

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

Научные руководители:

д.т.н. Е.А. Лупян

Научные руководители направлений:

«Мониторинг-технологии»	д.т.н. Лупян Е.А.
«Мониторинг-биосфера»	д.т.н. Барталев С.А.
«Мониторинг-климат»	д.ф.-м.н. Шарков Е.А.
«Мониторинг-океан»	д.ф.-м.н. Шарков Е.А.
«Мониторинг-Атмосфера»	д.ф.-м.н. Ерохин Н.С.
«Мониторинг-Эффект»	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 2014 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, в том числе ориентированных на работу с данными действующих и перспективных российских спутниковых систем.

Разработаны новые методы потоковой обработки данных новых российских и зарубежных спутниковых систем (NPP, Метеор-М № 2, Landsat 8), ориентированных на формирование информационных продуктов, необходимых для проведения анализа энергоактивных объектов (природных пожаров, вулканов, промышленных объектов) и оценки их воздействий на окружающую среду (картирование гарей). Создаваемые продукты ориентированы на использование в различных научных и прикладных системах дистанционного мониторинга. В настоящее время созданные методы потоковой обработки данных проходят опытную эксплуатацию в системе дистанционного мониторинга вулканической активности Камчатки и Курилл (VolSatView) и в Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз). Созданные методы планируется также использовать при обработке перспективного российского спутника Канопус В ИК (планируемый запуск 2015 год). Примеры автоматически формируемых информационных продуктов на основе данных спутников Landsat 8 приведены на рис. 4.1.1.1 и рис 4.1.1.2

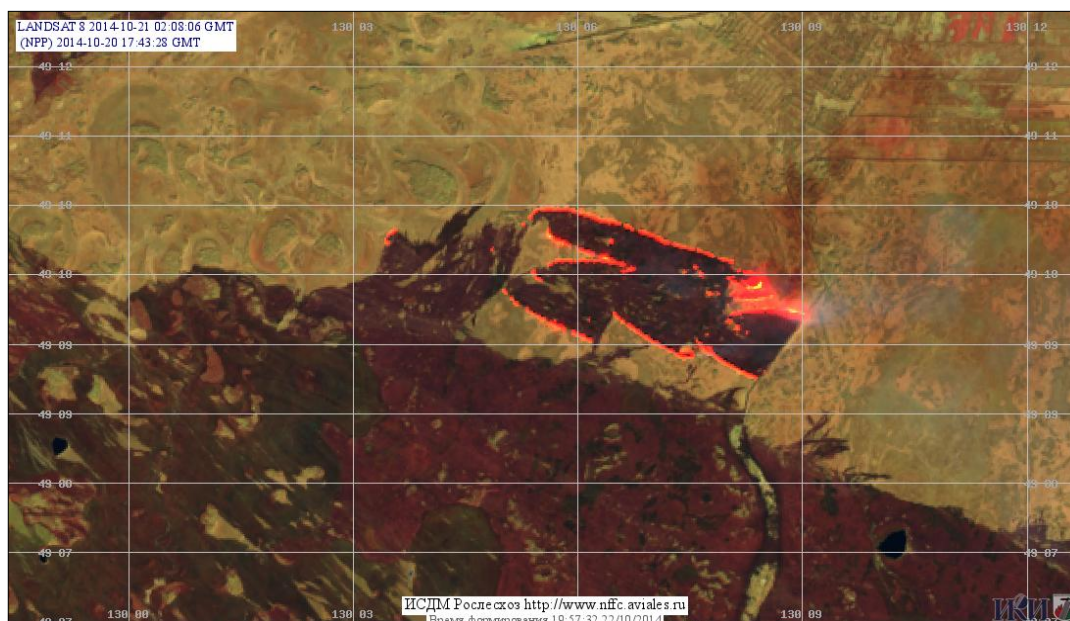


Рис 4.1.1.1

Пример автоматически формируемого информационного продукта на основе данных спутников Landsat 8 с изображением природного пожара на стадии активного горения

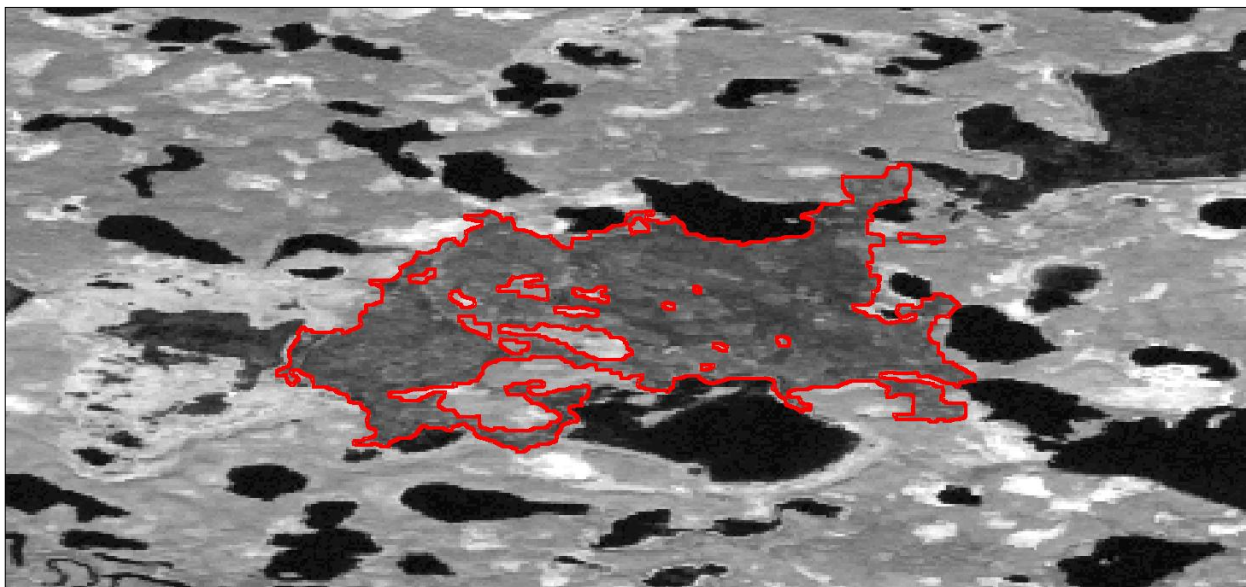


Рис 4.1.1.2

Пример автоматически картирования гари на основе данных спутников Landsat 8

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)

Продолжались развиваться методы организации ведения сверхбольших спутниковых архивов данных, ориентированные на обеспечение возможности быстрого доступа к информации для динамического формирования на основе нее различных информационных продуктов. Данные методы позволяют организовать оперативное представление таких продуктов, избежав при этом необходимости производить их предварительную подготовку и обеспечивать долговременное хранение. В 2014 году эти методы были расширены для обеспечения работы с данными гиперспектральных спутниковых систем, где их применение позволяет принципиально расширить возможности анализа информации для решения различных научных задач. На основе разрабатываемых методов в ИКИ РАН созданы архивы данных, поступающие от различных российских и зарубежных спутниковых систем. Общая емкость таких архивов в 2014 году превысили 0,3 Пбт. Пример использования разработанных технологий в исследовательских системах приведен на рис. 4.1.2.1

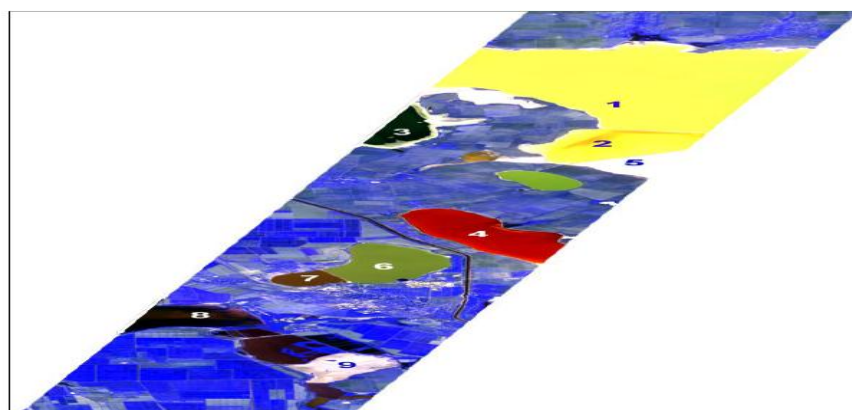


Рис 4.1.2.1

Пример динамически формированного информационного продукта на основе данных гиперспектромера Hypetion в системе See The Sea, созданной с использованием разработанных технологий

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.

Разработаны новые методы, позволяющие создавать базы данных, содержащие долговременные ряды различных характеристик различных пространственных объектов, получаемые на основе данных дистанционных наблюдений (например ряды вегетационных индексов). Эти методы позволяют организовывать долговременный мониторинг большого числа различных объектов на больших территориях и производить исследование их динамики. Методы реализованы в системе ВЕГА-Science (<http://sci-vega.ru/>) и сегодня позволяют осуществлять постоянный мониторинг и изучение более 300 000 различных объектов на территории Северной Евразии.

Для повышения эффективности работы пользователей из научных организаций РАН со сверхбольшими архивами спутниковых данных в распределенных архивах создающейся Роскосмосом Единой территориально распределенной системы работы со спутниковой информацией (ЕТРИС ДЗЗ) разработана архитектура специализированного научного узла ЕТРИС ДЗЗ. Начало создания этого узла запланировано на декабрь 2014 года в ИКИ РАН.

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.

Разработаны новые подходы, позволяющие создавать комплексные web-интерфейсы для анализа спутниковых данных, находящихся в распределенных архивах. Разработанные подходы позволяют реализовывать достаточно сложные инструменты обработки данных, которыми могут воспользоваться распределенные коллективы исследователей. Это позволяет специалистам, использующим возможности систем ДЗЗ, не только осуществлять поиск и выбор необходимой им информации из распределенных архивов, но и сразу осуществлять ее обработку и анализ для решения конкретных научных и прикладных задач. В 2014 году на основе разработанных подходов были реализованы возможности проведения классификации многоканальных и разновременных спутниковых данных в специализированных информационных системах, созданных в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» для обеспечения работы распределенных научных коллективов (см. п 4.1.5 настоящего отчета). Пример классификации выполненной созданными инструментами приведен на рис. 4.1.4.1

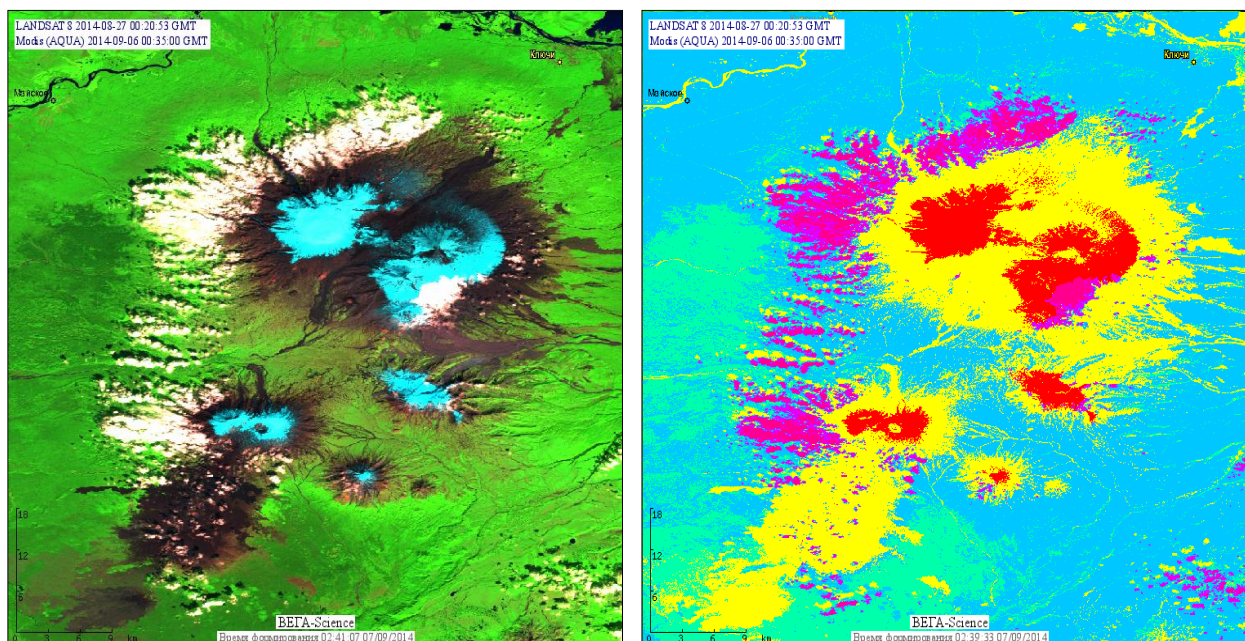


Рис 4.1.4.1

Пример классификации созданной на основе разрабатываемых подходов распределенной обработки данных

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»).

Осуществлялось ведение оперативных и накопление долговременных архивов спутниковых данных для обеспечения различных научных проектов, ориентированных на мониторинг окружающей среды для ее изучения и прогноза развития в условиях быстрых природных и антропогенных изменений. За 2014 год в архивы ЦКП поступило более 100 Тбт информации. В 2014 году было заключено соглашение между ИКИ РАН и НИЦ "Планета" (Росгидромет), которое позволило организовать также доступ пользователей к распределенным архивам центров приема и обработки спутниковых данных в городах Москва, Новосибирск и Хабаровск. В настоящее время пользователи ЦКП имеют возможность работы с более чем 20 спутниками, в том числе с информацией, поступающей от российских спутниковых систем Метеор М, Ресурс П и Канопус В.

В 2014 году также осуществлялась 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 приземном слое), VolSatView (ориентированный на решения задач изучения и мониторинга вулканов Камчатки и Курил")

РАЗДЕЛ 4.2. МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Отв. исп. д.т.н. Барталев С.А.

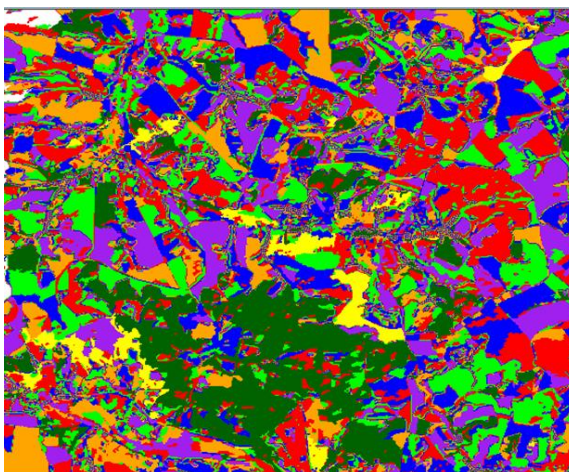
4.2.1. Формирование баз данных различных характеристик состояния окружающей среды, полученных на основе спутниковой информации (в том числе характеристик растительного покрова) для изучения и мониторинга наземных экосистем и биоразнообразия . (2014-2016 год).

На основе разработанных в ИКИ РАН методов и технологий автоматической обработки данных наблюдений спекрорадиометром MODIS со спутника Terra был создан ряд цифровых карт пространственного разрешения 230 м, характеризующих состояние и динамику растительного покрова России в 2014 году, а именно:

- карта растительного покрова;
- карта преобладающих пород в лесах;
- карта запасов стволовой древесины в лесах;
- карта пахотных земель;
- карты посевов озимых и яровых культур;
- карта повреждений растительного покрова пожарами.

4.2.2 Разработка научных подходов к построению полностью автоматизированных методов дистанционной оценки характеристик растительных экосистем на больших территориях (2014-2016 год).

Разработан метод обработки временной серии спутниковых изображений, позволяющий разбивать исходное изображение на области с близкими фенологическими характеристиками. В качестве критериев близости временных рядов данных используются корреляция и среднее евклидово расстояние между наборами значений измерений информативных характеристик. Статистический подход позволяет осуществлять сегментацию временной серии изображений с наличием некоторого количества пропущенных измерений, ввиду возможного наличия исключенных пикселей облачности или теней, при этом наличие таких пропусков не отражается на результатах сегментации. Предложенный метод оказывается эффективен для задач сельскохозяйственного мониторинга, в частности, при автоматическом определении границ полей. Программная реализация метода предусматривает загрузку и обработку исходного набора признаков в скользящем окне небольшого размера, что позволяет работать с исходными данными любого объёма.

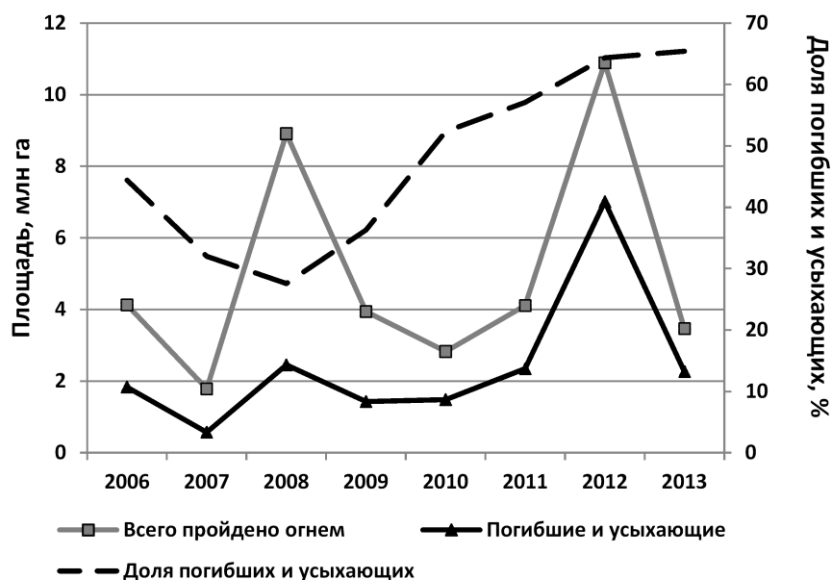


4.2.2.1

Результат автоматической сегментации территории на основе временного ряда спутниковых изображений Landsat-OLI

4.2.3 Разработка новых подходов и методов оценки последствий негативных воздействий (природных и антропогенных) на экосистемы (2014-2016 год).

На основе использования спутниковых данных была выполнена инструментальная оценка площади ежегодной гибели лесов России от пожаров. Полученные данные, охватывающие период 2006-2013 годов, впервые позволили объективно оценить масштабы и многолетнюю изменчивость пирогенной гибели лесов, которая, как показали результаты проведенных исследований, характеризуется устойчивым нарастанием в последние годы. В частности был выявлен монотонный, начиная с 2008 года, рост относительной величины доли погибших насаждений в общей пройденной огнем площади лесов России (рис 1). Было также установлено, что в породной структуре площади погибших насаждений доминируют лиственничники, в то время как лиственные породы подвержены деструкции от воздействия огня в наименьшей степени. Полученные результаты могут быть использованы для выработки оптимальных стратегий организации охраны лесов от пожаров в лесах России, направленной на минимизацию потенциального ущерба их ресурсному потенциалу, а также для проведения исследований в области влияния пирогенного фактора на биосферные функции лесов.



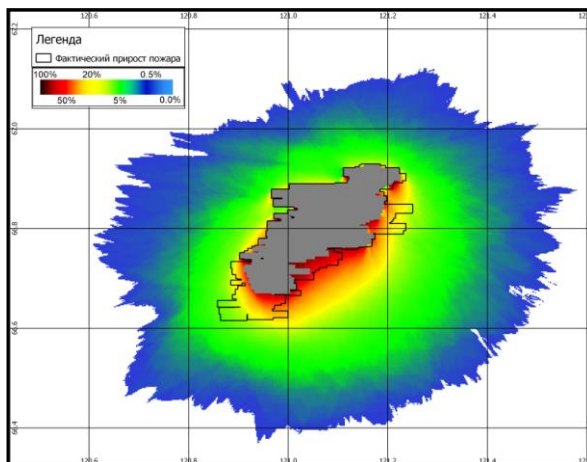
4.2.3.1

Многолетние вариации характеристик воздействия пожаров на леса России

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).

Разработана вероятностная модель динамики развития природных пожаров, способная оперативно прогнозировать развитие любого пожара на территории России на основе данных спутникового мониторинга. Вероятностная модель основана на предположении о наличии стохастических погрешностей во входных данных модели и модельных параметрах. Моделирование осуществляется по методу Монте-Карло. Проверка точности модели проводилась по результатам прогнозирования более чем 600 пожаров в лиственничных лесах России, происходивших в 2011-2013 годы. Проверка показала высокую точность модельных оценок вероятности достижения пожаром точек в его окрестности. Результаты вероятностного прогноза динамики пожара выдаются в виде

карты вероятностей или вероятностного распределения площадей прироста пожара. Модель позволяет оценивать степень угрозы населенным пунктам или объектам инфраструктуры от близлежащих пожаров.



4.2.3.1. Пример вероятностного прогноза развития пожара

4.2.4 Оценка масштабов и исследование основных факторов динамики растительного покрова России с начала 21 века (2014-2016 год).

Разработан метод подпиксельного восстановления величины покрытой лесом площади по данным Terra-MODIS. Методика основана на совместном использовании данных MODIS и, созданной по данным Landsat Университетом штата Мэриленд США, карты сомкнутости лесного покрова по состоянию на 2000 год. Комплексирование двух указанных наборов данных позволяет восстанавливать с использованием локально-адаптивного алгоритма оценивания LAGMA величину покрытой лесом площади на уровне пространственного разрешения MODIS. Это дает возможность компенсировать, вызванные недостаточно высоким пространственным разрешением спутниковых данных, ошибки оценки покрытой лесом площади на территории России и исследовать ее многолетнюю динамику за период 2000-2014 годов, а также в последующие годы.

Разработана методика дистанционной оценки запаса стволовой древесины на основе совместного анализа оптических спутниковых данных прибора MODIS и радарных данных дистанционного зондирования, полученных прибором ASAR со спутника Envisat. Реализация методики позволила сформировать многолетние карты запаса стволовой древесины для всей территории России, обеспечивающие возможность анализа значений запаса в динамике за период с 2001 по 2014 год с пространственным разрешением 250 м.



4.2.5.2. Карта запаса стволовой древесины по данным MODIS

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)

Предложена и создана 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. Работа выполняется в сотрудничестве с ФИРЭ РАН. Пример расчёта потоков Q через систему концентрических круговых контуров, дрейфующих вместе с тропическим циклоном (ТЦ) Alberto (август 2000 г.) в процессе его эволюции, показан на рис. 1.

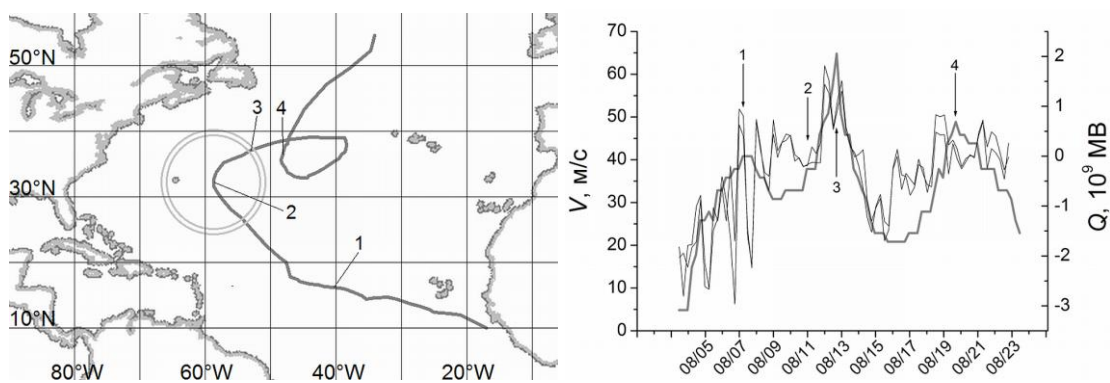


Рис. 1

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 2014 г.).

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)

(А) Формирование научной базы данных за 1983–2014 гг. глобального тропического циклогенеза

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2014 гг. на основе специального препроцессинга (предварительной обработки) исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты. Блок базы данных за 2005–2014 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной из Интернета с сайта Астрономической обсерватории Гавайского университета (<http://www.solar.ifa.hawaii.edu/>). Особое внимание уделено изучению временной и траекторной структуры ТЦ Vongfong (рус. Вонгфонг), функционировавшему в акватории Северо-западной части Тихого океана в октябре 2014 г. и являющимся одним из интенсивных ТЦ в Северо-западной части Мирового океана. На рисунке представлено видеоизображение ТЦ Vongfong, полученное 10 октября 2014 г.

спектрорадиометром MODIS со спутника Terra 9 (NASA) в момент его максимального развития над акваторией Филиппинского моря.

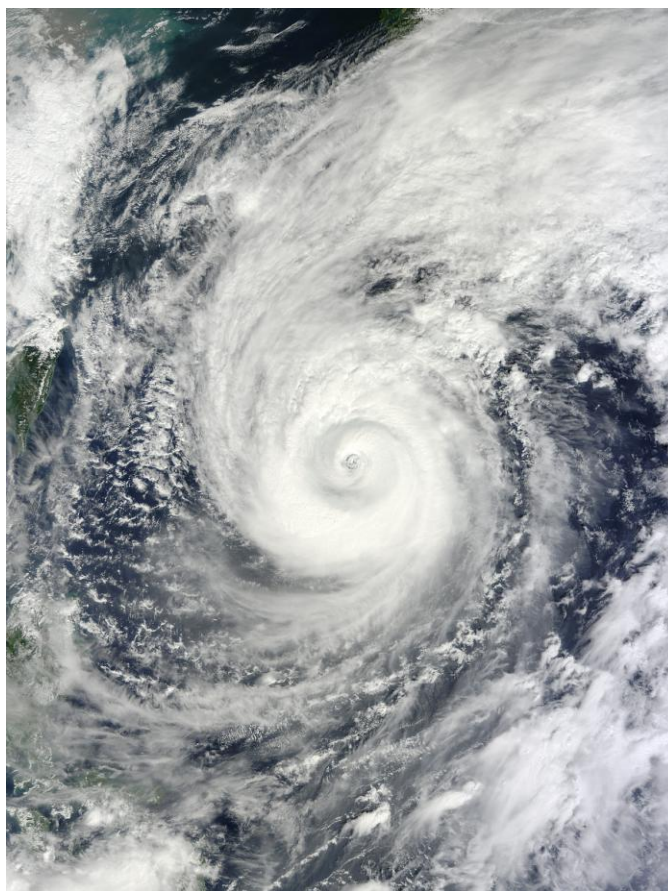


Рис. 1. Видеоизображение ТЦ Vongfong (10 октября 2014г.) в момент наибольшего развития в Филиппинском море

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

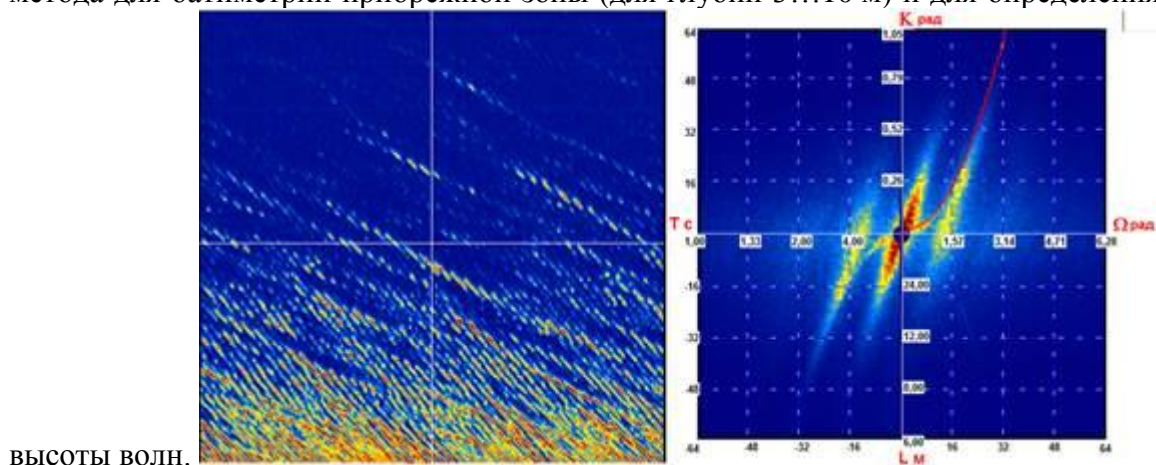
В 2014 году было продолжено формирование, накопление и подготовка к тематической обработке частной научной базы данных POLE-RT-Fields, созданной на основе разработанной в отделе «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН базы данных GLOBAL-RT — данных спутниковых многоканальных микроволновых радиотепловых 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 2014 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 2014 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)

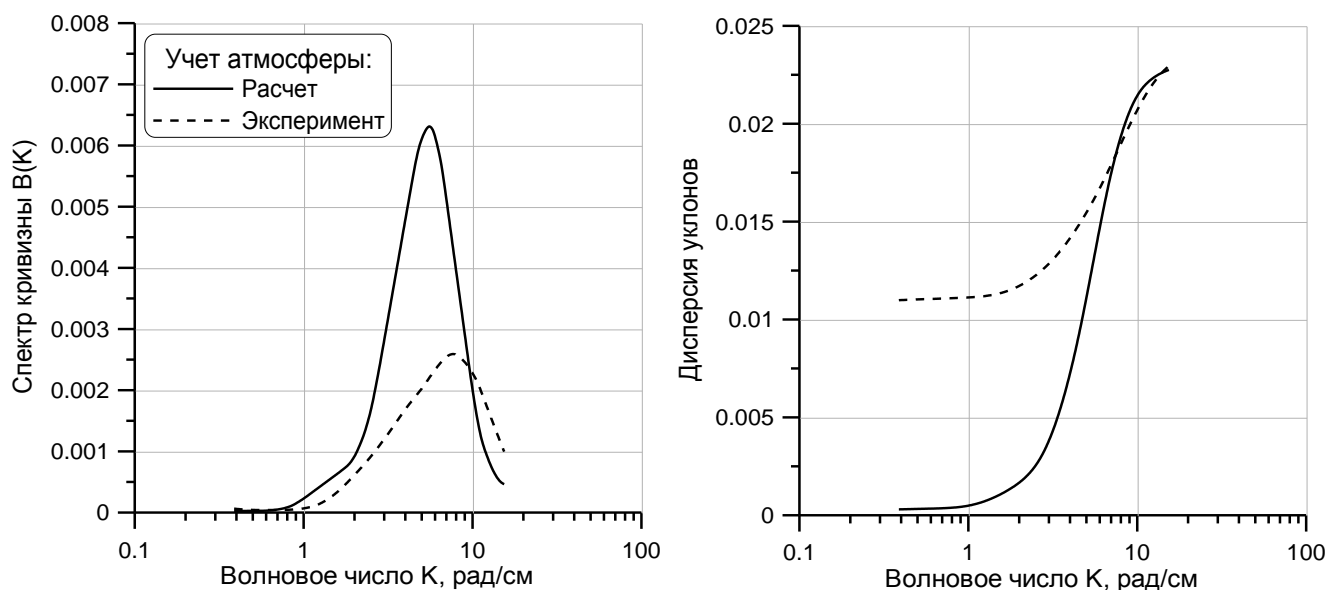
- (А) В 2014 году были продолжены работы рамках дальнейшего совершенствования предложенного ранее комбинированного метода измерения полей течений с помощью радиолокатора — дискретного и круговое сканирование, построения RTI-диаграммам (Range Time Intensity) (см. рис. — диаграмма слева) и последующая их спектральная обработки (см. рисунок — диаграмма справа). Была проведены работы по модернизации собственно радиолокационного приёмника — улучшение разрешения — уменьшения длительности зондирующего импульса, и повышение чувствительности приемного устройства, разработка нового пакета программного обеспечения, позволяющего выполнять в реальном времени непрерывную запись сигнала и обработку полученных данных при работе локатора как в режиме кругового вращения антенны, так и в режиме дискретного накопления, с последующим вычислением скорости и направлений течений. Начаты работы по исследованию возможностей применения предложенного метода для батиметрии прибрежной зоны (для глубин 3...10 м) и для определения



- (В) В 2014 году были продолжены исследования по изучению экологического состояния морской поверхности. В частности, для выявления тонких эффектов динамики плёнок, образованных клетками фитопланктона как естественного, природного происхождения, так и выносимыми на морскую поверхность различного типа газовыми пузырьками, была модернизирована существующая фотометрическая установка для измерения коэффициента поверхностного натяжения — добавлена возможность измерения коэффициента затухания исследуемых волн. Это позволило наряду с измерением коэффициента поверхностного натяжения оценить значение упругости плёнок, образованных нерастворимыми клетками фитопланктона.

(С) Особенности применения метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС) при проведении натуральных измерений

Перспектива использования метода НРРС для анализа спутниковых данных диктует особые требования к достоверности и точности его применения. Одним из таких вопросов является оценка степени и характера влияния на результат используемых в его рамках методик и приближений. В рамках реализации работ по данному направлению, сотрудниками лаборатории 553 в 2014 году были рассмотрены следующие проблемы: во-первых, исследовано влияние параметров используемых радиометров-поляриметров на восстанавливаемые с помощью метода НРРС величины, в частности, влияние калибровочных коэффициентов на форму спектра кривизны гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) и значение дисперсии уклонов крупных волн; во-вторых, произведено сравнение результатов применения метода НРРС при использовании двух способов учёта нисходящего излучения атмосферы.



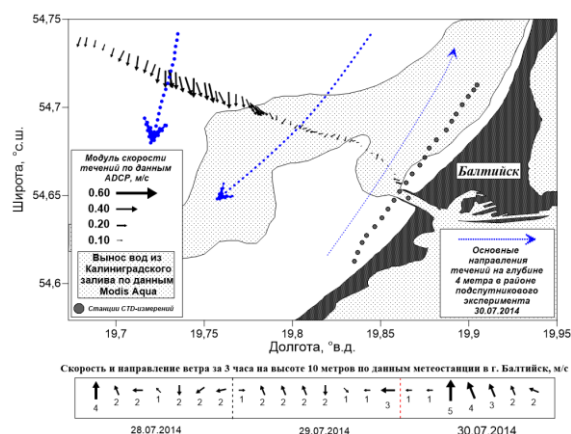
Параметры ветровых ГКВ, восстановленных с применением метода НРРС

(D) Исследование влияния гидродинамических процессов на распространение выноса вод из Калининградского залива

На основе данных спутникового зондирования, синхронных подспутниковых измерений и численного моделирования проведено исследование влияния ветрового воздействия и гидродинамических процессов на распространение в прибрежной зоне Балтийского моря мутных распресненных вод Калининградского залива. Сильное различие в оптических свойствах Балтийского моря и вод залива, в котором происходит интенсивное цветение цианобактерий, позволили на основе спутниковых данных видимого диапазона изучить развитие и трансформацию факела выноса в июле — начале августа 2014 г. На основе совместного анализа результатов натуральных измерений и спутниковых данных исследована трехмерная структура выноса из Балтийского канала (см. рис.). Факел выноса под действием прибрежных струйных течений распространялся по всему Гданьскому заливу, испытывая существенное влияние циркуляционных процессов, которые наблюдались в заливе.



Проявление факела выноса мутных вод Калининградского залива в Балтийское море на цветосинтезированном изображении OLI Landsat-8 от 07.07.2014

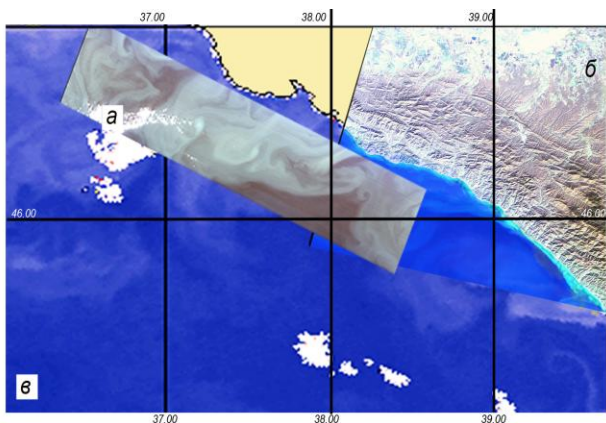


Подспутниковые измерения течений в факеле выноса с помощью ADCP 30.07.2014

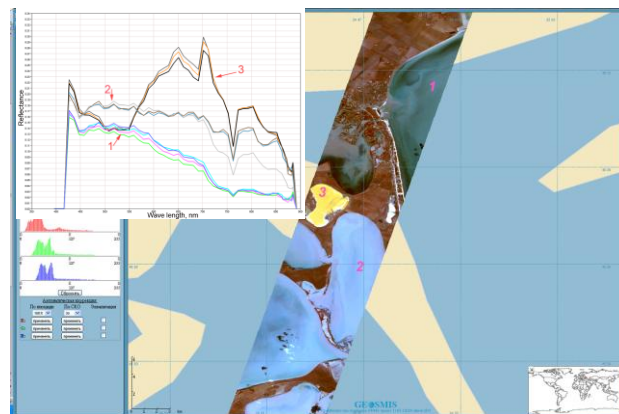
4.4.4 Разработка методик обработки и совместного анализа данных новейших сенсоров космического базирования для решения задачи контроля экологического состояния российских морей и внутренних водоемов

Разработка методик совместного анализа спутниковых данных с целью выявления и распознавания различных типов вод

На базе созданного в ИКИ РАН геопортала STS начата разработка методик совместного использования данных гиперспектральных сенсоров Hyperion и NICO и данных спутниковых сенсоров OLI Landsat-8, ETM+ Landsat-7, TM Landsat-5, MODIS Terra/Aqua, ASAR Envisat для выявления загрязнений морей, распознавания различных типов загрязнений и исследования динамических процессов в прибрежных зонах, влияющих на перенос загрязнений. Определена степень информативности различных спектральных каналов и их комбинаций с точки зрения применимости для определения гидрооптических свойств умеренно мутных и продуктивных вод прибрежной зоны морей и внутренних водоемов. Продемонстрирована возможность использования гиперспектральных данных для выявления и распознавания различных типов загрязнений в прибрежных зонах морей и внутренних водоемов. Продемонстрирована возможность использования гиперспектральных данных для выявления и распознавания различных типов загрязнений в прибрежных зонах морей и внутренних водоемов, а также для выявления акваторий, подверженных интенсивному цветению водорослей, на основе извлечения спектральных профилей гиперспектральных изображений и анализа спектральных отражательных способностей различных участков водной поверхности. Проведено тестирование для различных районов прибрежной зоны Черного и Азовского морей.



Совместный анализ данных различных сенсоров с целью изучения гидродинамических процессов в прибрежной зоне Черного моря 10.11.2013: *а* — NICO, разрешение 100 м; *б* — OLI IC3 Landsat-8, разрешение 30 м; *в* — карта замутненности вод, восстановленная из данных MODIS IC3 Terra, разрешение 500 м



Композитное изображение, построенное на основе спектральных каналов сенсора Nuregion за 10.10.2003 г., специально подобранных для решения задачи разделения различных типов вод

Разработка методик выявления зон интенсивного цветения фитопланктона во внутренних водоемах

Исследованы возможности и ограничения применения данных дистанционного зондирования из космоса для выявления областей интенсивного цветения фитопланктона в крупных водохранилищах волжского бассейна. Исследования базировались на изображениях, полученных с помощью сенсоров спутников серии Landsat, ASAR и MERIS Envisat, SAR ERS-2. Доказано, что данные спутников Landsat лучше всего подходят для выявления областей цветения цианобактерий, а на радиолокационных изображениях лучше проявляются акватории, подверженные интенсивному цветению диатомовых водорослей. Количественные оценки биомассы водорослей определялись на основе данных MERIS Envisat. Результаты, полученные на основе анализа спутниковой информации, сравнивались с результатами натурных измерений с судна, которые проводились в июне и августе 2010 и 2013 г. Прослеживается хорошая корреляция на качественном уровне. Проведена оценка уровня эвтрофирования и тенденций его изменений в Рыбинском водохранилище. Показано, что для случаев интенсивного цветения цианобактерий, стандартные алгоритмы, разработанные NASA для данных MERIS Envisat, имеют серьезные ограничения, необходимо разрабатывать региональные алгоритмы.

4.4.5 Разработка методов количественной оценки параметров состояния морской поверхности на больших акваториях и их эволюции на основе многолетних данных дистанционного зондирования из космоса

Новый метод выявления зон интенсивного цветения фитопланктона по радиолокационным образам долгоживущих корабельных следов

Экспериментальную основу исследования составили данные спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой ASAR Envisat и SAR ERS-2, а также данные видимого и ИК-диапазонов сенсоров MODIS Terra/Aqua, MERIS Envisat, TM Landsat-5 и ETM+ Landsat-7. Проанализированы многочисленные радиолокационные образы долгоживущих корабельных следов, выявленных на спутниковых радиолокационных изображениях, полученных над акваторией Балтийского моря. Выявлено, что эти следы проявляются в виде относительно узких полос повышенного радиолокационного сигнала,

их характерные длины составляют 20...50 км, но в отдельных случаях наблюдаются следы длиной до 200 км. Выдвинута и подтверждена гипотеза о том, что долгоживущие следы наблюдаются в период интенсивного цветения фитопланктона. Установлено, что наблюдается значительная сезонная и межгодовая изменчивость проявлений долгоживущих следов на РЛИ, обусловленная интенсивностью и продолжительностью цветения фитопланктона в районах наблюдения.

РАЗДЕЛ 4.5. МОНИТОРИНГ-АТМОСФЕРА

Отв. исп. д.ф.-м.н. Ерохин Н.С.

4.5.2 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)

Численная диагностика тропического циклогенеза на основе анализа спиральной самоорганизации влажно-конвективной атмосферной турбулентности во вращающейся неоднородной атмосфере.

Впервые в мировой практике изучения тропических циклонов предложена численная диагностика тропического циклогенеза с помощью анализа спиральной самоорганизации влажно-конвективной атмосферной турбулентности во вращающейся неоднородной атмосфере. Топология вихревого поля на облачных и мезомасштабах отслеживается с помощью спиральных характеристик. Энергетика вихря оценивается по интегральным значениям кинетической энергии первичной тангенциальной и вторичной трансверсальной циркуляции. Оригинальный исследовательский подход, использующий облачно-разрешающее численное моделирование, позволил количественно диагностировать зарождение циклона, когда в формирующемся ураганном вихре происходит зацепление первичной и вторичной циркуляции на мезомасштабах, осуществляющееся глубокими вращающимися конвективными структурами облачных масштабов – Вихревыми Горячими Башнями (ВГБ). Выполненное исследование способствует выработке общепринятого определения тропического циклогенеза.

Анализ обобщенной нелинейной малопараметрической нелинейной модели с возможностью вариаций скорости ветра в тропических циклонах.

Проведен анализ обобщенной нелинейной малопараметрической нелинейной модели (МПМ) для описания возможности вариаций скорости ветра в тропических циклонах (ТЦ) на квазистационарной стадии их жизненного цикла. Численными расчетами показано, что относительно малое внешнее короткопериодное воздействие может создавать значительные вариации скорости ветра в ТЦ. Из проведенного анализа следует, что на основе обобщенной МПМ можно исследовать особенности динамики региональных крупномасштабных циклогенезов (РКЦ) в период активного сезона с генерацией различного количества ТЦ, анализировать зависимость их характеристик от внешних факторов включая вариации космической погоды. Развиваемый подход на основе нелинейной МПМ с учетом экспериментальных данных позволит разработать модель сезонного хода РКЦ в конкретном регионе. Это представляет научный и практический интерес для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных

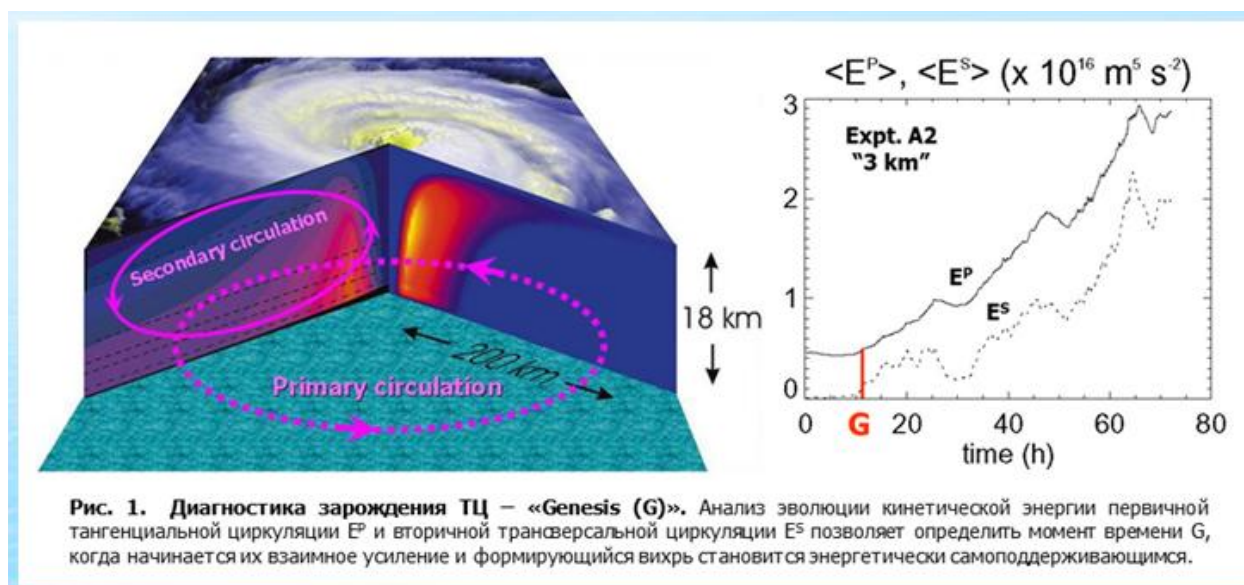


Рис. 1. Диагностика зарождения ТЦ – «Genesis (G)». Анализ эволюции кинетической энергии первичной тангенциальной циркуляции E^P и вторичной трансверсальной циркуляции E^S позволяет определить момент времени G, когда начинается их взаимное усиление и формирующийся вихрь становится энергетически самоподдерживающимся.

атмосферных явлений и моделирования их связей с другими процессами.

Комплексный мониторинг естественной радиоактивности (гамма излучение,

нейтроны) и метеорологических параметров в атмосфере

Проведен комплексный мониторинг естественной радиоактивности (гамма излучение и нейт-роны) и метеорологических параметров на станции Института технологии авионавтики (г. Сан-Жозе-дус-Кампус, Бразилия). С помощью специально разработанного численного метода по данным измерения гамма-радиации определена концентрации радионуклидов ^{214}Pb , ^{214}Bi в дож-девых осадках. Обнаружена обратная зависимость между интенсивностью дождевых осадков и концентрацией в них радионуклидов. Максимальная концентрация радионуклидов наблюдается в начальной стадии дождя. Мониторинг нейтронной компоненты выявил типы вариаций: 1) сезонный с максимумом в период дождей; 2) суточный, с временным профилем, аналогичным вариации гамма-радиации, но с амплитудой вариации превышающей последнюю приблизи-тельно на два порядка; 3) спорадические кратковременные (~ 1 мин) всплески; 4) спорадические возрастания продолжительностью в несколько суток. Вариации первых двух типов могут быть объяснены вариациями метеорологических параметров. Происхождение двух последних типов еще не вполне ясно: для третьего типа это могут быть грозовые разряды, для четвёртого малая сейсмическая активность, приводящая к увеличению выхода природного радона.

Исследование возможностей дифференциации и идентификации компонентного состава системы «атмосфера- поверхность» (САП) на основе биспектрального анализа вариаций восходящего излучения в оптическом диапазоне длин волн.

Применение биспектрального подхода при решении задач как дифференциации компонентного состава системы «атмосфера- земная поверхность» (САП), так и при восстановлении характеристик этих компонентов, может позволить уменьшить долю априорной информации при интерпретации спутниковых измерений. На основе спектральных измерений во время Международного многоуровневого эксперимента «Карибэ-88» показана возможность выявления в разных участках видимого диапазона спектра основных механизмов трансформации излучения. Для $\lambda = 713\div 788$ нм преобладающим является аэрозольное рассеяние (и слабое поглощение водяным паром при $\lambda = 713$ нм); $\lambda = 621\div 680$ нм – наряду с проявлением аэрозольного рассеяния, имеет место и малое молекулярное рассеяние; для $\lambda = 486\div 570$ нм - проявление большего, чем во второй группе, соотношения между молекулярным и аэрозольным рассеянием; и, наконец, для $\lambda = 416\div 450$ нм имеет место значительное молекулярное рассеяние.

Использование некоммутативной геометрии для описания спиральной гидродинамической турбулентности.

В случае турбулентного течения, для всех величин, входящих в описание поля скорости, требуется статистическое усреднение по ансамблю реализаций. Это делает теорию турбулентности вариантом квантово-полевой теории. На основе анализа показано, что в этом случае турбулентность можно описывать в виде матричного поля, а пространство векторных случайных полей расширяется до пространства матричных случайных полей, в котором возможен аналог квантования – ограничение переходов между различными конфигурациями поля, связанное с целыми значениями топологического инварианта спиральности.

4.5.3 Развитие методик анализа характеристик электрической турбулентности в грозовой облачности для выявления ее роли в динамике долгоживущих спиральных вихрей. (2014-2016 год)

Анализ структурных функций электрической турбулентности в случае вертикального профиля электрического поля в грозовой облачности, имеющего большой всплеск.

На основе экспериментальных данных выполнен анализ структурных функций электрической турбулентности в случае вертикального профиля электрического поля в грозовой облачности, имеющего большой всплеск. Исследованы инерционные интервалы электрической турбулентности, получены скейлинговые экспоненты, величины индекса Херста и куртозиса. В инерционных интервалах выявлены отклонения структурных функций от степенного скейлинга. Показано, что для интервалов малых и средних масштабов не выполняется обобщенная масштабная инвариантность электрической турбулентности, что может быть обусловлено перемежаемостью электрической турбулентности, присутствием когерентных электрических структур. Полученные результаты могут быть использованы для последующих оценок роли электрических подсистем в формировании самосогласованной, неоднородной структуры ветровых потоков в ТЦ, при численном моделировании их нелинейной динамики с использованием схем параметризации, учитывающих электрические подсистемы, для дальнейшего развития методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов обработки.

Аналитическая модель турбулентности с когерентными структурами и перемежаемостью

На основе аналитической модели проведен анализ влияния когерентных структур (КС) и перемежаемости на характеристики одномерной турбулентности. Показано, что наблюдаемые в экспериментальных данных отличия скейлинга структурных функций (СФ) от чисто степенных зависимостей может быть связано с присутствием в турбулентных полях КС и перемежаемости. Это важно, в частности, для оценки влияния данных факторов на характеристики электрической турбулентности в грозовой облачности в конкретных ситуациях. Развитый подход может быть использован при исследованиях роли КС и перемежаемости в формировании параметров структурных функций для двумерной или трехмерной турбулентности.

Исследование роли электромагнитных явлений в кризисных атмосферных процессах

Проведен анализ закономерностей проявления электромагнитных явлений в кризисных атмосферных процессах (грозы, торнадо, ураганы, тропические циклоны и др.) и влияния заряженных облачных подсистем на динамику крупномасштабных атмосферных вихрей. Проанализированы некоторые статистические характеристики электрической активности атмосферы и сделан вывод о влиянии на них магнитного поля Земли. На основе совокупности экспериментальных данных о грозовой активности был предложен механизм, позволяющий зарядам с обширных заряженных облачных подсистем концентрироваться в канале молнии при осуществлении молниевой вспышки. Образование металлических связей в самих заряженных облачных подсистемах описано как фазовый переход II рода. Предложен новый механизм процесса последовательного образования молниевых каналов.

4.5.4 Разработка и применение алгоритмов обработки натуральных 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)

Разработка алгоритмов обработки натуральных данных нисходящего излучения атмосферы в ИК-диапазоне спектра и отраженной солнечной радиации.

Проведены исследования по валидации наземных измерений нисходящего излучения атмосферы в ИК-диапазоне спектра, проведенных при испытаниях Фурье-спектрометра ИКФС-2, предназначенного для ИСЗ «Метеор-М». Результаты измерений сопоставлены с полинейным расчетом интенсивности излучения, выполненным с привлечением данных аэрологического радиозондирования о профилях температуры и влажности. При решении прямой задачи валидации спектральных измерений учитывалась аппаратная функция и разрешение спектрометра. Разработана методика учета аппаратной функции для решения обратной задачи определения температуры земной поверхности.

Разработка алгоритмов и проведение модельных расчетов для решения прямых и обратных задач зондирования атмосферы и земной поверхности

На основе интегрального уравнения переноса излучения в инфракрасном диапазоне спектра рассмотрены возможности использования спутниковых угловых измерений для определения параметров системы "атмосфера- поверхность". По результатам численного моделирования решались задачи восстановления температуры поверхности и вертикальных профилей неселективной компоненты оптической толщины и температуры атмосферы. Те же задачи решались для данных приборов HIRS/2 и AVHRR спутников NOAA. В качестве имитации угловых измерений использовались измерения в элементах линейки приемника прибора от надира к периферии перпендикулярно плоскости орбиты над относительно однородными участками океана и атмосферы с привлечением для отбора измерений в видимой области спектра. Результаты в целом подтверждают возможности спектрально-углового зондирования Земли, продемонстрированные по данным спутников "Океан- Э". Существенным для внедрения угловой методики представляется проведение угловых измерений с изменением углового разрешения прибора для разных углов зондирования, обеспечивающих съемку одной и той же площади поверхности.

Численный анализ возможности использования Фурье спектроскопии при дистанционном зондировании системы "атмосфера- поверхность".

Для задачи выявления облаков малых газовых составляющих атмосферы в приземном слое проведен анализ возможности различных видов проектируемой спутниковой спектроскопической аппаратуры. Малые концентрации примесей (менее 1 мг/л) при изменчивости аэрозольного состава и содержания водяного пара в приземном слое предъявляют повышенные требования к спектральному разрешению прибора. Для Фурье спектроскопии со смазом зондируемого участка (отличающегося температурными контрастами для естественных поверхностей) показано, что при движении спутника на орбите решение задачи представляется нереальным.

4.5.5 Развитие методов определения микрофизических свойств рассеивающих сред, включая атмосферу, на основе использования двухпозиционных схем лидарного зондирования. (2014-2016 год)

Предложена комбинированная зондирующая система лидар-нефелометр, включающая в себя коаксиальную и биаксиальную схемы зондирования. Показано, что эта схема позволяет измерять поперечные искажения пучка при его распространении в рассеивающей среде посредством перфорированных экранов, что достаточно для определения аппаратной функции. В режиме нефелометра длительность лазерного импульса равна длительности включения приемного детектора, можно измерять глубину зондирования и обратный сигнал. При известной аппаратной функции глубина зондирования в рассеивающей среде определяет коэффициент экстинкции. В задаче измерения коэффициента обратного рассеяния появляется перспектива упрощения калибровки нефелометра в сравнении с калибровкой обычного импульсного лидара. Это позволит существенно повысить точность измерения коэффициента обратного рассеяния нефелометром. Для практической реализации работы лидара в режиме нефелометра предложено использовать диодные лазеры с управлением мощностью излучения в течение излучаемого импульса, а прибор можно переключать, как в режим лидара, так и в режим нефелометра. Поскольку режим нефелометра и лидара реализованы в одной геометрии имеется возможность использования результатов калибровки нефелометра для режима импульсного лидара.

4.5.6 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)

Проведены экспериментальные исследования статистических характеристик турбулентных пульсаций давления и турбулентных шумов обтекания. Разработан алгоритм оценки пространственной разрешающей способности экспериментальных исследований турбулентных шумов обтекания на Автономной морской лаборатории. Исследованы турбулентные спектры пульсаций давления в турбулентном пограничном слое на всплывающем устройстве в глубоком море. Разработана методика регистрации турбулентных шумов обтекания, учитывающая эффекты от турбулентных флуктуаций температуры, в турбулентном пограничном слое на обтекаемой поверхности. Исследована задача о влиянии температурного поля на регистрацию турбулентных давлений. На основе представлений о частотно-волновом спектре и теории волновой фильтрации поля турбулентных пульсаций давления акустическим преобразователем конечных волновых размеров показано, что влияние температурного фактора на регистрацию турбулентных давлений может оказаться значительным. Обнаружено, что в поле пристеночных течений в широком частотно-волновом диапазоне чувствительность пьезопреобразователя пульсаций давления к температуре изменяется на несколько порядков.

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

Разработана концепция построения широкозахватной многозональной аппаратуры наблюдения Земли из космоса для космических аппаратов на солнечно-синхронных круговых орбитах высотой от 600 до 1000 км, принцип работы которой основан на

поперечном сканировании полосы захвата посредством нескольких крупноформатных площадных многоэлементных датчиков изображения, оптически совмещенных на единой оси.

Проведены расчеты энергетической чувствительности оптико-электронного тракта, геометрии съемки и закона движения сканирующего зеркала. Полученные результаты показали практическую реализуемость изготовления аппаратуры, позволяющей получать изображение поверхности Земли в угле до 90° , что соответствует полосе захвата более 2200 км, с пространственным разрешением лучше 30 м в нескольких спектральных каналах с полушириной от 40 нм.

Разработана концепция построения и произведен расчет уникальных оптических систем с фокусным расстоянием 180 и 240 мм. Особенностями данных систем является наличие вынесенного входного зрачка, призмного спектроделителя и телецентрического хода лучей в заднем отрезке.

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)*

Разработана методика полетной радиометрической кросс-калибровки камер МСУ-100 и МСУ-50, входящих в состав Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС) на КА «Метеор-М» № 1 и 2, и спектрорадиометра MODIS на КА Terra по снежному покрову Антарктиды. Методика основана на пересчете значений коэффициента спектральной яркости (КСЯ) между спектральными зонами КМСС и MODIS и учете различия углов наблюдения и Солнца в момент съемки КМСС и MODIS по экспериментально полученной индикатрисе рассеяния снега. Абсолютная точность калибровки оценивается в 6-7%. По результатам калибровки получено, что изменение чувствительности камер КМСС за четыре года наблюдений находится в пределах ошибки калибровки.

На основе результатов калибровки исследована сопоставимость КСЯ почвенно-растительных и других объектов по данным КМСС и MODIS. Получено, что среднеквадратическое отклонение между ними не превышает 0,022, а коэффициент линейной регрессии между ними отличается от единицы не более, чем на 4% и находится в пределах точности абсолютной радиометрической калибровки как КМСС, так и MODIS.

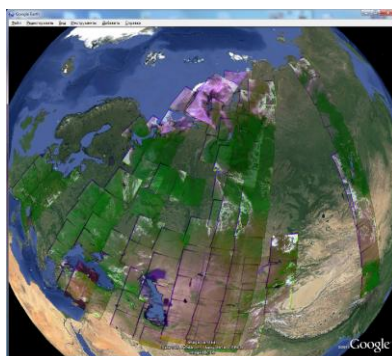


Рис.1. Мозаика обработанных изображений почвенно-растительных объектов и водных, полученных КМСС на КА «Метеор-М» №1 (мозаика наложена на основу Google Earth)

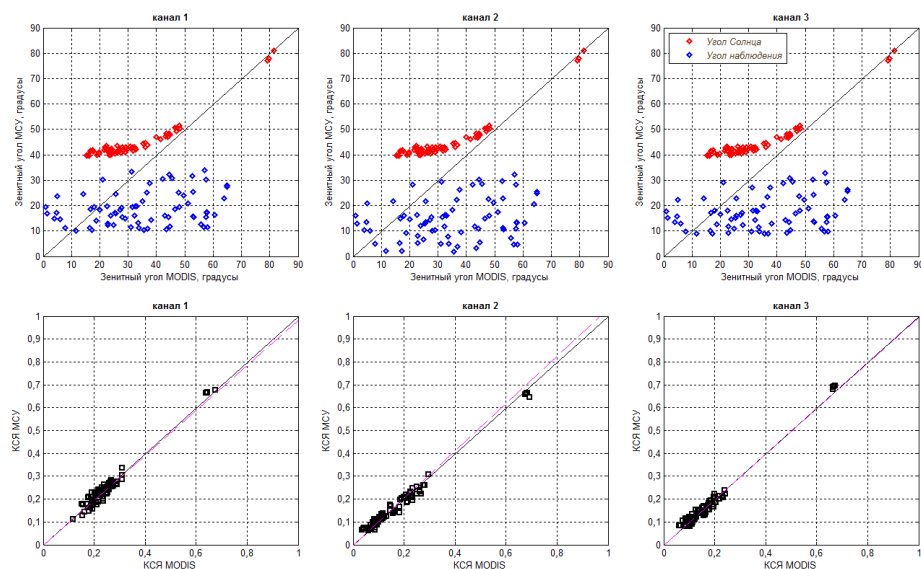


Рис. 2. Связь КСЯ природных объектов по измерениям камерой МСУ-101, входящей в состав КМСС на КА «Метеор-М» №1, и MODIS на КА Terra. Верхний ряд - связь зенитных углов Солнца (показано красным цветом) и зенитных углов наблюдения (показано синим цветом) в спектральных зонах МСУ-101 и MODIS; нижний ряд - связь КСЯ природных объектов в спектральных зонах МСУ-101 и MODIS (пунктирной линией показана линия регрессии)

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)

10-14 ноября 2014 г. В Институте космических исследований состоялась Двенадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Работа конференции осуществлялась в рамках следующих секций: Пленарные заседания; 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 452 доклада, из них 300 устных и 152 стендовых. Для участия в конференции зарегистрировалось более 713 человек, из 5 стран, 52 городов и 140 организаций. В заключительный день в Научном центре Оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы» было проведено выездное пленарное заседание по тематике «Российская система спутниковых наблюдений и технологий: состояние и перспективы развития».

4.7.2. Проведение ежегодных научных школ проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса (2014-2016 год)

В рамках Двенадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 10-14 ноября 2014 г. в ИКИ РАН

проходила Десятая юбилейная Всероссийская научная школа-конференция по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса. Во время проведения Школы-конференции было прочитано 5 лекций и проведено 2 мастер-класса, которые вызвали огромный интерес не только у молодых, но и у зрелых ученых. В честь юбилея Школы-конференции право прочесть лекции было предоставлено победителям конкурсов работ молодых ученых прошлых лет. На заключительном пленарном заседании 3 победителя конкурса молодых ученых выступили с докладами о результатах своих исследований. Молодые ученые представили 39 устных и 29 стендовых докладов. 25 февраля – 3 марта 2014 г. в Тарусе ИКИ РАН провел Пятую международную Школу-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли». Учеными из Москвы, Санкт-Петербурга, Владивостока и Сухума было прочитано 8 лекций. В рамках Школы-семинара была организована экскурсия в СКБ ИКИ РАН.

4.7.3. Проведение конкурсов работ молодых ученых, работающих в области дистанционного мониторинга Земли, природных и антропогенных процессов. (2014-2016 год)

В рамках Десятой юбилейной Всероссийской научной школы-конференции по фундаментальным проблемам дистанционного зондирования Земли из космоса был проведен конкурс работ молодых ученых. Конкурс проходил в два этапа. Трем победителям заочного конкурса было предоставлено право выступить на заключительном пленарном заседании. Всего в конкурсе устных и стендовых докладов приняло участие более 50 молодых ученых. По результатам конкурса было присуждено 4 первых, 3 вторых и три третьих премии.

В честь Десятой юбилейной Школы-конференции был объявлен конкурс на получение двух стипендий ИКИ РАН для молодых ученых. Победителям стали: Ермошкин А.В. из Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород) и коллектив молодых ученых из Российского государственного гидрометеорологического университета (Санкт-Петербург).

4.7.4. Выпуск периодического научного издания "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" (2014-2016 год)

В 2014 году вышел очередной Одиннадцатый том научного журнала "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", состоящий из 4 номеров. Всего было опубликовано 110 статей.