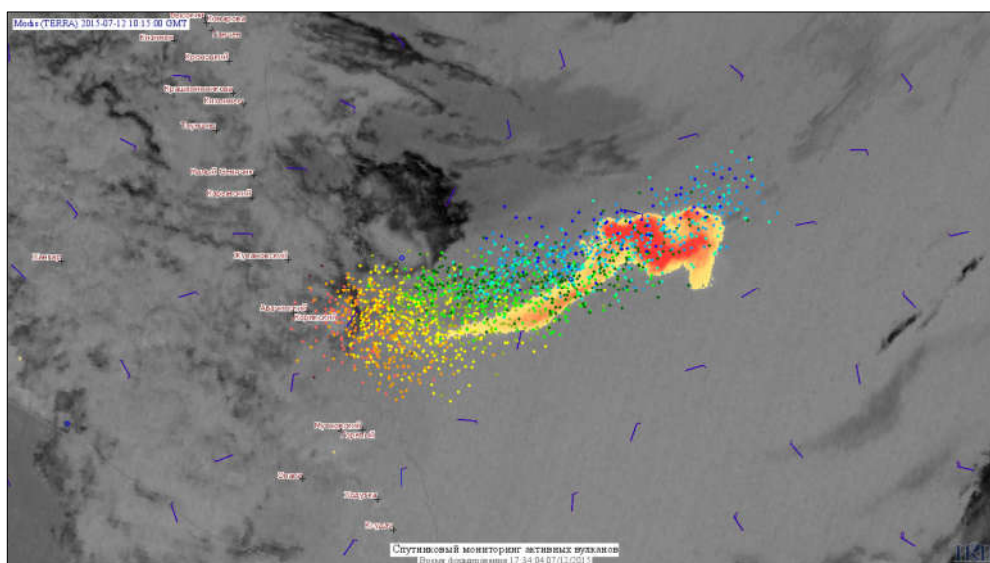


Рис.4.3.2.2. Пепловый шлейф вулкана Жупановский, наблюдавшийся 12 июля 2015 года в 10.20 GMT. Полутонное изображение - данные прибора Modis (желтым и красным выделена зона шлейфа), точками - результаты моделирования, стрелками - ветер на уровне 600 мб.

Разработка физического механизма генерации атмосферных предвестников землетрясений и извержений вулканов. (2015 год).

Среди ряда аномалий, регистрируемых перед сильными землетрясениями и извержениями вулканов, особое место занимают аномалии в атмосфере, поскольку они сопровождаются большим выделением тепла и связанными с этим изменениями температуры окружающего воздуха и относительной влажности. Систематические исследования этих явлений начались с 2005-2006 гг., а комплекс явления, связанных с атмосферными аномалиями вошел в качестве отдельного блока в комплексную модель литосферно-атмосферно-ионосферных связей. В ходе многолетних исследований было установлено, что основным драйвером наблюдаемых атмосферных явлений является ионизация приземного слоя атмосферы энергичными α -частицами, излучаемыми радоном при его эманации из активных тектонических разломов. Это приводит к образованию большого количества ионов, к которым присоединяется большое количество молекул

воды, находящихся в воздухе в виде водяного пара. Такой процесс называется «нуклеацией, индуцированной ионами» - Ion Induced Nucleation (IIN). Процесс носит взрывной характер и приводит к уменьшению количества свободного водяного пара в воздухе, т.е. к уменьшению относительной влажности. А выделение скрытой теплоты вследствие конденсации водяного пара на ионах приводит к увеличению температуры. Дальнейшие исследования позволили получить новый параметр, характеризующий процесс IIN, и названные нами интегральный, поскольку он одновременно «отслеживает» изменения температуры и влажности, а его временной ход соответствует динамике выделения радона в данной области. Параметр был назван коррекцией химического потенциала паров воды и выражается в виде:

$$\Delta U = 5.8 \times 10^{-10} (20T_g + 5463)^2 \ln(100/H)$$

где T_g - температуры воздуха у поверхности Земли, а H - относительная влажность воздуха.

Были получены и опубликованы количественные оценки энергетики данного процесса. В 2015 года проводились систематические исследования сейсмической и вулканической активности на полуострове Камчатка. На Рис. 4.3.2.3. показаны изменения химического потенциала перед извержением вулкана Ключевской в феврале 2015 года.

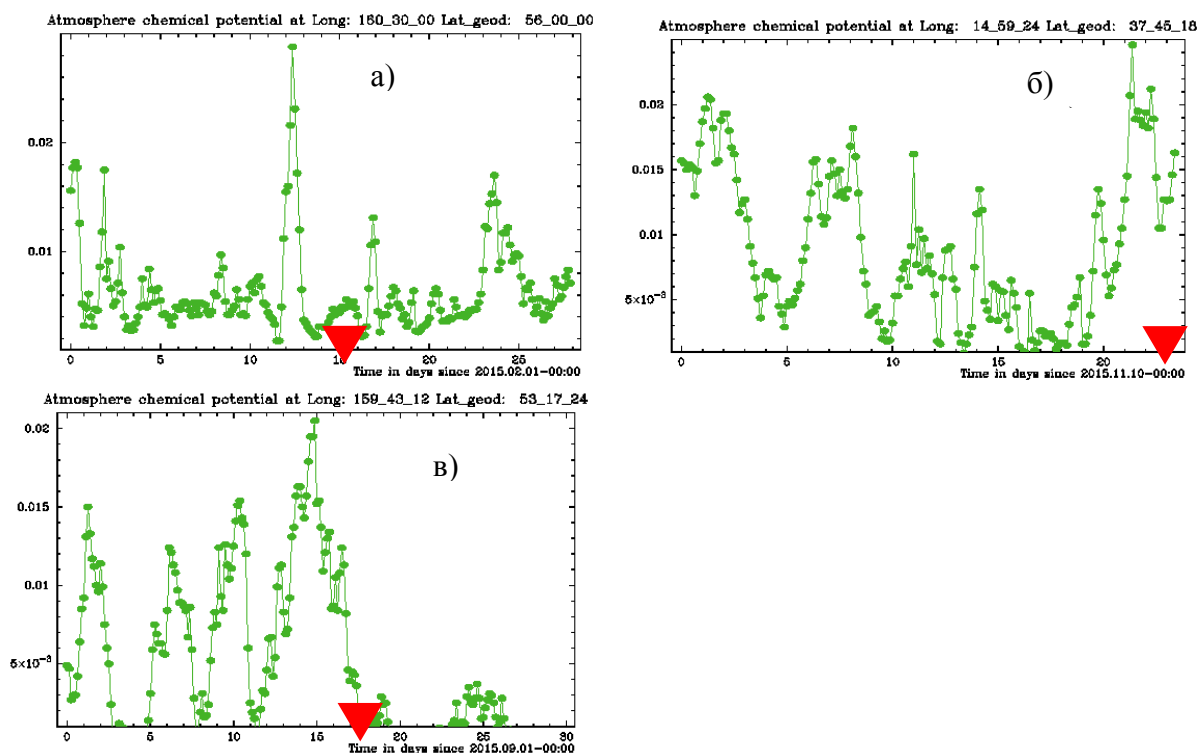


Рис. 4.3.2.3. Вариации химического потенциала: а) в период извержения Ключевского вулкана 15 февраля 2015 г.; б) перед извержением вулкана Этна 2 декабря 2015 г. (ось времени на графике начинается 10 ноября); в) перед землетрясением с магнитудой 5.4 на Камчатке 17 сентября 2015 г.

РАЗДЕЛ 4.4. МОНИТОРИНГ-ОКЕАН

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

4.4.1 Разработка методик микроволновых исследований нелинейной динамики морских волнений и экологического состояния водной среды с применением

современных радиолокационных и скаттерометрических микроволновых комплексов (2014-2015 год). В том числе в 2015 году:

Разработка и экспериментальное подтверждение комбинированного метода радиолокационных измерений тонких параметров поверхностных течений;

В 2015 году были продолжены работы по совершенствованию нового метода радиолокационных измерений параметров поверхностных течений и батиметрии прибрежной зоны. В частности разработано новое программное обеспечение для записи и обработки сигналов радиолокатора в режиме реального времени с последующим вычислением скорости, направления течений и построением карты глубин (рис.4.4.1.1.,4.4.1.2.). Для уточнения структуры спектра, с помощью которого происходит вычисление скорости течений и оценка батиметрии, дополнительно введена коррекция двумерного спектра с помощью МТФ – модуляционной передаточной функции. Отладка и экспериментальная проверка новой версии алгоритма осуществлялась по данным, полученным ранее в экспериментах, выполненных с 2000 – по 2013 годы на полигоне Южного отделения института океанологии им. Ширшова П.П. (г. Геленджик, Голубая бухта). Верификация результатов, вычисленных по предложенной методике, проведена путем сопоставления расчетных данных с разрезами, полученными буксируемым ADCP в 2012 году в аналогичных метеоусловия. Ряд радиолокационных измерений, выполненных в разных метеоусловиях, показал точность измерения скорости течений порядка нескольких сантиметров.

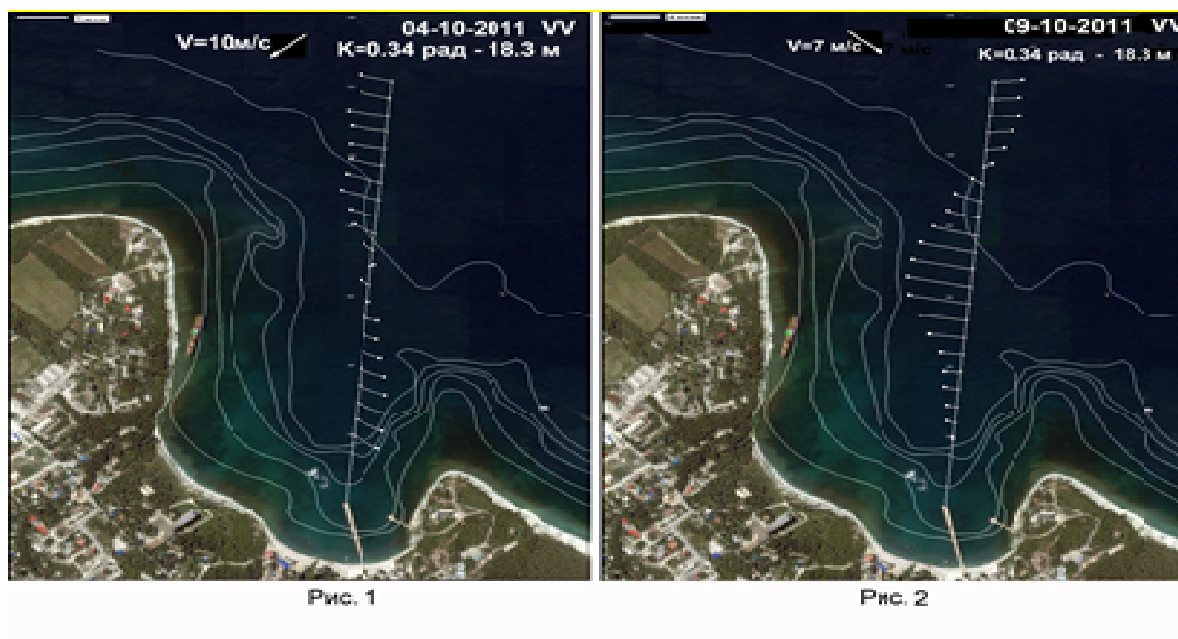


Рис. 4.4.1.1.- 4.4.1.2. Микроволновые радиотепловые методы и средства для высокоточных измерений спектральных характеристик морского волнения.

Возможность использование угловых радиометрических измерений для диагностики спектральных компонент морского волнения в гравитационно-капиллярном интервале является уникальной. Разработка этой методики ведется в рамках метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС) В рамках реализации работ по данному направлению, сотрудники лаборатории 553 в 2015 году проводили анализ динамики спектральных компонент морского волнения. Для решения поставленной задачи использовались данные измерений собственного радиотеплового

излучения взволнованной морской поверхности, полученные в ходе международных натуральных экспериментов серии CAPMOS (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring) и грантов РФФИ в 2005 - 2012 гг. на гидрофизической платформе близ п. Кацивели в Крыму. На примере экспериментальных данных показана высокая степень корреляции восстановленных характеристик спектра со скоростью приповерхностного ветра, это позволило перейти к рассмотрению спектрально-ветровых зависимостей.

Значительный разброс амплитуд спектральных компонент, полученных в экспериментах, свидетельствует о многообразии воздействий метеопараметров на морскую поверхность, определяющих условия волнообразования: скоростей ветра, его направлений, времени ветрового воздействия, температур воды и приводного слоя атмосферы, степени стратификации. Дальнейший анализ полученных данных показал, что необходима тщательная сортировка условий воздействий на морскую поверхность.

На Рис. 4.4.1.3. приведен пример отфильтрованных данных для зависимости амплитуды спектральной компоненты волнения $K=7.22$ rad/cm от значения параметра, определяющего степень стратификации приводного слоя атмосферы. Другой пример отсортированных и усредненных данных 2007 и 2009 годов приведен на Рис. 4.4.1.4.. Здесь показана зависимость изменения амплитуды спектральных компонент от скорости приводного ветра. Интересно отметить, как зависимости амплитуд спектральных компонент, полученных в 2009 году «продолжают» аналогичные зависимости 2007 г. Эти примеры показывают, что дальнейший анализ экспериментальных зависимостей будет возможен только после сортировки полученных данных, как по условиям волнообразования, так и с учетом оценки качества решения задачи восстановления параметров спектра на базе метода HPPC

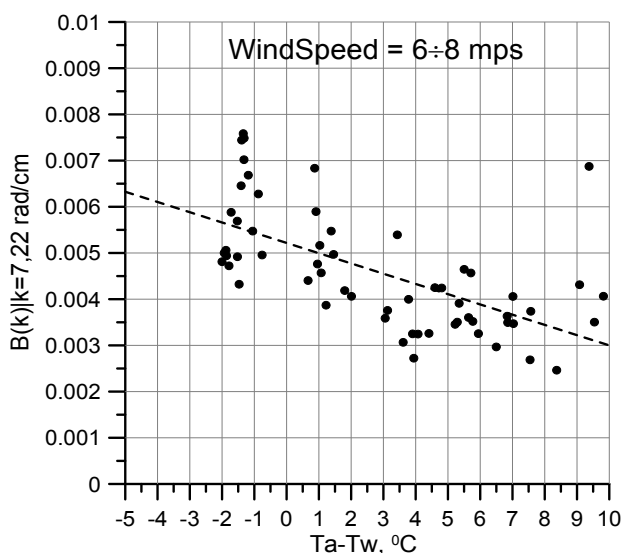


Рис. 4.4.1.3. Зависимость амплитуды спектральной компоненты $=7.22$ rad/cm от значения параметра .

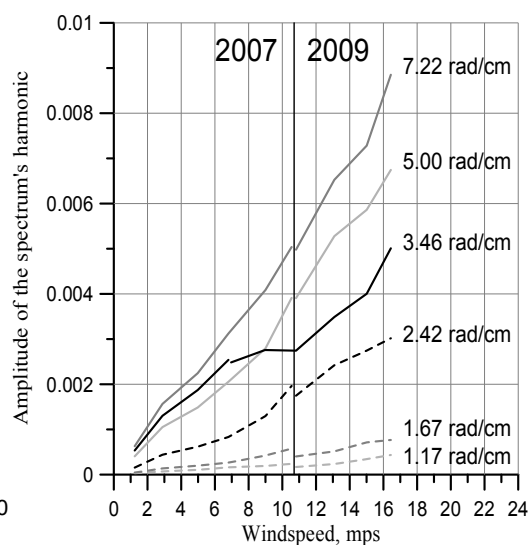


Рис. 4.4.1.4. Ветровая зависимость амплитуды спектральных компонент. Пояснения даны в тексте.

Метод HPPC представляет собой альтернативный способ получения информации о структуре ветрового волнения. Возможность восстановления абсолютных значений амплитуды спектральных компонент волнения, в совокупности с оперативностью получения итоговых данных и их высокой точностью, делают его незаменимым

инструментом в задачах исследования процессов и явлений, имеющих место в системе океан-атмосфера.

4.4.2 Разработка методик обработки и совместного анализа данных новейших сенсоров космического базирования для решения задачи контроля экологического состояния российских морей и внутренних водоемов (2014-2015 год). В том числе в 2015 году: Доработка и уточнение методик совместного анализа данных сенсоров OLI Landsat, Hyperion, HICO, C-SAR Sentinel - 1 для решения задачи контроля антропогенного и биогенного загрязнения прибрежной зоны российских морей и волжских водохранилищ.

Методика использования спутниковых гиперспектральных данных для решения задач контроля и изучения различных явлений, происходящих во внутренних водоемах, а также мониторинга состояния пойм и русел рек на локальном уровне отработывалась на основе анализа данных, полученных спутниковым сенсором Hyperion над тестовым районом, захватывающим вершину дельты Волги примерно в 50 км выше г. Астрахань, в узле отделения от основного русла реки Волги левого крупного дельтового рукава –Бузана.

Выбор тестового района определялся тем фактом, что волжские воды оказывают существенное влияние на гидрооптические характеристики всей восточной части Северного Каспия и на прибрежный западный район Среднего Каспия.

Показано, что использование спутниковых гиперспектральных данных позволяет расширить границы проведения научных исследований, в том числе и в области русловых процессов.

4.4.3 Разработка методов количественной оценки параметров состояния морской поверхности на больших акваториях и их эволюции на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка методов количественной оценки антропогенных загрязнений морской поверхности на больших акваториях. Ретроспективный анализ нефтяного загрязнения Балтийского и Черного морей по данным спутниковой радиолокации.

С использованием созданного в ИКИ РАН геопортала «See the Sea» продолжены разработки методов количественной оценки степени фонового загрязнения морской поверхности в местах естественных выходов углеводородов с морского дна. Проведен ретроспективный анализ всех радиолокационных изображений морской поверхности, полученных сенсорами SAR ERS-2 and ASAR Envisat в 2009-2011 гг, над континентальным шельфом Черного моря в районе Поти-Батуми где на дне расположены

4 холодных метановых сипа, отличительной чертой которых является присутствие следов нефти в донных газогидратах, что приводит к появлению на поверхности моря нефтяных пятен природного происхождения. Проведено сравнение результатов ретроспективного анализа и результатов анализа РЛИ МП, полученных в том же районе SAR Sentinel-1 за период октябрь 2014 – 2015 гг. Выявлена межгодовая изменчивость в частоте появления и индивидуальных размерах нефтесодержащих пятен на морской поверхности. Построена карта нефтяного загрязнения МП Черного моря в районе грузинского шельфа,

позволяющая оценить степень вероятности загрязнения различных участков морской поверхности в районе интереса.

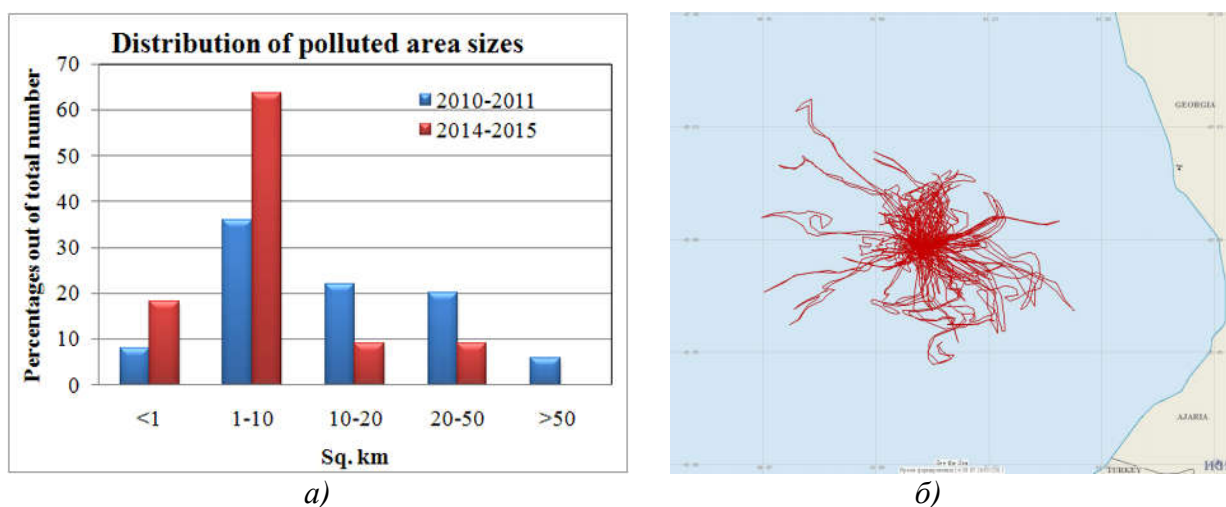


Рис. 4.4.3.1 а) Распределение индивидуальных размеров нефтяных slickов, обусловленных естественными выходами углеводородов на поверхность в районе грузинского шельфа по спутниковым данным

б) Схема расположения нефтесодержащих slickов, обусловленных естественными выходами углеводородов на поверхность в районе грузинского шельфа по спутниковым данным

4.4.4 Развитие методов научного прогноза изменения экологического состояния водной среды под воздействием природных и антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных. (2015-2016 год).

Разработка методов научного прогноза изменения экологического состояния водной среды под воздействием антропогенных факторов на основе современных спутниковых данных

Развиты методы прогнозирования изменения экологического состояния водной среды под воздействием антропогенных факторов на основе совместного анализа многолетних рядов спутниковых данных оптического и микроволнового диапазона. Эти методы опробованы для акватории Балтийского моря с использованием данных за двадцатилетний период времени (1995-2015 гг.), полученных сенсорами SAR ERS-1,2, ASAR Envisat, SRSentinel-1, MODIS Terra/Aqua, MERIS Envisat, сенсоры спутников серии Landsat.

Выявлено, что на протяжении последних 10 лет, основным источником загрязнения поверхности моря нефтесодержащими пленками остается несанкционированный сброс с судов вод, загрязненных нефтепродуктами. Показано, что ситуация, связанная с этим типом загрязнений, в последние годы значительно улучшилась, что является следствием усиленного контроля различных организаций стран региона за экологическим состоянием вод. Установлено наличие межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости эвтрофикации Балтийского моря и выявлена зависимость интенсивности цветения сине-зеленых водорослей от объемов береговых стоков и степени загрязненности в результате хозяйственной деятельности.

4.4.5 Разработка микроволновых методов и средств для восстановления количественных оценок параметров гидродинамических процессов на основе данных

дистанционного зондирования морской поверхности из космоса. (2015-2016 год) В том числе в 2015 году: Разработка методов и экспериментальное подтверждение оценки параметров вихревых структур в прибрежной зоне Черного моря на основе многосенсорных данных дистанционного зондирования из космоса и подспутниковых измерений

Продолжено развитие методов оценки параметров вихревых структур на основе многосенсорных данных дистанционного зондирования из космоса. Основное внимание уделялось исследованию механизмов генерации, формированию и эволюции мелкомасштабных вихрей и определению районов их пространственной локализации в Черном, Каспийском и Балтийском морях. Показано, что основными механизмами образования мелкомасштабных вихрей являются: ветровой импульс; неоднородности атмосферного потока; сдвиговая неустойчивость течений; речной сток; взаимодействие вихрей и их диссипация; взаимодействие течений с мелкомасштабными особенностями береговой линии (обтекание мысов и бухт). Проведены две серии подспутниковых измерений в юго-восточной части Балтийского моря и в северо-восточной части Черного моря, результаты которых подтверждают оценки, полученные на основе спутниковых данных.

РАЗДЕЛ 4.5. МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Отв. исп. д.ф.-м.н. Ерохин Н.С.

4.5.1. Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей. (2014-2016 год) ; В том числе в 2015 году: Анализ экспериментальных данных по электрической турбулентности в грозовой облачности, возможности реализации обобщенной масштабной инвариантности, влияния перемежаемости и когерентных структур на скейлинги структурных функций электрической турбулентности. Анализ роли электрической турбулентности в динамике спиральных долгоживущих вихрей

На основе экспериментальных данных вертикального профиля электрического поля продолжено исследование структурных функций электрической турбулентности в грозовой облачности. Рассмотрены также аналитические модели электрической турбулентности, учитывающие фактор ее перемежаемости введением соответствующей функции. Исследованы инерционные интервалы электрической турбулентности (они имеются на малых и средних масштабах), в частности, получены скейлинговые экспоненты, величины индекса Херста и куртозиса. В инерционных интервалах рассмотрены отклонения структурных функций от чисто степенного скейлинга. Подтверждено, что для интервалов малых и средних масштабов может не выполняться обобщенная масштабная инвариантность электрической турбулентности, что обычно обусловлено наличием перемежаемости электрической турбулентности, а также присутствием когерентных электрических структур достаточной амплитуды. Показано, что важную роль в генерации атмосферных вихрей играют аэрозольные частицы поскольку геомагнитное поле влияет на структурные изменения неоднородной среды при возбуждении плазменных вихрей и их взаимодействии. При столкновениях вихрей с центром на одной геомагнитной силовой линии вероятно их слияние с образованием более мощного вихря. Полученные результаты могут быть использованы для последующих корректных оценок роли электрических подсистем мощных атмосферных вихрей в формировании самосогласованной, неоднородной структуры ветровых потоков, а также для численного моделирования нелинейной динамики ТЦ на основе схем параметризации, учитывающих электрические подсистемы. Это несомненно важно для

развития методик современной обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов обработки, учитывающих влияние электрических подсистем.

4.5.2 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов в целях разработки средств исследований гидросферы и атмосферы, в том числе для выявления долгопериодических вариаций и зависимости их от внешних факторов. (2014-2016 год) В том числе в 2015 году: Исследование на основе малопараметрической модели влияния вариаций фоновой обстановки на динамику крупномасштабных вихрей в атмосфере Земли и гидросфере. Анализ корреляций этих процессов, зависимости долгопериодических корреляций от фоновой обстановки.

На основе дальнейшего развития малопараметрической модели ТЦ проведен анализ влияния вариаций фоновой обстановки на динамику крупномасштабных вихрей в атмосфере Земли и гидросфере. Рассмотрена корреляция этих процессов и зависимости динамики ТЦ от долгопериодических вариаций от фоновой обстановки. Данная модель будет использована при последующем анализе динамики крупномасштабных вихрей в атмосфере Земли для различных значений исходных параметров задачи. На основе анализа экспериментальных данных показано, что в динамике вихрей типа ТЦ существенно влияние смога (водяной пар, смесь газообразных и взвешенных частиц – аэрозолей) естественного и антропогенного происхождения, который приводит к вариациям физических параметров атмосферы включая изменения погоды и климата. Смог может стимулировать локальные обильные осадки, наводнения, рост блокирующих антициклонов. Неравномерное распределение смога приводит к появлению дополнительного фактора в формировании полей градиентов давления и образовании мощных вихревых структур. Мощные циклоны захватывают и переносят пыль и частицы песка. Накопление загрязнений в атмосфере связано с областями высокого давления в антициклонах и вертикальными градиентами давления. Таким образом в последующих исследованиях малопараметрической модели необходимо корректно учесть влияние смога на динамику мощных вихрей, а также продолжить анализ влияния долгопериодических корреляций от фоновой обстановки в зоне ТЦ.

Рассмотрена возможность применения статистических характеристик угловой структуры отражённого поля яркости Земли для определения потоков радиации. На основе измерений солнечной радиации в области спектра 0,74 мкм сканирующим вдоль трассы полёта фотометром со спутников серии "Космос" проведен анализ результатов восстановления потоков радиации на основе статистических характеристик угловых распределений яркости различных земных образований и облачности: средние по ансамблю профили яркости и средние квадратичные отклонения, корреляционная матрица. Выпуклые и вогнутые угловые распределения, классифицированные по коэффициенту яркости в надире, отражённой солнечной радиации и вариации этих распределений. Эти показатели используются в задаче космической метеорологии для пересчёта интегральных интенсивностей в потоки в мировое пространство в районе земного объекта и попавшей в поле зрения прибора..

Рассмотрена возможность инстантоноподобного механизма для переходов между течениями АВС типа с левой и правой спиральностью в развитой гидродинамической турбулентности, возбуждаемой внешней случайной силой. Дана оценка времени перехода между состояниями с левой и правой спиральностью $\tau \sim 1 / \nu \cdot k^2$, где ν - турбулентная вязкость, k – волновое число спирального возмущения. Для расчетов характеристик течений АВС применялся квантовополевой формализм статистической гидродинамики, в

котором спиральные течения с левой и правой спиральностями являются локальными минимумами функционала эффективного действия.

Продолжено исследование связи различных компонент природного радиоактивного фона с климатическими и метеорологическими явлениями. Долговременный мониторинг потоков нейтронов на станции Центра аэрокосмических технологий (Sao Jose dos Campos, Бразилия) позволил впервые выявить суточную вариацию потока нейтронов вне помещения на открытом воздухе. При этом амплитуда вариации достигает нескольких десятков, что заметно превышает соответствующие амплитуды вариаций природных γ и α -излучений. Показано, что столь большая величина эффекта связана с ограниченным временем жизни нейтронов расстоянием, с которого собираются регистрируемые детектором нейтроны. В отличие от внешнего детектора скорость счета детектора в закрытом помещении в пределах статистической погрешности остаётся стабильной, что согласуется с результатами известных экспериментов. Кроме отмеченных закономерностей, наблюдаются также спорадические вариации различной длительности, возможно связанные с грозовыми разрядами и сейсмической активностью.

Предложен метод определения суммарной концентрации радиоизотопов ^{214}Pb и ^{214}Bi в дождевых осадках по интенсивности испускаемого при их распаде γ -излучения. Последняя пропорциональна мгновенной концентрации радиоизотопов и определяется суммой экспонент распадов всех ранее выпавших радиоизотопов. Процесс описывается интегральным уравнением Вольтерра первого рода с разностным ядром в виде линейной комбинации экспонент распада изотопов. Для решения применён оригинальный пошаговый численный метод. Использование метода для анализа данных мониторинга γ -компоненты естественного радиационного фона на станции Центра аэрокосмических технологий (Сан Жозе дос Кампус, Бразилия) позволило выявить резкие повышения концентрации радиоактивности в первые моменты дождя. Сопоставление уровня радиоактивности в осадках с характеристиками осадков показало, что концентрация выпавших радиоизотопов в дождевой воде уменьшается с увеличением среднего объёма дождевых капель с показателем степени 0.8.

Рассмотрено влияние неоднородных зональных ветров на распространение нелинейных внутренних гравитационных волн (ВГВ) в атмосфере. Получена замкнутая система нелинейных уравнений для ВГВ. Получено условие существования уединенных вихрей в атмосфере с неоднородным зональным ветром. Показано, что горизонтальная скорость перемещения этих вихрей может быть значительно меньше скорости звука. Изученный механизм обеспечивает эффективный канал переноса энергии от мелкомасштабной турбулентности ВГВ в область глобальных конвективных движений. Данная задача весьма важна для проблемы передачи энергии из литосферы в атмосферу и ионосферу, а также для спутникового и наземного зондирования проявлений кризисных процессов на высотах верхней атмосферы и в ионосфере.

4.5.3 Разработка научных основ и автоматизированных методов и технологий обработки временных серий спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения для решения комплекса задач исследований и мониторинга атмосферы. (2015-2016 год). В том числе в 2015 году: Адаптация алгоритмических средств и накопление данных для задач определения атмосферных метеопараметров с использованием спутниковых измерений в ИК и СВЧ диапазонах спектра.

Данные измерений спектральной энергетической яркости (СПЯ) уходящего излучения, полученные спектрометром ИКФС-2 в первый период летных испытаний на спутнике "Метеор-М" № 2, сопоставлены с измерениями 36-ти канальных сканирующих

радиометров Modis, установленных на ИСЗ Terra и Aqua. Цель сравнительного анализа данных - подтверждение радиометрической и спектральной калибровки ИКФС-2, как измерительного прибора. Выбор радиометров Modis обосновывается 10-летним периодом их успешной эксплуатации, стабильностью работы, радиометрической калибровкой в каждом цикле сканирования и возможностью оперативного доступа к данным. При сопоставлении данных измерений обоснованными требованиями являются учет спектральной чувствительности, аппаратной функции и пространственного разрешения. Диапазон вариаций СПЯ определяется температурой земной поверхности, высотным распределением температуры и концентрации газовых компонент и аэрозоля, высотой и температурой верхней границы облаков и баллом облачности в мгновенном поле зрения. Для радиометров Modis диапазон изменения СПЯ для излучения в окнах атмосферной прозрачности 8-12 мкм составляет 0,1-1,2 мВт / (см²стер¹мкм¹) при требовании к точности измерений радиационной температуры 0,05 °К. Сопоставление данных спектрометрических измерений приборов двух типов с двух спутников наиболее целесообразно проводить для районов с наименьшей временной изменчивостью излучательной способности поверхности при безоблачных условиях. Таким требованиям отвечают измерения над морской поверхностью вследствие большой теплоемкости и тепловой инерции воды и излучательной способности, близкой к 1. Из различных форм облачности наиболее благоприятным случаем является слоистая облачность St с характерной однородной высотой верхней границы и значительной протяженностью. Тем не менее, изменчивость температуры и высоты облаков ограничивает временной разрыв между измерениями с двух спутников. В связи с этим представляется полезным использовать метод сопоставления спектральных распределений интенсивности излучения при условии, что в одном из спектральных интервалов данные измерений с двух спутников находятся в пределах различий к требованиям по допустимой ошибке отношения сигнал/шум. Результаты сопоставления для 12 серий измерений спектров излучения, проведенных с помощью спектрометра ИКФС-2 и радиометра Modis, свидетельствуют о том, что при достижении необходимой температуры приемника излучения и выполнении необходимой технологии обезгаживания для устранения конденсации паров на охлаждаемых элементах, измерения в спектральном диапазоне 10-15 мкм, используемом для решения задачи определения распределения температуры атмосферы по высоте и задачи измерения температуры земной поверхности, соответствуют требованиям технического задания. В коротковолновом участке спектра проведенные измерения подтверждают целесообразность применения двухканальной схемы спектрометра в дальнейших работах. Предусматривается также сопоставление данных измерений спектрометров ИКФС-2 и AIRS.

4.5.4 Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных в целях мониторинга и прогноза состояний атмосферы, включая выявление закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере Земли с учетом зональных ветров, фазовых переходов влаги. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году:

- Анализ закономерностей формирования и последующей динамики мощных вихревых структур в атмосфере от фазовых переходов влаги и восточных волн.***
- Исследование формирования циклонических вихрей в тропической атмосфере Земли в области внутритропической зоны конвергенции.***

Оксид углерода CO в атмосфере является одним из радиационно активных газов, влияющих на трансформацию уходящего теплового излучения. Основными источниками поступления CO в атмосферу служат процессы окисления органики в почве и водной среде и продукты горения растительности во время пожаров с ограниченным доступом

кислорода, сопровождаемые устойчивыми дымами и смогом. Этим условиям в большой степени соответствуют подпочвенные пожары торфяников и пожары на низменных северных районах вечной мерзлоты. Концентрация CO увеличивается также и за счет промышленных предприятий и транспорта. Содержание CO в атмосфере определяется по результатам спутниковых измерений спектрального распределения интенсивности уходящего излучения в полосе поглощения CO (2000-2300) /см для надирных измерений и в режиме углового сканирования и представляет собой решение обратной задачи переноса излучения. Используются данные спектрометра AIRS спутника Aqua с спектральным разрешением 1200. Независимым методом высотное распределение концентрации CO определяется по данным вблизи земного горизонта со спутника AURA микроволновым зондировщиком MLS. По результатам этих измерений получено, что распределение CO по высоте обладает максимумом на уровнях (600-360) мбар. При пожарах на больших территориях возможность накопления общего содержания CO в атмосферном столбе обусловлена условиями циркуляции воздушных масс и усиливается при замкнутых траекториях воздушных потоков и при инверсии температуры в тропосфере.

Значительное время жизни CO в атмосфере около 0,1 года создает возможность использовать содержание CO в качестве маркера состояния воздушной массы и положения фронтальных зон и зон конвергенции. Свойство CO как маркера изменчивости воздушной массы служит обоснованием метода измерения газового состава в пробах, взятых с различной глубины ледового купола Гренландии. Результаты выявили периоды и тренды временной изменчивости содержания окиси углерода. Стоком содержания CO как атмосферной газовой компоненты является окисление гидроксидом OH и вследствие этого CO как маркер может рассматриваться в процессах тропосферно-стратосферного обмена.

Независимым методом высотное распределение концентрации CO определяется по данным вблизи земного горизонта со спутника AURA микроволновым зондировщиком MLS. По результатам этих измерений получено, что распределение CO по высоте обладает максимумом на уровнях (600-360) мбар. При пожарах на больших территориях возможность накопления общего содержания CO в атмосферном столбе обусловлена условиями циркуляции воздушных масс и усиливается при замкнутых траекториях воздушных потоков и при инверсии температуры в тропосфере.

Продолжены исследования регистрации нестационарных полей турбулентных флуктуаций давления при турбулентном обтекании в турбулентном пограничном слое при высоких числах Рейнольдса. Основное внимание сосредоточено на повышении разрешающей способности экспериментальных исследований турбулентных пульсаций. На основе представлений о частотно-волновом спектре и теории волновой фильтрации поля турбулентных пульсаций давления акустическим преобразователем конечных волновых размеров развит метод восстановления турбулентных спектров из зарегистрированных экспериментальных данных турбулентных шумов обтекания. Разработанный метод учитывает эффекты от воздействия на датчик пульсаций давления акустических шумов, турбулентных флуктуаций температуры и вибраций в турбулентном пограничном слое на обтекаемой поверхностью.

Исследования спиральной самоорганизации конвективных процессов 2015 г. были продолжены в рамках совместных российско-американских работ, позволяющих использовать американские атмосферные данные высокого пространственного разрешения. Была предложена интерпретация тропического циклогенеза как экстремального порогового явления в спиральной атмосферной турбулентности и начаты работы по анализу турбулентной статистики, предполагающей получение данных о переносе энергии и спиральности между движениями разных пространственных масштабов в процессе зарождения и развития тропических циклонов.

Одно из наиболее интригующих явлений в атмосфере Земли - блокирование погодных аномалий, часто связывают с появлением неподвижных или заблокированных волн Россби в зональных течениях. Для описания волн Россби в квазидвумерных потоках традиционно используют квазигеострофическую форму уравнения переноса потенциальной завихренности - уравнение Обухова-Чарни. Был построен класс точных решений этого уравнения, описывающий волны Россби на зональном течении с постоянным горизонтальным сдвигом. Особенности волновой динамики принципиальным образом зависят от отношения длины волны к радиусу деформации Россби. Когда отношение достаточно велико, существует длительная квазистационарная стадия эволюции, на которой меридиональное волновое число и значение полной энергии волны (близкое к максимальному значению) практически не меняются со временем. Данный эффект реализуется в условиях преобладающего вклада деформации свободной поверхности атмосферы в потенциальную завихренность. Показано, что этот эффект может приводить к новым сценариям фазовой и амплитудной блокировки волн Россби. Существенную роль здесь играют и фазовые переходы влаги.

На основе квазинормальных аппроксимаций и каскадной модели спиральной турбулентности рассмотрены взаимодействия, нарушающие симметрию положительной и отрицательной компонент полной спиральности. В идеальном случае отсутствия одной из них уравнения имеют два знакоопределенных интеграла движения, что приводит к реализации обратного каскада энергии, как это имеет место для двумерной турбулентности. Как результат неустойчивости вторых моментов, механизм которой был предложен в (Belian et. al. 1998), генерация крупномасштабных мод рассмотрена на основе фурье-уравнений гидродинамики в предположении квазинормальности поля скорости. Определяющим в таком механизме является наличие фоновой турбулентности с крупномасштабными спиральными возмущениями и мелкомасштабными источниками энергии и спиральности. Возможность обратного каскада в случае неполного вырождения одной из компонент спиральности изучена на основе численных экспериментов с каскадной моделью. Показано, что для реализации обратного, в сторону крупных масштабов потока энергии от мелкомасштабных возмущений, необходим генерируемый внешним воздействием определенный уровень спиральных шумов в крупных модах, зависящий от степени перемешивания разнознаковых спиральных компонент поля скорости.

4.5.5. Разработка и применение алгоритмов обработки натурных данных, средств исследований состояний атмосферы, в том числе методик дистанционного определения характеристик облачности на основе измерений собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка приложений дистанционного определения характеристик облачности на основе измерений собственного ИК-излучения атмосферы и отраженной солнечной радиации.

В целях повышения эффективности использования космических средств высокодетального наблюдения рассматривались вопросы разработки достаточно дешевой спутниковой камеры предварительного обзора. Для выявления безоблачных участков с целью последующей съемки их с борта космического аппарата (КА) рассмотрены различные методы и алгоритмы быстрого автоматического распознавания областей закрытых облачностью.

Для выявления облачности часто применяются алгоритмы распознавания, основанные на использовании спектральных каналов приёмника, в которых искомые объекты имеют значимые особенности: например уникальные полосы поглощения или пропускания. Предложена группа методов выявления облачности на основе анализа кажущегося

движения, основанная на псевдостереозффекте, возникающем при совместном анализе перекрывающихся областей соседних снимков, которые могут быть получены последовательной съёмкой серии кадров или двумя линейными сенсорами. Также рассмотрена группа методов на основе классических алгоритмов классификации и машинного обучения. Эти группы методов ориентированы в первую очередь на использование высокодетальных снимков без специальной привязки к спектральным каналам (например, панхроматических или в псевдоцветах), что даёт некоторую универсальность в выборе источников.

Основываясь на том, что предложенный псевдостереовизионный подход различает облака только расположенные на значительной высоте (начиная от нижнего яруса облачности - до 2 км), совместное применение его с алгоритмами классической классификации, которые фиксируют облачность вне зависимости от высоты, может быть использовано как для повышения достоверности выявления облачности, так и для различения естественной облачности и облаков физиологически активных веществ (ФАВ) и/или пылеаэрозольных облаков в приземных слоях.

Разработанные методы и алгоритмы опробовались на модельных расчетах и по реальным спутниковым снимкам разного пространственного разрешения. Оценивались характерные масштабы безоблачных участков. Результаты работы могут быть использованы при создании различных систем ДЗЗ, для основных сенсоров которых наличие облачности в кадре является помехой. Проведено сопоставление данных измерений нового спектрометра ИКФС-2 со сканирующими радиометрами и выделен класс задач для исследования точности радиометрических данных в условиях измерений над облачными полями.

4.5.6 Развитие методов определения микрофизических свойств рассеивающих сред, включая атмосферу, на основе использования двухпозиционных схем лидарного зондирования. (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка методик определения микрофизических свойств атмосферы на основе двухпозиционных схем лидарного зондирования.

Проведено исследование режимов работы лидара-нефелометра для адаптации параметров зондирующей системы к характеристикам рассеивающей среды. Рассмотрен принцип работы лидара-нефелометра с коаксиальной схемой с использованием двухпозиционных схем лидарного зондирования. В режиме нефелометра предложен метод определения аппаратной функции с помощью перфорированных экранов, вносящих заданные искажения в поле зрения и геометрию зондирующего пучка. Обосновано упрощение калибровки по измерению аппаратной функции. Обоснована связь аппаратной функции с площадью пятна, ограниченного полем зрения приемного канала.

Проведены измерения фрагмента аппаратной функции для макета приемного канала. По отношению обратных сигналов в режиме нефелометра и лидара введен индикатор, зависящий от коэффициента экстинкции. Для наблюдения искажений пучка для коаксиальной схемы необходим дополнительный приемный канал с другим геометрическим форм фактором (ГФФ) по отношению к зондирующему пучку. По отношению сигналов, измеряемых приемными каналами можно определять искажения ГФФ. Показано, что это отношение так же может быть использовано для измерения коэффициента экстинкции (КЭ). Для этого необходимо измерение аппаратной функции с использованием перфорированных экранов. Рассмотрена задача измерений КЭ нефелометром с параллаксом для схемы с двумя приемными каналами. Показано, что при увеличении параллакса чувствительность нефелометра к измерению КЭ повышается. Наглядно показана возможность настройки геометрии инструмента на измерения

заданного КЭ на открытых трассах. Получены соотношения между оптимальным для измерений КЭ и геометрическими параметрами зондирующей схемы.

РАЗДЕЛ 4.6. МОНИТОРИНГ-ЭФФЕКТ

Отв. исп. Полянский И.В.

4.6.1. Разработка предложений по созданию перспективных методов и систем спутниковых наблюдений Земли из Космоса. В том числе в 2015 году: Разработке базовых требования к перспективным российским обеспечивающим непрерывный оперативный мониторинг природных и антропогенных объектов.

Комплекс оперативного мониторинга Горизонт-МП предназначен для эксплуатации в составе гидрометеорологического космического комплекса четвертого поколения «Метеор-МП» с целью получение многозональных изображений подстилающей поверхности и данных измерений уходящего излучения системы «земная поверхность – атмосфера» в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Комплекс можно отнести к классу аппаратуры ДЗЗ для широкозахватной съемки, которую следует рассматривать, как один из путей оптимизации съемочных систем глобального землеобзора, а также при мониторинге земной поверхности в интересах широкого круга пользователей, изучающих сезонные явления и, в том числе, чрезвычайные ситуации природного и антропогенного происхождения.

В аппаратуре Горизонт-МП предлагается решить задачу сочетания относительно высокого пространственного разрешения с широким углом захвата путем использования в съемочных устройствах крупноформатных матричных фотоприемных устройств в сочетании с оптическим сканированием – перенацеливанием оптической оси инструмента по заданной траектории.

Несомненные преимущества кадровой съемки заключаются в одновременном экспонировании десятков миллионов пикселей матрицы и однозначности их взаимного геометрического расположения. При этом угол поля зрения съемочной системы, или полоса захвата, определяется используемым узлом оптического сканирования. Она может быть много больше угла поля зрения, определяемого геометрическими размерами матрицы и фокусным расстоянием используемого объектива.

Сканирование матрицей во много раз выгоднее, чем сканирование линейкой. Максимальная длина современных ВЗН линеек не превышает 12000 пикселей, тогда как крупноформатные КМОП матрицы имеют число пикселей от $20 \cdot 10^6$ до $100 \cdot 10^6$.

Рассматриваемый в данном проекте комплекс оперативного мониторинга «Горизонт-МП» представляет собой дальнейшее развитие многозональной съемочной аппаратуры, обладающей принципиально новым сочетанием качеств в сравнении с существующими отечественными и зарубежными приборами ДЗЗ

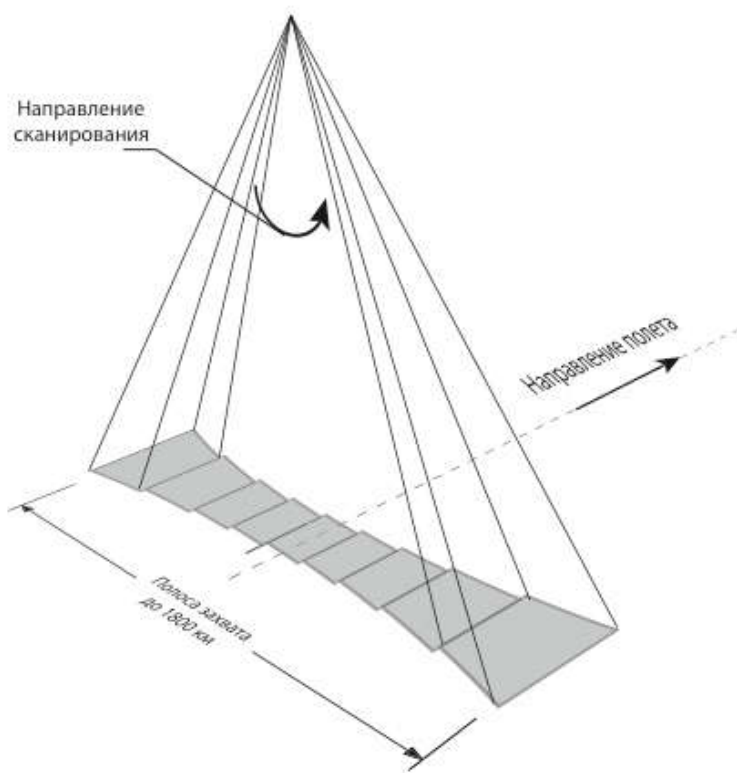


Рис. 4.6.1.1. – Схема съемки комплекса Горизонт-МП

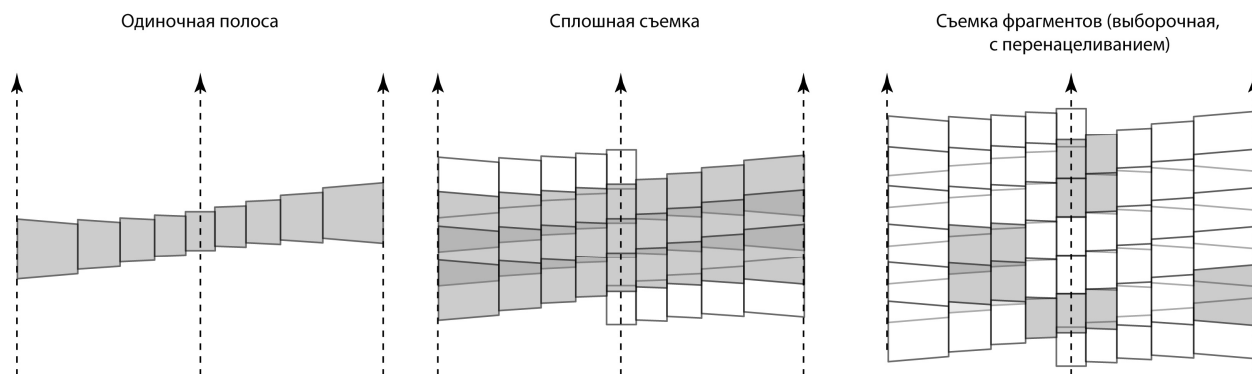


Рис 4.6.1.2. – Возможные варианты организации съемки

Предлагаются два варианта построения аппаратуры Горизонт-МП:

- на базе шести многозональных съемочных устройств типа МСУ-100ТМ на линейных ПЗС;
- на базе вновь разрабатываемого многозонального съемочного устройства МСУ-Горизонт, построенного с применением современных крупноформатных матричных приемников излучения и оптико-механического сканирования.

Способ съемки, реализуемый в многозональном съемочном устройстве МСУ-Горизонт обеспечивает получение изображений подстилающей поверхности в полосе захвата до 1800 км с пространственным разрешением 30 м в надире. Кроме того, размер предлагаемой к применению крупноформатной фоточувствительной матрицы $20 \cdot 10^6$ пикселей позволяет рассматривать отснятые кадры как самостоятельную продукцию,

имеющую самостоятельную ценность для наблюдателя, а высокое быстродействие матриц предоставляет возможность для многократного перенацеливания съемочного устройства поперек трассы полета и возвращения в исходное положение за время пролета одного кадра.

Использование поворотного зеркала в МСУ-Горизонт и малоапертурного калибратора обеспечивает техническую возможность радиометрической калибровки оптико-электронного тракта по солнечному излучению при штатной эксплуатации на космическом аппарате.

Проведенные расчеты показали техническую возможность выполнения требований к пространственному разрешению, полосе обзора, динамическому диапазону, отношению сигнал/шум в выбранных спектральных зонах и другим характеристикам целевой информации Горизонт-МП.

4.6.2. Разработка методов и средств повышения качества калибровки и привязки данных российских приборов ДЗЗ, в том числе синтеза и радиометрических свойств изображений приборов

МСУ-100 и МСУ-50 (КА "Метеор-М" №1 и №2). (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Разработка методов и средств обработки данных МСУ-100 и МСУ-50 (КА "Метеор-М" №2);

В январе-феврале 2015 г. по однородным снежным полям Антарктиды проведена полетная радиометрическая калибровка камер, входящих в состав модернизированного Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС-М) на борту КА «Метеор-М» №2, который был выведен на орбиту в июле 2014 г. КМСС-М включает в себя две камеры МСУ-100 с разрешением около 60 м и тремя спектральными зонами в видимом и ближнем ИК диапазонах, оптимизированными для съемок суши, и одну камеру МСУ-50 с разрешением около 120 м и тремя спектральными зонами в видимом диапазоне, оптимизированными для мониторинга водных объектов. В качестве калибровочного эталона использовалось угловое распределение коэффициента яркости антарктического снега на верхней границе атмосферы, построенное по данным спектрорадиометра MODIS на КА Terra, стабильность которого была подтверждена результатами многолетних съемок Антарктиды, выполненных MODIS и камерами КМСС на борту КА «Метеор-М» №1. Получено, что абсолютная чувствительность каналов камер КМСС-М на «Метеор-М» №2 изменилась в полете на 10-20% по сравнению с результатами наземных калибровок, что можно объяснить изменением температуры камер. Проверка абсолютной чувствительности камер КМСС-М по Антарктиде будет проводиться ежегодно.

4.6.3 Исследование методов выбора типов пороговых элементов (ПЭ) в МПД, ориентированных на повышение эффективности работы мажоритарных методов помехоустойчивого кодирования в условиях большого уровня шума при передаче данных по спутниковому или космическому каналу.

Решённая автором отчёта в 2015 году задача является весьма важным шагом на пути к решению проблемы простого достижения любой произвольно высокой достоверности различных цифровых потоков и массивов при небольшой сложности алгоритмов многопорогового декодирования (МПД), их реализующих. Эти алгоритмы составляют основу оптимизационной теории кодирования.

В течение 2015 года были рассмотрены различные методы увеличения кодового расстояния в кодах, применяемых в декодерах порогового типа для двоичных свёрточных кодов. Как известно, корректирующая способность кодов растёт с повышением кодового

расстояния. Однако используемые для их декодирования алгоритмы обычно не могут полностью реализовать возможности кодов и при большом уровне шума эффективность многих декодеров падает.

Детальный анализ поведения основных модификаций многопороговых декодеров (МПД) при различных уровнях шума показал, что существует возможность такого использования пороговых элементов в декодере типа МПД, что они будут активно взаимодействовать между собой. Это создаст условия для более эффективной работы МПД в каналах именно с большим уровнем шума, так как в этом случае каждый ПЭ активно помогает соседним ПЭ принимать правильные решения, более эффективные, чем если бы все ПЭ работали независимо. При этом сложность вычислений в декодере нарастает очень незначительно или даже вовсе не растёт.

Этот новый способ кодирования и последующего декодирования был назван дивергентным кодированием, обоснован и уже активно публикуется разными исследователями, в том числе и автором данного отчёта. Разработанный метод обеспечивает постепенное увеличение кодового расстояния по мере перехода символов от одного ПЭ к другому. Другие методы некаскадного увеличения кодового расстояния в кодах в литературе до настоящего момента не были описаны.

По итогам разработки новых ПЭ, взаимодействующих друг с другом, в 2015 г. был получен **патент на изобретение №2557454** "Способ декодирования помехоустойчивого кода" от 25.06.2015 для новых вариантов реализации декодеров.

В развитие результатов по значительному повышению эффективности методов МПД декодирования в Роспатент подана заявка на патент на изобретение эффективного оптимального декодера, который может особенно успешно работать при большом уровне шума, что чрезвычайно важно для систем дальней космической связи.

В случае получения патента это позволит ещё приблизиться к пропускной способности канала (к границе Шеннона) примерно на 0,3 - 0,4 дБ, что для каналов с большим уровнем шума, где добиваться роста эффективности уже особенно трудно, будет очень хорошим результатом. Текущий уровень отношения энергии передачи к спектральной плотности мощности шума в настоящий момент для варианта МПД, который может быть аппаратно реализован на теоретически максимально возможных скоростях, составляет порядка $E_b/N_0 \approx 1,5$ дБ. Это соответствует лучшим достижениям зарубежных фирм, целенаправленно занимающихся разработками аппаратуры помехоустойчивого кодирования. Однако характеристики скоростной производительности алгоритмов МПД при аппаратной их реализации с учётом патента РФ автора на изобретение № 2377722, будут в десятки, а возможно, что и в большее число раз превышать производительность других конкурирующих с МПД алгоритмов с сопоставимой энергетической эффективностью.

РАЗДЕЛ 4.7 МОНИТОРИНГ-ИНФРАСТРУКТУРА

Отв. исп. к.ф.-м.н. Лаврова О.Ю.

4.7.1. Проведение ежегодных конференций "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Проведение Тринадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"

16-14 ноября 2015 г. в Институте космических исследований Российской академии наук была проведена Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций: Пленарные заседания, одно из которых было посвящено 50-летию ИКИ РАН; дистанционные исследования поверхности океана и

ледяных покровов; дистанционные методы исследования атмосферных и климатических процессов; дистанционное зондирование ионосферы; дистанционные методы в геологии и геофизике; дистанционное зондирование растительных и почвенных покровов; дистанционное зондирование планет Солнечной системы; методы и алгоритмы обработки спутниковых данных; технологии и методы использования спутниковых данных в системах мониторинга; вопросы создания и использования приборов и систем для спутникового мониторинга состояния окружающей среды.

Всего на Конференции было представлено 508 докладов, из них 285 устных и 223 стендовых. Для участия в конференции зарегистрировалось 813 человек, из 5 стран, 52 городов и из более чем 250 организаций. В заключительный день конференции было проведено выездное пленарное заседание в Научном центре Оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы» по тематике «Российская система спутниковых наблюдений и технологий: состояние и перспективы развития».

4.7.2. Выпуск журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса" (2014-2016 год). В том числе в 2015 году: Выпуск 12 тома (4-6 номеров) журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" (2015 г.)

В 2015 году вышел очередной Двенадцатый том научного журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", состоящий из 6 номеров. Всего было опубликовано 90 статей. Пятый номер тома 12 журнала посвящен 50-летию юбилею Института космических исследований РАН. В нём представлены 14 обзорных статей, посвященных достижениям ученых института в области дистанционного зондирования Земли.

4.7.2. Проведение Шестой международной Школы-семинара «Спутниковые методы и системы исследования Земли» (2015 г.)

2 – 6 марта 2015 г. в Тарусе на базе представительства Интеркосмос ИКИ РАН провел Шестую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Учеными из Москвы и Владивостока было прочитано 7 лекций по различным направлениям дистанционного исследования океана. В работе Школы-семинара принимали участие молодые ученые из Москвы, Санкт-Петербурга, Калининграда, Нижнего Новгорода, Владимира, Севастополя и Баку. Молодые ученые представили 12 устных докладов.

4.7.4. Проведения работ по подготовки и повышению квалификации кадров на базе Научно-образовательного центра ИКИ РАН (2014-2016 год). В том числе в 2015 году:

4.7.4.1 Проведение Одиннадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса;

В рамках Тринадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16-20 ноября 2015 г. в ИКИ РАН проходила Одиннадцатая Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции было прочитано 5 лекций и проведено 3 мастер-класса, которые вызвали огромный интерес не только у молодых, но и у зрелых ученых. На заключительном пленарном заседании 2 стипендиата ИКИ РАН, победителя конкурса прошлого года выступили с докладами о результатах своих исследований. Молодые ученые представили 30 устных и 43 стендовых докладов.

4.7.4.2 Проведение конкурса работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов;

В рамках Одиннадцатой Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса был проведен конкурс работ молодых ученых. Всего в конкурсе устных и стендовых докладов приняло участие 73 работы молодых ученых. По результатам конкурса было присуждено 1 первая, 3 вторых и 4 третьих премии. В 2015 году были впервые присуждены 2 премии за внедрение.

4.7.4.3 Научно- методическое обеспечение работ базовых кафедр ИКИ РАН и образовательных курсов проводимых специалистами ИКИ РАН по направлению "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса".

Одним из направлений деятельности научно-образовательного центра ИКИ РАН (НОЦ ИКИ РАН) является обеспечение деятельности базовой кафедры Космическая физика МФТИ, которая включает в себя: проведение занятий со студентами в соответствии с учебным планом МФТИ; выполнение научно-исследовательских работ (НИР) 4 курса (бакалавры), 5 и 6 курсов (магистры) и аспирантами кафедр; привлечение ведущих ученых и специалистов ИКИ РАН к научному руководству НИР, выполняемых студентами 4–6 курсов и аспирантами кафедр. В 2015 г. вносились изменения в существующие курсы, и было начато чтение новых курсов в том числе и по направлению Дистанционное зондирование Земли.

В рамках работы аспирантуры и чтения циклов лекций для аспирантов ИКИ РАН в 2015 г. продолжена реорганизация курсов по специальностям, которые преподаются аспирантам.

4.7.3.4 Участие в проведении дней "открытых дверей", и экскурсий в ИКИ РАН, а также и научно-образовательных лекций для школьников, студентов и аспирантов в части представления возможностей направления "Дистанционного зондирования и Исследования Земли из Космоса"

В 2015 г. в ИКИ РАН были проведены уже ставшие традиционными «Дни открытых дверей» для школьников (12 апреля, посвященный Дню космонавтики и 4 октября в рамках «Дня космической науки»). Кроме того, постоянно организуются посещения выставочного зала ИКИ РАН с демонстрацией истории, современных и перспективных космических научных и прикладных разработок, приборов и проектов, в том числе в части представления возможностей направления «Дистанционное зондирование и Исследования Земли из Космоса».

4.7.3.5 Поддержка и развитие тематических порталов

В 2015 год продолжалось развитие тематических порталов ИКИ РАН, www.mtdbest.iki.rssi.ru и РГРТУ www.mtdbest.ru по теории кодирования, содержащие более 300 информационно-справочных и научно-методических блоков данных в каждом. Порталы посетили более 94 тыс. специалистов из ~ 80 стран мира, что подтверждает исключительно высокую оценку мировым научным сообществом тематики нового направления в теории и прикладных вопросах помехоустойчивого кодирования.