

Тема МОНИТОРИНГ Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности
Гос. Регистрация № 01.20.0.2.00164

Тема выполняется в следующих приоритетных направлениях

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

Научный руководитель д.т.н. Е.А. Лупян

Научные руководители направлений:

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

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

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

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

В 2011 году в соответствии с планом научных работ Института космических исследований в рамках темы «Мониторинг» проводились работы по перечисленным выше направлениям. Основные результаты работ приведены в настоящей главе отчета в соответствующие разделы.

Раздел 4.1. Мониторинг-технологии

Отв. исп. д.т.н. Лупян Е.А.

4.1.1. Разработка методов, алгоритмов и технологий построения автоматизированных систем сбора и обработки спутниковых данных.

Отв. исп. к.ф.м.н. Мазуров А.А., отд.56

Сегодня спутниковые системы мониторинга используются для решения различных научных и прикладных задач, связанных с исследованием и контролем природных и антропогенных явлений, процессов и объектов. Во многих отраслях, таких как метеорология, океанология, картография, сельское и лесное хозяйство и др., спутниковые данные уже сегодня являются незаменимыми. Так, например, в последние годы в задачах, связанных с контролем и прогнозом погоды, спутниковые данные по различным оценкам составляют около 90% объема используемой информации. Особо хотелось бы отметить, что с появлением высококачественных систем дистанционного наблюдения, обеспечивающих достаточно устойчивое и быстрое получение информации по всей территории Земли, мы получили возможность перейти к принципиально новому качеству использования спутниковых систем дистанционного наблюдения. Фактически появилась возможность не только использовать поступающую со спутников информацию для визуальных оценок, но и осуществлять на основе данной информации количественный анализ различных процессов и явлений. Кроме того, практически во всех областях, где активно применяется информация спутникового дистанционного зондирования, ее все чаще используют для решения задач постоянного мониторинга тех или иных явлений. Это, в свою очередь, потребовало создания подходов и технологий, которые смогли бы обеспечить массовую, оперативную, автоматизированную обработку информации. Разработке таких подходов и технологий была посвящена серия работ, которые выполнялись в ИКИ РАН в последние годы. В 2011 году был проведен комплексный анализ сложившейся в данной области ситуации и были сформулированы новые требования к технологиям обработки данных, которые позволили объединить разработки последних лет, выполненные в ИКИ РАН, и на их основе начать формирование единой современной технологии сбора, обработки и распространения спутниковых данных.

Для того чтобы сформулировать такие требования был рассмотрен и проанализирован «жизненный цикл», который проходит информация дистанционного зондирования в современных информационных системах. При этом были выделены основные его элементы и проанализированы их основные современные особенности и общие возможные схемы построения. Также на примере опыта работ, выполненных в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН), были рассмотрены возможности создания базовых технологий и программных решений, необходимых для реализации различных блоков систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных.

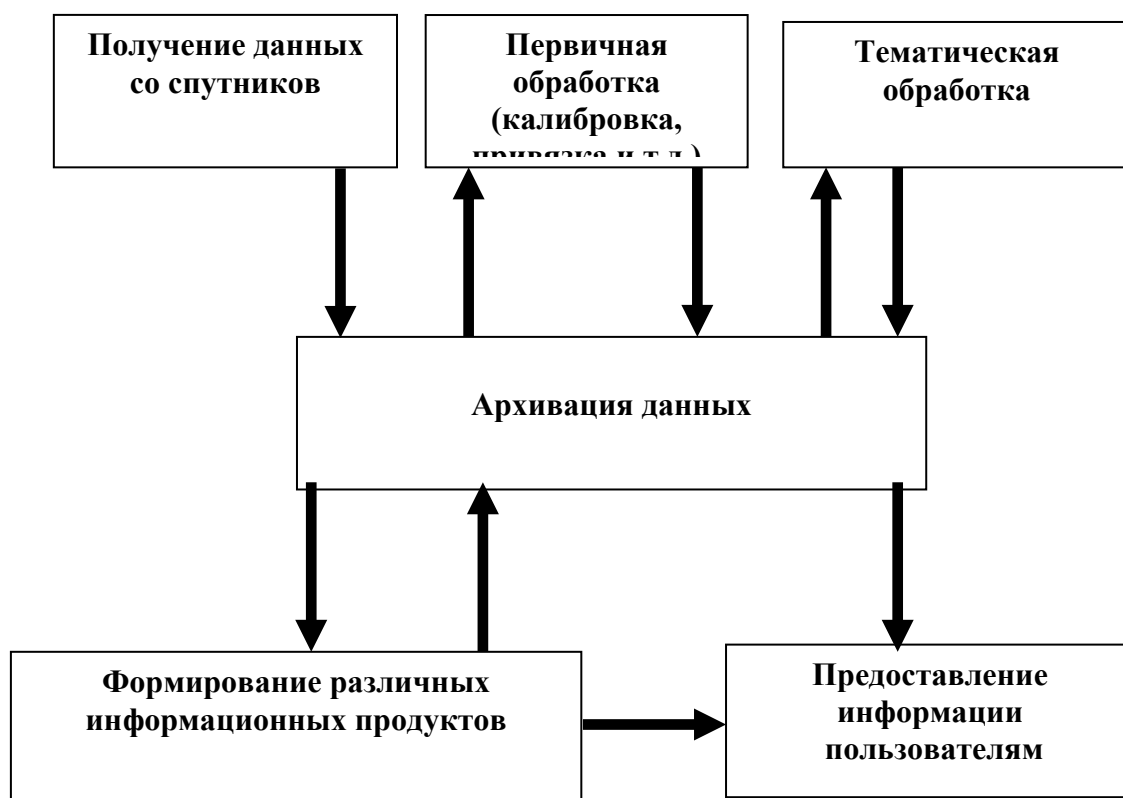


Рис.4.1.1.1 Характерный «жизненный цикл» спутниковой информации в различных информационных системах.

На рис. 4.1.1.1 представлен упрощенный «жизненный цикл», который обычно проходит спутниковая информация в различных информационных системах. Фактически этот цикл можно разбить на следующие основные элементы:

- Получение спутниковых данных;
- Архивация данных;
- Первичная обработка данных;
- Тематическая обработка данных;
- Формирование различных информационных продуктов (карт, полей различных параметров, отчетов и т.д.);
- Предоставление данных пользователям (исследователям, аналитикам, специалистам, контролирующим те или иные процессы и явления, и т.д.).

Следует также обратить внимание на то, что в ходе «жизненного цикла» данные могут по несколько раз возвращаться в отдельные блоки. Кроме того, в отдельных случаях в конкретных системах могут присутствовать какие-то дополнительные этапы или отсутствовать некоторые из вышеперечисленных этапов, а также могут возникать ситуации, в которых нет жесткой грани между отдельными этапами. Однако, на наш взгляд, придерживаясь приведенной схемы разделения «жизненного цикла» на отдельные элементы, практически всегда удастся сделать структуру систем, обеспечивающих работу со спутниковыми данными, достаточно прозрачной и понимаемой. Поэтому мы постараемся остановиться на особенностях именно этих блоков, для того чтобы стало понятно, какие именно задачи они обычно решают.

При построении современных систем мониторинга процесс *получения спутниковых данных* следует рассматривать достаточно широко. В настоящее время существует несколько схем получения данных. Наиболее распространенными из них являются непосредственный прием данных на станциях, входящих в состав систем мониторинга, и оперативное получение данных из различных специализированных центров приема и обработки данных. Следует отметить, что второй путь в настоящее время используется наибольшим числом пользователей. Этот путь имеет несколько основных преимуществ. Так, он позволяет не расходовать средства на приобретение и поддержку достаточно дорогостоящих систем приема. Кроме того, при выборе такого пути можно достаточно быстро организовывать получение различных типов данных и до какой-то степени не зависеть от спутниковых систем, для которых были приобретены средства приема. Нельзя также не отметить, что во многих случаях из специализированных центров может быть обеспечено получение не исходных («сырых») данных, а данных, прошедших уже достаточно глубокую первичную обработку, которые уже достаточно легко могут быть использованы для проведения специализированных тематических обработок. Следует также иметь в виду, что в последние годы все активнее развиваются крупные центры приема и обработки данных, основной задачей которых является обеспечение приема данных, формирование базовых стандартизованных продуктов первичной обработки и оперативное предоставление таких продуктов в специализированные системы мониторинга. Такие центры обычно обладают достаточно широким набором различных средств приема, которые обеспечивают возможность работы с разными спутниковыми системами, достаточно большими вычислительными ресурсами, необходимыми для осуществления оперативной автоматической обработки данных и организации долговременного хранения информации, а также хорошими внешними коммуникациями, обеспечивающими быстрый доступ пользователей к информации. Технические возможности таких центров при необходимости могут также обеспечивать автоматическую тематическую обработку данных в интересах конкретных специализированных систем.

Задачи *архивации данных*, как и задачи обработки, делятся на несколько основных этапов, каждый из которых имеет свою специфику. С технологической точки зрения архивы можно условно разделить на оперативные и долговременные. Задача оперативных архивов в основном заключается в обеспечении работы с информацией на этапе ее первой обработки. При этом в оперативных архивах можно организовывать хранение некоторых промежуточных результатов обработки. Фактически основной задачей оперативных архивов является достаточно удобный, быстрый и автоматический доступ к данным и различным процедурам их обработки. В долговременные архивы обычно попадают данные, уже прошедшие определенную обработку (однако не исключаются варианты, когда в долговременных архивах организуется резервное хранение и всей исходной информации). Основными задачами долговременных архивов является организация работы с большими объемами данных, которые могут находиться в различных хранилищах. С функциональной точки зрения современные архивы можно также условно разделить на архивы, обеспечивающие хранение исходных и промежуточных продуктов, и архивы, обеспечивающие хранение результатов тематической обработки. Первые архивы должны обеспечивать предоставление данных различным автоматизированным процедурам обработки и обмена информации, поэтому в них обычно не ставится задача обеспечивать выдачу информации в режиме, близком к реальному времени, который необходим в первую очередь для проведения интерактивного анализа данных. Тематические архивы в основном обеспечивают хранение информации, которую могут анализировать уже конечные пользователи, или на базе нее по запросам пользователей формируются различные отчеты, карты, бюллетени и т.д. К таким архивам во многих случаях создается достаточно развитая система интерфейсов, рассчитанных на интерактивную работу. Поэтому одним из существенных требований к таким архивам является организация достаточно быстрого доступа к данным. В любом случае следует помнить, что системы

архивации, рассчитанные на работу со спутниковыми данными наблюдения Земли, должны быть рассчитаны на работу с достаточно большими объемами данных. Сегодня емкость архивов даже не самых крупных центров обычно приближается или превосходит петабайтные рубежи.

Очень важным этапом современных информационных систем, обеспечивающих работу со спутниковыми данными, является их *первичная обработка*. Еще не так давно к этой части обработки относили в основном декодирование потока данных, поступающих со спутников, включение различной дополнительной информации, необходимой для обработки (временные метки, условия освещенности, информация для проведения калибровок), а также запись данных в более или менее удобные для дальнейшей работы форматы. Сегодня, в связи с быстрым ростом числа тематических задач и требований к качеству информации, к первичной обработке предъявляются все более жесткие требования и границы ее существенно расширяются. Так в большинстве случаев первичная обработка данных должна обязательно обеспечить:

- качественную временную и географическую привязку (при этом в большинстве случаев точность привязки должна быть такой же или меньшей, чем пространственное разрешение используемого прибора);
- качественную калибровку, точность и стабильность которой в конечном итоге определяет круг задач, для которых в дальнейшем используются данные (для современных систем наблюдения такая точность должна составлять проценты, а иногда и доли процентов измеряемых величин);
- коррекцию на условия освещенности (особенно для приборов, работающих в диапазонах, в которых регистрируются потоки не только собственного излучения объектов, но и отраженное излучение);
- атмосферную коррекцию, которая по возможности при наблюдении объектов на поверхности земли или на границе низкой облачности должна обеспечивать исключение влияния атмосферы (естественно, что такие процедуры достаточно хорошо работают только в тех условиях наблюдения, когда атмосфера достаточно прозрачна и стабильна);
- перевод данных в географические проекции (в идеале с учетом рельефа);
- подготовка наборов данных для помещения их в архивы и передачи в процедуры тематической обработки. Долгое время считалось, что данные после прохождения первичной обработки должны быть записаны в некоторых стандартных форматах, вопросам разработки которых было посвящено значительное число работ. Однако в связи с тем, что с одной стороны данные становятся все более разнообразными, а с другой стороны для проведения различной тематической обработки и анализа требуются иногда разные наборы данных, разработанные «стандартные» форматы становятся все более сложными и все менее удобными для работы. Поэтому во многих случаях при создании системы работы с данными конкретных приборов все чаще используются системы хранения, ориентированные на конкретную специфику прибора. При этом такие системы хранения могут обычно в автоматизированном режиме формировать разные наборы данных для дальнейшей обработки архивов.

Особо следует отметить, что в первую очередь из-за того, что системы первичной обработки данных должны обеспечивать обработку достаточно больших практически постоянно поступающих потоков информации, они сегодня должны быть полностью автоматизированы. Конечно, поскольку сегодня в систему первичной обработки данных входят достаточно сложные процедуры (например, процедуры точной географической привязки и атмосферной коррекции), то создание таких систем требует обычно проведения достаточно серьезных разработок, которые во многом зависят от специфики конкретного прибора. Проведение таких разработок сегодня практически полностью ложится на плечи

производителя спутниковой системы наблюдения и требует достаточно большого времени и финансовых затрат (эти затраты составляют достаточно значительную часть от производства спутниковой системы). Поэтому действительно высококачественные системы первичной обработки данных созданы сегодня в мире для очень небольшого числа спутниковых систем. В то же время, системы, для которых сегодня реализованы современные технологии первичной обработки данных, позволили существенно расширить область их использования, и открыли возможности создания принципиально новых технологий использования данных (в первую очередь технологий, которые обеспечивают получение количественной информации на основе данных спутниковых наблюдений). Безусловно, лидирующими в этой области являются системы, обеспечивающие работу с данными приборов MODIS [1] и LANDSAT ETM и ETM+ [2]. Видимо, также в ближайшие годы реально широко использоваться будут только те спутниковые системы, для которых созданы системы первичной обработки, удовлетворяющие, в том числе, и перечисленным выше требованиям.

Задачи *тематической обработки* данных сегодня очень разнообразны и разноплановы, и совершенно по-разному организованы в зависимости от конкретных проектов и систем. В то же время можно выделить некоторые отдельные тенденции и особенности проведения такой обработки. Безусловно, общая тенденция в тематической обработке, использующейся сегодня в промышленных системах, заключается в том, что они в основном начинают ориентироваться на использование полностью автоматизированных методов и алгоритмов обработки данных. Несмотря на достаточно большие сложности и трудозатраты, связанные с их созданием, сегодня разрабатывается и внедряется все больше именно таких систем. Необходимость создания и внедрения полностью автоматизированных методов обуславливается с одной стороны тем, что при массовом использовании данных спутникового мониторинга в случаях, когда значительная часть обработки проводится с участием оператора, эксплуатация таких систем становится достаточно дорогой, особенно в тех случаях, когда нужно регулярно получать и обрабатывать значительные объемы информации по достаточно большим территориям. С другой стороны участие человека в процессе обработки неизбежно вносит в результат некоторую субъективность, что во многом снижает одно из основных преимуществ спутниковых систем – возможность получения объективной, сопоставимой информации по достаточно большим территориям. Поэтому сегодня большое число разработок в мире направлено именно на то, чтобы создать полностью автоматизированные процедуры, способные обеспечить качественный анализ данных без участия человека. В этом направлении в последние годы в отдельных областях достигнуты достаточно большие успехи, например, достаточно надежно работают системы, восстанавливающие различные характеристики морской поверхности (в первую очередь температуру) [3], разработаны устойчивые процедуры детектирования активных пожаров [4], созданы системы, обеспечивающие оценку и картирование различной растительности (в первую очередь лесной) [5,6]. Конечно, для решения многих задач пока не удастся создать полностью автоматизированные технологии обработки, поэтому пока во многих системах этап тематической обработки продолжает включать в себя и некоторые процедуры «ручной» обработки. Но практически во всех постоянно действующих системах мониторинга эти процедуры стараются минимизировать и максимально стандартизировать. Кроме того, важным является максимальная автоматизация всех «механических» процессов, связанных с подготовкой данных для анализа, их визуализации в виде, удобном для анализа, простое сохранение результатов анализа и организация формирования на их основе уже окончательных информационных продуктов (карт, отчетов, данных для работы моделей и т.д.).

С точки зрения технических особенностей, связанных с организацией работы блоков тематической обработки спутниковых данных в различных информационных системах, следует отметить следующие:

- во многих случаях приходится использовать достаточно разнородные процедуры обработки данных, порой даже работающие в различных операционных средах, поэтому приходится организовывать достаточно гибкое взаимодействие этих процедур и обеспечивать комплексный контроль их работы. Это, в свою очередь, накладывает достаточно жесткие требования на то, как должны быть оформлены используемые процедуры, для того чтобы можно было обеспечить их контроль и управление;
- очень часто возникает задача оптимального использования достаточно разнородных вычислительных ресурсов. Во многих случаях такие ресурсы являются распределенными. Это также требует создания специальных процедур управления обработкой;
- в случаях, когда в цепочке обработки имеется «ручная часть», должны быть предусмотрены специальные процедуры контроля выходных результатов, для того чтобы избежать попадания в систему ошибочных данных. Часть такого контроля должна проводиться полностью автоматически, однако в ряде случаев должны быть предусмотрены схемы, обеспечивающие проверки результатов квалифицированными «контролерами». При этом, поскольку во многих случаях в больших системах задействованы в работе территориально распределенные коллективы специалистов, должна быть обеспечена возможность их совместной работы.

По мере проведения этапа тематической обработки в системах мониторинга должны быть *сформированы различные информационные продукты* (карты, отчеты, бюллетени и т.д.). Эти отчеты обычно рассчитаны на специалистов, которые должны получить уже интегрированную информацию для принятия тех или иных решений. Одна из основных особенностей таких продуктов заключается в том, что они обычно формируются не только на основе информации, полученной на основе спутниковых данных, но и на информации, полученной из других источников (различных картографических данных, статистической информации, метеоинформации, данных наземных наблюдений и т.д.). Поэтому в реально использующихся системах дистанционного мониторинга неизбежно встает вопрос интеграции различных типов данных. Хотя этот вопрос, безусловно, является пограничным для рассматриваемых систем, от уровня и качества его решения во многом зависит эффективность использования и востребованность информации. Следует также помнить, что именно необходимость получения тех или иных информационных продуктов, в конечном счете, и определяет требования к блокам тематической обработки данных, использующихся в конкретной системе мониторинга. Однако при построении системы следует в то же время учитывать реально существующие возможности современных спутниковых систем наблюдения, технологии и методы обработки данных и не пытаться сформировать выходные продукты, полностью повторяющие привычную для пользователей информацию, которая использовалась до начала применения дистанционного мониторинга. Фактически здесь необходимо стремиться к ситуации, когда информационные продукты, полученные с использованием дистанционных данных, открывали бы для пользователей новые классы задач и возможностей их решения.

Безусловно, одним из наиболее важных элементов любой системы является *блок, обеспечивающий для пользователей работу с информацией*. При этом в системах дистанционного мониторинга обычно возникает такое разнообразие различных информационных продуктов, что становится невозможным статическое формирование их на все случаи, которые могут возникнуть в системе. Поэтому, естественно, в большинстве систем сегодня строятся специальные интерфейсы, обеспечивающие формирование того или иного продукта автоматически по запросу пользователя. Следует также иметь в виду, что поскольку во многом результаты обработки спутниковых данных представляют собой в том или ином виде географически привязанную информацию, то одним из основных видов интерфейсов работы с такими данными является ГИС системы. При этом особый

интерес по мере развития различных Интернет-технологий представляют системы, обеспечивающие возможность работы с информацией не только локальных, но и удаленных пользователей. При этом при создании таких интерфейсов следует учитывать некоторые основные особенности работы со спутниковыми данными и результатами их обработки:

- спутниковые данные и результаты их обработки имеют обычно достаточно большой объем, поэтому для обеспечения достаточно быстрых реакций интерфейса необходимо использовать специальные подходы к организации хранения и выборки данных. Одним из наиболее эффективных и простых подходов является подход, использующийся в компании GOOGLE [7]. Пожалуй, существенным недостатком такого подхода является то, что данные для его использования должны быть очень жестко структурированы, что несколько затрудняет создание продуктов на основе разнородной информации;
- в силу того, что мы вынуждены работать с большими объемами информации, которая к тому же может быть получена и храниться в территориально разделенных центрах, необходимо использовать специальные технологии, обеспечивающие быструю интеграцию данных, хранящихся в различных архивах, на уровне интерфейсов работы с ними;
- необходимо иметь возможность отображения и анализа совместно со спутниковыми данными и результатами их обработки другой информации, использующейся в системе;
- в идеале, в первую очередь для сокращения объемов архивов тематических продуктов, нужно иметь возможность быстрого построения различных производных продуктов на основе некоторого набора базовых (к примеру, построение различных усредненных характеристик, перевод результатов обработки в различные проекции, формирование оптимальных цветосинтезированных композитов и т.д.);
- все больше в последнее время требуются возможности проведения анализа не только одномоментных данных, но и информации, полученной в различные моменты времени, в частности, проведение анализа динамики тех или иных индексов, полученных на основе спутниковых данных в отдельных точках.

Конечно, конкретный создаваемый интерфейс зависит от конкретной информационной системы, однако перечисленные выше свойства присутствуют во многих системах. Поэтому становится понятно, что в случаях активно работающих систем дистанционного мониторинга, когда интерфейсы должны обеспечивать возможность работы с архивами, емкость которых исчисляется сотнями гигабайт данных, создание качественного, эффективно работающего интерфейса требует достаточно больших вычислительных ресурсов.

Таким образом, мы попытались кратко остановиться на особенностях построения различных элементов систем дистанционного мониторинга. Естественным, что в силу сложности и разнообразия решаемых в подобных системах задач достаточно трудно ожидать, что можно создать некоторую универсальную систему, которая будет одинаково оптимально решать задачи, необходимые для различных областей деятельности. Как показывает опыт, наиболее эффективным является путь, когда формируются системы, ориентированные на решение какого-то определенного круга задач. В то же время блоки, из которых создаются такие системы, могут быть достаточно универсальны и с технической точки зрения мало отличаться. Именно наличие таких блоков позволяет достаточно быстро создавать и эффективно поддерживать различные системы. В следующей части данного раздела мы кратко остановимся на опыте создания таких блоков, который был в последние годы накоплен в ИКИ РАН.

Опыт создания различных информационных систем позволяет выделить следующие основные базовые технологии, которые могут служить основой для построения различных специализированных систем дистанционного мониторинга:

- технология, обеспечивающая автоматизированный прием и/или получение спутниковых данных из специализированных центров;
- технология автоматизированного ведения архивов спутниковых данных;
- технология автоматизированной обработки спутниковых данных;
- технология представления спутниковых данных и результатов их обработки пользователям;
- технология контроля и управления различными элементами систем дистанционного мониторинга.

Данные технологии должны обеспечивать:

- возможность высокого уровня автоматизации;
- возможность их использования для построения распределенных систем;
- простоту их доработки и расширения (масштабируемость);
- надежность в работе и простоту в обслуживании.

Такие технологии в последние десятилетия активно разрабатывались в ИКИ РАН для создания различных систем дистанционного мониторинга. Это позволяет в настоящее время сформировать единую технологию сбора, обработки и распространения спутниковых данных. Следует отметить, что данная технология может стать одной из элементов Единой территориально распределенной системы (ЕТРИС), которая должна обеспечить возможность работы с перспективными российскими спутниковыми системами (данная система в настоящее время создается в рамках специализированного проекта Роскосмоса). Использование технологии ИКИ РАН при создании ЕТРИС облегчит еще и тот факт, что ее элементы уже сегодня работают в базовых центрах приема Росгидромета и Роскосмоса, которые обеспечивают в ЕТРИС инфраструктуру сбора данных.

4.1.2. Разработка научно-методических основ и технологий ведения долговременных архивов данных дистанционных наблюдений состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов.

Отв. исп. к.т.н. Прошин А.А. отд.56

В рамках данного направления в 2011 году в ИКИ РАН проводились работы по развитию систем архивации и сбора данных в базовых центрах приема и обработки данных Росгидромета и Роскосмоса. В рамках этих работ развивались методы и технологии ведения долговременных архивов данных, которые были необходимы для создания объединенной системы доступа к данным в Европейском, Сибирском и Дальневосточном центрах приема, обработки и архивации данных НИЦ «Планета» (Росгидромет) и объединенной системе доступа к спутниковым данным и результатам их обработки в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ, Роскосмос). Следует отметить, что при разработке технологий работы с данными в НЦ ОМЗ особое внимание уделялось вопросам возможности интеграции информации, имеющейся в архивах центра, в различные специализированные информационные системы.

Система доступа к данным Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров приема Росгидромета.

ГУ «НИЦ «Планета» является одной из крупнейших в России организаций, обеспечивающий сбор, архивацию, обработку и распространение информации спутникового мониторинга. "НИЦ "Планета" - ведущая организация Росгидромета по эксплуатации и развитию национальных космических систем наблюдения Земли гидрометеорологического, океанографического и природно-ресурсного назначения. В состав НИЦ «Планета» в настоящее время входят следующие региональные центры:

- Европейский Центр (гг. Москва, Обнинск и Долгопрудный),
- Сибирский Центр (г. Новосибирск)
- Дальневосточный Центр (г. Хабаровск).

Данные центры обеспечивают приём и обработку данных с зарубежных космических аппаратов серий NOAA, EOS (Terra, Aqua), METEOSAT, METOP, FY, GOES, MTSAT и других, а также отечественных аппаратов «Метеор-М №1» и «Электро-Л». Ежедневно в этих центрах принимается больше 75 гигабайт данных и производится более 100 видов тематической продукции, обеспечивая регулярное покрытие спутниковыми данными всей территории России.

Одной из основных задач НИЦ «Планета» является организация оперативного представления информации, полученной на основе обработки данных спутниковых наблюдений пользователя. При этом стоит задача организации получения информации пользователями различных служб и ведомств (в первую очередь Росгидромета), работающими на всей территории страны. При этом стоит задача обеспечения однотипного, удобного доступа к информации, получаемой во всех базовых центрах приема. В идеале пользователь должен иметь возможность не только получать статические продукты, производимые в центрах, но и иметь возможность работать с инструментарием, обеспечивающим возможность детального анализа получаемых информационных продуктов.

Для данной задачи «НИЦ «Планета» и ИКИ РАН начали создание специализированной системы, которая должна обеспечить возможность работы различных пользователей с каталогами данных различных центров, а также различными информационными продуктами, получаемыми в результате обработки спутниковых данных в Европейском, Сибирском и Дальневосточном центрах приёма Росгидромета. Основной задачей данной системы является обеспечение пользователей необходимой оперативной и исторической информацией по всей территории России для решения задач мониторинга состояния окружающей среды, проведение метеорологического и гидрометеорологического мониторинга. Система должна, в частности, позволять пользователю:

- производить поиск и выбор разнородной информации, полученной на основе данных наблюдений различных спутниковых систем;
- получать различные виды информации (в том числе и полного пространственного разрешения);
- получать как исходные спутниковые данные, так и их фрагменты, а также результаты их обработки;
- обеспечивать возможность подбора информации по любому региону наблюдения, в котором заинтересован пользователь. В случае необходимости пользователь должен иметь возможность автоматически получать необходимую ему информацию по заданному региону;
- формировать необходимые для анализа ряды данных наблюдений за произвольный период;
- иметь возможность получения доступа к оперативной информации;
- иметь возможность доступа к специализированным интерфейсам, обеспечивающих представление различных данных в картографических проекциях и проведение совместного анализа различных типов данных;

- получать информацию из оперативно обновляющихся архивов данных различных центров;
- иметь возможность получения и анализа данных, предоставляемых различными центрами в одном интерфейсе
- иметь возможность удаленного доступа к ресурсам системы;
- иметь возможность, при необходимости, использования только стандартного ПО (интернет браузеры) для поиска, выбора и анализа различных информационных ресурсов, предоставляемых системой.

Система создается на основе разработанной в ИКИ РАН технологии создания информационных систем доступа к спутниковым данным. Данная технология обеспечивает автоматическое прохождение всего жизненного цикла данных от их приёма до предоставления пользователю тематической продукции. На основе этой технологии, в частности, были созданы комплексы архивации и обработки данных, поступающих с различных отечественных и зарубежных КА в центры приема НИЦ «Планета».

Данные, получаемые в центрах, проходят предобработку, включающую в себя радиометрическую и географическую коррекцию, а также построение изображений для быстрого просмотра (т.н. «квиклуков»), заносятся в каталог исходных данных, после чего отправляются на тематическую обработку, в том числе многоступенчатую. Результаты тематической обработки, как правило, представляют собой изображения в стандартных графических форматах, переведённые в широтно-долготную проекцию, которые усваиваются в архив. Для обеспечения возможности быстрой работы с архивами данных в ИКИ РАН была разработана специальная технология, которая в настоящее время используется при построении архивов в центрах приема НИЦ «Планета». В процессе подготовки к архивации для обеспечения в дальнейшем возможности быстрого выбора данных из архивов, изображения разбиваются на непересекающиеся гранулы фиксированного размера в исходном масштабе, затем для них строятся гранулы производных уменьшенных масштабов, после чего все полученные гранулы и информация о них усваиваются в каталоги и архивы данных..

После архивации каждого тематического продукта (или набора продуктов) в каждом центре начинается обмен метаданными об усвоенных продуктах с остальными центрами. Это позволяет иметь в каждом центре информацию о полном содержимом всех архивов всех центров и обновлять её в режиме, близком к реальному времени (см. рис. 4.1.2.1). Таким образом, при обращении пользователя к любому из серверов каталога, ему, в первую очередь, будут предоставляться данные, имеющиеся на этом сервере, а в случае необходимости требуемые данные будут браться с серверов других центров. Для пользователя этот процесс абсолютно прозрачен.

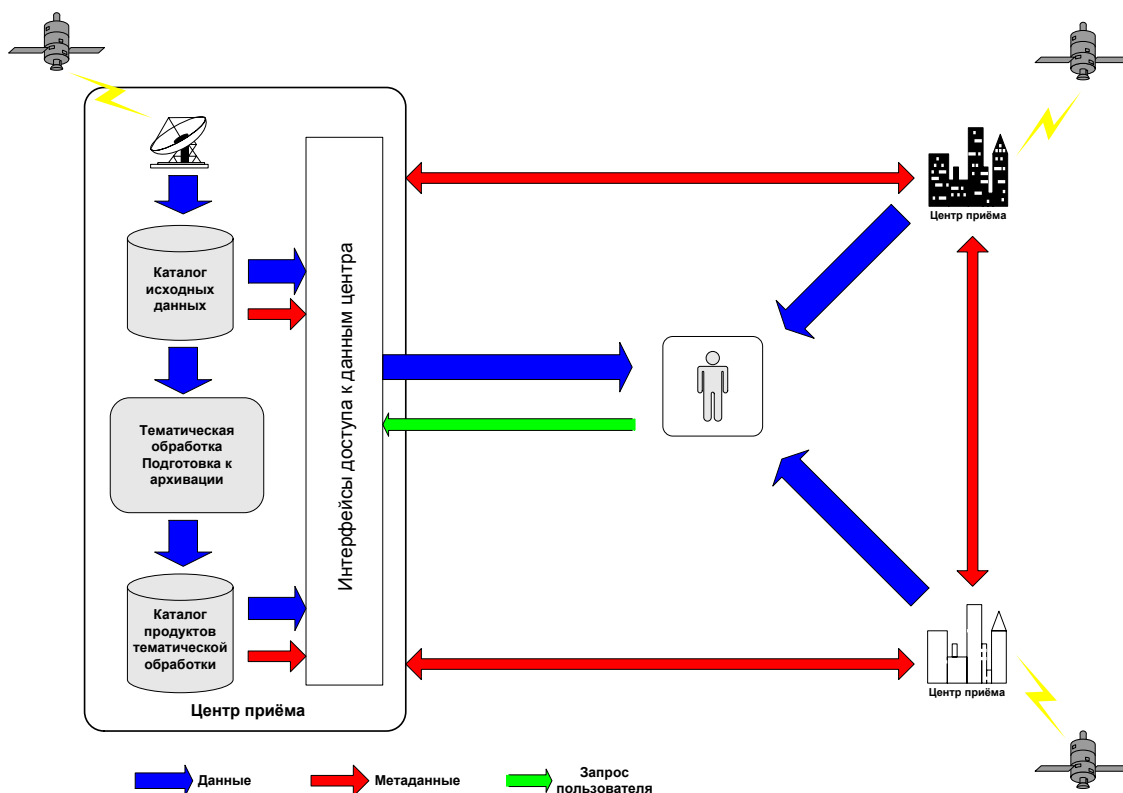


Рис. 4.1.2.1 Организация обмена и доступа к данным.

Для доступа к данным в рамках системы реализован специализированный картографический веб-интерфейс. Интерфейс создан на основе разработанной в ИКИ РАН технологии GEOSMIS. Интерфейс обеспечивает возможность просмотра данных, покрывающих требуемую территорию произвольной площади за требуемый промежуток времени. Требуемая территория может быть как произвольно выбранной, так и заранее определённой в соответствии с административным делением вплоть до областей. Для просмотра доступны как статичные сеансовые продукты, так и динамически генерируемые суточные композитные изображения. Как для сеансовых, так и для композитных продуктов реализована фильтрация данных по центрам приёма, космическим аппаратам и типам тематической продукции. Помимо данных, интерфейс предоставляет возможность показа одновременно со слоями данных статичных картографических слоёв, включающих в себя границы стран, субъектов, округов и административных районов, карты городов, дорог, рек и водоёмов, а также карты растительного покрова и покрытых лесом земель, использующиеся в качестве подложки. Интерфейс позволяет работать с различными тематическими продуктами, список которых постоянно расширяется. Общий вид интерфейса представлен на рис. 4.1.2.2.

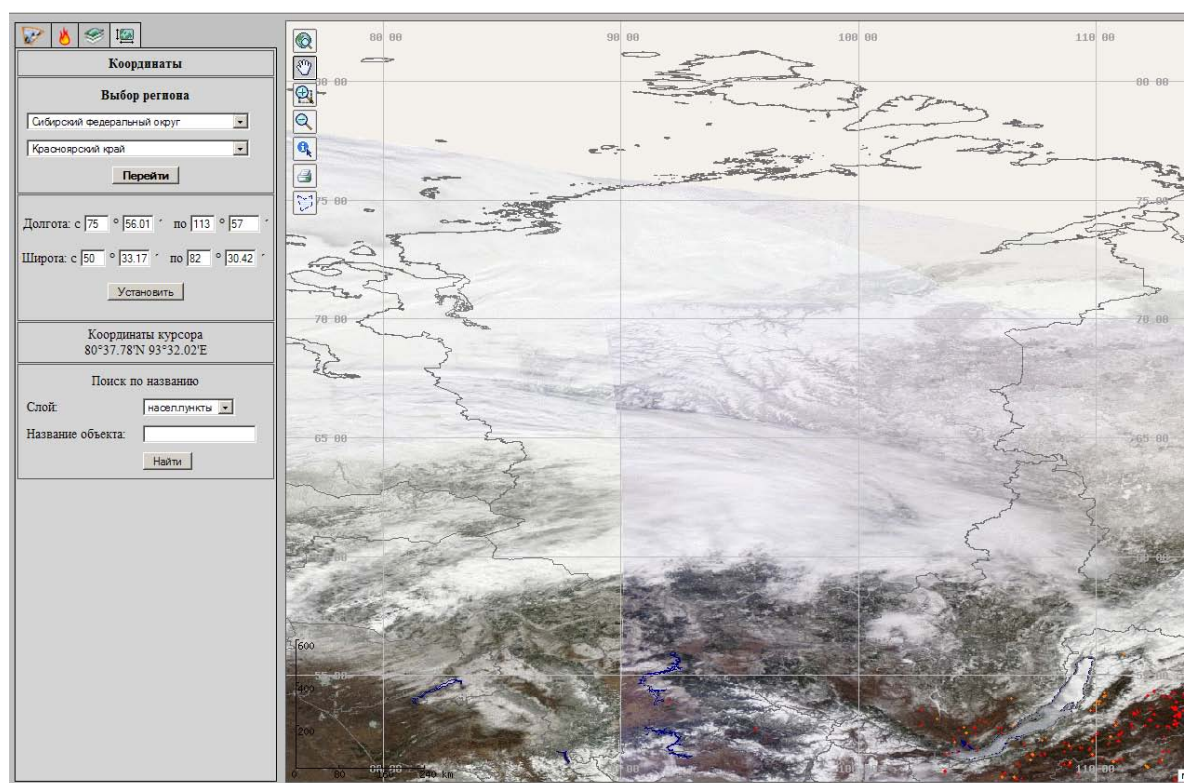
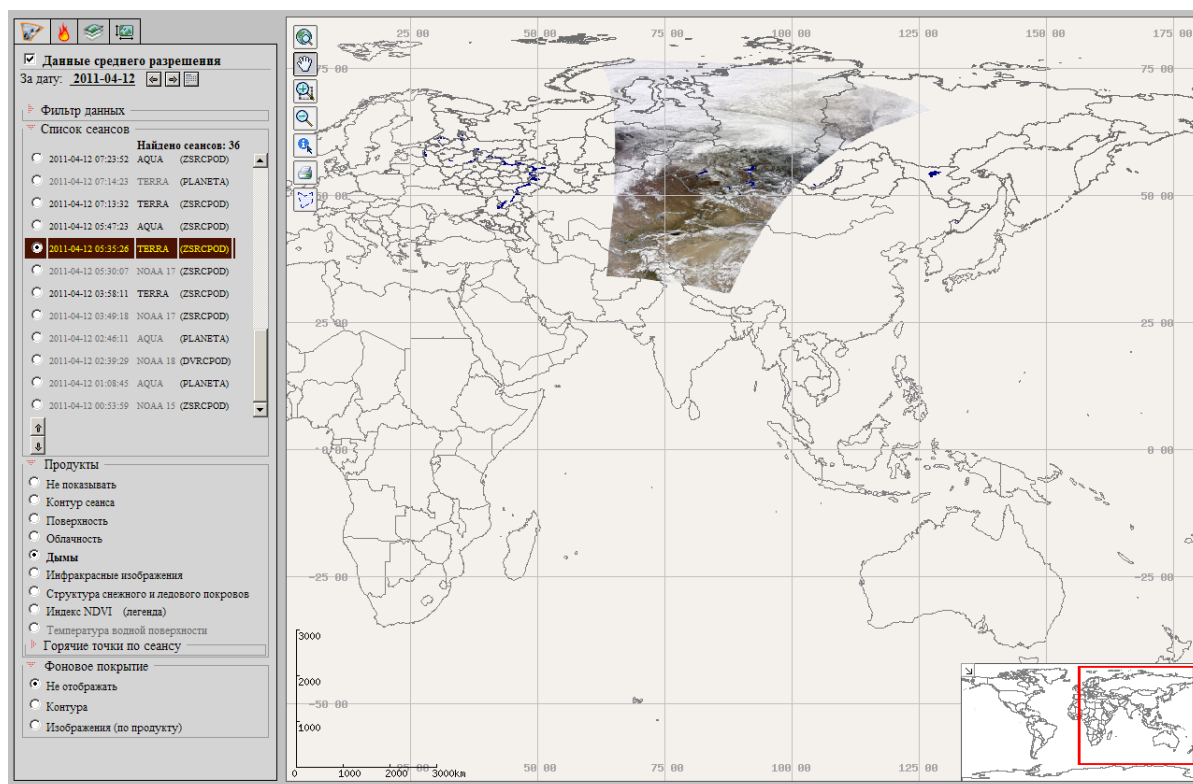


Рис. 4.1.2.2 Интерфейс доступа.

В настоящее время ведется опытная эксплуатация системы и активно проводятся работы по расширению ее функциональности.

Организации эффективного взаимодействия центров приема и обработки спутниковых данных и систем дистанционного мониторинга.

Быстрое развитие технологий, связанных с использованием спутниковых данных, для решения научных и прикладных задач позволило в последние годы начать создание и активное внедрение различных систем дистанционного мониторинга. Активно такие системы создаются и в нашей стране. Следует особо отметить, что постоянно действующие системы дистанционного мониторинга становятся наиболее значимыми по объему получаемой информации потребителями спутниковых данных. В недавнем прошлом считалось, что каждая специализированная система мониторинга должна строиться на собственных центрах приема и обработки спутниковых данных. Однако практика развития технологий работы со спутниковыми данными показала, что данный путь далеко не самый эффективный и очень затратный. Поэтому в последние годы все больше функционирующих систем дистанционного мониторинга ориентируются на использование информации крупных центров приема, способных обеспечить работу со спутниковыми системами. Поэтому особо остро встал вопрос организации эффективного взаимодействия крупных многофункциональных центров и сетей приема данных и систем дистанционного мониторинга.

Создание систем, которые стали использовать спутниковые данные не эпизодически, а постоянно (фактически каждый день), привело к существенному изменению требований к организации взаимодействия с центрами приема, архивации и представления спутниковых данных. Во многих случаях массовым потребителям спутниковой информации интересно получение не только спутниковых данных различного уровня обработки, для того, чтобы потом самостоятельно вести их анализ, а включение в свои системы специализированных продуктов обработки спутниковых данных в виде отдельных информационных «слоев». При этом во многих случаях наиболее привлекательной становится схема, по которой пользователь получает такие информационные продукты по мере надобности, не организуя у себя специального хранения данных и не занимаясь проблемами их актуализации. В идеале центр должен обеспечить автоматизированное предоставление данных за выбранный пользователем срок и по заданной территории в виде стандартного картографического слоя, который могла бы автоматически усвоить система потребителя.

Следует отметить, что сегодня существует богатый набор технологических возможностей, которые позволяют строить такие системы предоставления данных. Это в свою очередь приводит к тому, что становится возможным создание новых схем распространения данных. По этому пути сейчас идет целый ряд компаний, в том числе такие работы были начаты и в Научном центре оперативного мониторинга земли ОАО «Российские космические системы» (НЦ ОМЗ) совместно с Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН).

Наиболее традиционные способы взаимодействия центров и систем мониторинга - это организация передачи практически всего потока необходимой исходной спутниковой информации, получаемой в центре, или организация в центре специализированной обработки и передача в системы мониторинга уже продуктов обработки данных. Эти пути имеют очевидный недостаток, связанный с необходимостью организации оперативной передачи значительного объема информации, что приводит как к необходимости организации мощных каналов связи между центром и системой, так и к существенным задержкам в обработке данных. Конечно, в случае, если в системы мониторинга передаются уже готовые продукты, объемы данных и возникающие задержки можно несколько сократить. Однако система должна изначально подписаться фактически на полный объем получаемых в центре данных необходимого типа. В случае, если данные распространяются бесплатно или по очень низкой цене, безусловно, использовать такие

пути возможно. Однако когда речь идет о данных, имеющих значительную стоимость, практически для любой системы необходимо осуществлять оптимизацию объемов получаемой информации. В этом случае, требуется либо организовать схему массового оперативного заказа данных, либо создать технологию онлайн взаимодействия интерфейсов систем дистанционного мониторинга с архивами центров приема, о которой писалось выше. Оба этих подхода в настоящее время реализованы в НЦ ОМЗ. Здесь мы однако остановимся на кратком описании возможностей именно второй схемы, поскольку развитию технологий, необходимых для ее реализации, были посвящены работы проводимые в ИКИ РАН в 2011 году (в том числе и в рамках темы «Мониторинг»).

Схема интеграции продуктов в специализированные системы мониторинга на уровне интерфейсов. Как уже говорилось выше, во многих случаях для оптимизации и снижения объемов получаемой информации системам дистанционного мониторинга не всегда выгодно организовывать поступление и обработку в своих центрах всех объемов принимаемой спутниковой информации. Во многих случаях предпочтительнее осуществлять выборку информации по мере ее необходимости и просто обеспечивать возможность пользователям системы получение и работу с информацией, предоставляемой центрами приема наряду с информацией, поступающей из архивов самой системы мониторинга. Данный путь имеет следующие основные преимущества:

- в системе мониторинга нет необходимости вести дополнительные архивы данных;
- в большинстве случаев за счет сокращения объемов передаваемых исходных данных сокращается время обработки, необходимое для получения специализированных информационных продуктов;
- сокращаются требования по пропускной способности каналов, связывающих центры приема с центрами системы мониторинга;
- сокращаются объемы получаемой информации за счет того, что пользователи получают только необходимые им фрагменты.

Все это, в конечном итоге, ведет к оптимизации затрат на создание и эксплуатацию систем дистанционного мониторинга и позволяет существенно расширить возможности получения и использования информации, полученной на основе данных дистанционного зондирования. Особенно важно это для систем, которые ориентированы на мониторинг различных нестационарных объектов и процессов. Именно такими системами являются в частности, системы дистанционного мониторинга природных пожаров.

Поэтому для отработки описанной схемы предоставления данных была выбрана именно ИСДМ-Рослесхоз. Предложенная схема была разработана и реализована в НЦ ОМЗ на основе технологий потоковой обработки данных, созданной в центре, и технологий сбора, обработки и распространения спутниковой информации, разработанных в ИКИ РАН. Схема отработывалась на примере работы с данными прибора КМСС, установленного на спутнике МЕТЕОР М №1. Для обеспечения работы технологии были

- разработаны специальные процедуры обработки данных прибора КМСС, получаемых в НЦ ОМЗ для формирования базовых информационных продуктов и сохранение их в виде, позволяющем эффективный выбор наборов данных для проведения их онлайн анализа;
- реализован специализированный архив информационных продуктов КМСС;
- создана система автоматической подготовки информационных слоев по запросам, поступающим из интерфейсов ИСДМ-Рослесхоз;
- в объединенном картографическом интерфейсе ИСДМ-Рослесхоз [11] создана система управления информационными слоями, поступающими из НЦ ОМЗ.

Технология обеспечила возможность оперативного получения в интерфейсах ИСДМ-Рослесхоз данных из архивов НЦ ОМЗ. Это, в частности, позволило проводить анализ этих данных совместно с другой информацией, получаемой в ИСДМ-Рослесхоз.

Пример отображения информации КМСС в интерфейсах ИСДМ-Рослесхоз приведен на рис. 4.1.2.3. Следует особо отметить, что реализация данной технологии позволила обеспечить доступ пользователей ИСДМ-Рослесхоз к оперативно пополняющимся архивам данных НЦ ОМЗ.

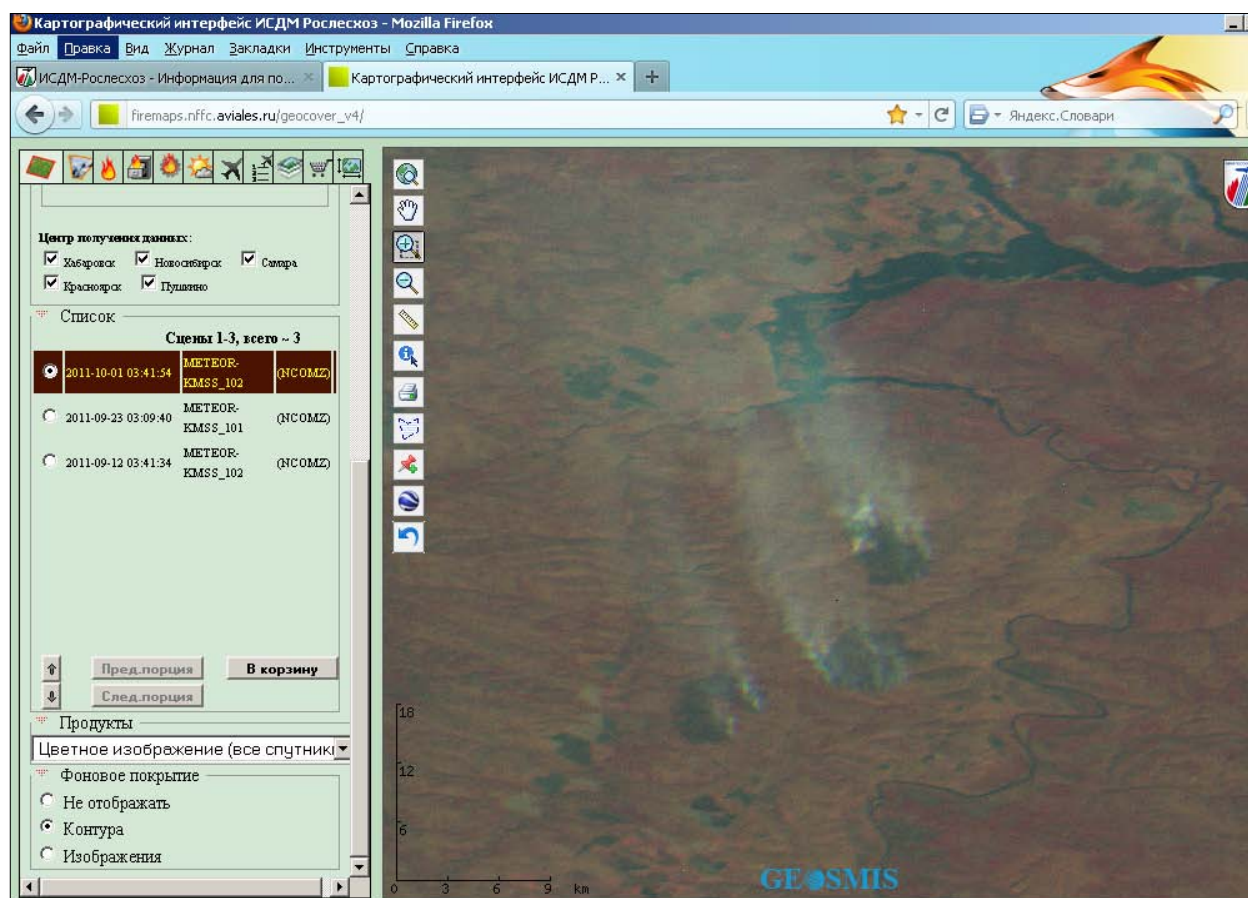


Рис. 4.1.2.3 Пример отображения информации КМСС в интерфейсах ИСДМ-Рослесхоз. Пожары в Иркутской области 1.10.2011

Реализованные схемы позволили расширить варианты взаимодействия НЦ ОМЗ с различными пользователями спутниковой информации, в первую очередь со специализированными системами мониторинга, которые в настоящее время становятся основными потребителями спутниковых данных. Реализованные в настоящее время в НЦ ОМЗ схемы предоставления пользователям различных информационных продуктов позволяют наладить взаимодействие с различными системами мониторинга, поскольку используют максимально стандартизированные варианты обмена и представления данных. Кроме того, поскольку реализованные в НЦ ОМЗ схемы представления данных были созданы на основе технологий работы со спутниковыми данными, разработанными в ИКИ РАН и используемыми в различных центрах приема и системах дистанционного мониторинга, это в дальнейшем может служить основой для быстрой и удобной интеграции ресурсов центра с ресурсами других систем. В частности, со следующими:

- Объединенная система доступа к данным Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров Росгидромета
- Система дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса
- Система мониторинга Федерального агентства по рыболовству;

- Спутниковый сервис дистанционного мониторинга состояния растительности «Вега» (Российская академия наук)

Использование одной технологической платформы позволяет организовывать высокоэффективное взаимодействие различных систем, в том числе создавать комплексные информационные продукты на основе данных различных систем. Это в свою очередь облегчает взаимодействие систем при решении различных комплексных совместных задач в частности, задачи создания различных региональных систем дистанционного мониторинга.

4.1.3. Разработка методов и технологий работы с распределенными архивами данных наблюдений. В том числе построение методов и технологий построения активных архивов для решения научных и прикладных задач. Отв. исп. д.т.н. Лупян Е.А. отд.56

В рамках данного направления работ в ИКИ РАН в 2011 году было завершено создание технологии GEOSMIS, обеспечивающей возможность построения интерфейсов для удаленной работы с долговременными архивами данных дистанционных наблюдений в различных системах мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов.

Одним из ключевых вопросов, связанных с построением и использованием систем дистанционного мониторинга, является организация эффективной работы пользователей с предоставляемой им информацией. Для достижения данной цели необходимо построение специализированных интерфейсов, которые позволяли бы решать основные задачи, возникающие в различных системах дистанционного мониторинга. Конечно, в каждой специализированной системе мониторинга есть свои особые задачи, однако можно выделить общую специфику, которая сегодня возникает практически во всех подобных системах. Так, например, большинство современных информационных систем дистанционного мониторинга должны:

- позволять осуществлять наблюдение значительных территорий и оперативно предоставлять информацию о контролируемых объектах и явлениях территориально распределенным пользователям;
- обеспечивать возможность постоянного наблюдения контролируемых объектов и явлений, т.е. быть рассчитаны на работу с постоянно обновляющейся информацией;
- позволять получать различные характеристики контролируемых объектов и явлений и поэтому быть ориентированными на использование информации, полученной на основе различных средств наблюдений (различные спутники, самолетные наблюдения, наземные наблюдения и т.д.);
- вести архивы данных за достаточно продолжительные сроки наблюдения, поскольку во многих случаях в системах мониторинга стоит задача выявления отклонений от «нормального» поведения контролируемых объектов и явлений;
- получать, обрабатывать и хранить достаточно большие объемы данных (в современных системах объемы архивов обычно исчисляются десятками и сотнями терабайт, а во многих случаях приближаются или уже превышают петабайтные рубежи);
- обеспечивать возможность работы с распределенными архивами и базами данных, поскольку сбор, анализ, обработка и хранение информации может

осуществляться в различных территориально распределенных центрах;

- в силу необходимости работы с достаточно большими потоками и объемами информации должны быть в основном ориентированы на полностью автоматизированные технологии сбора, обработки, распространения и представления данных;
- предоставлять пользователям информацию, прошедшую достаточно глубокую обработку, а также удобный инструментарий (интерфейсы для ее анализа), при этом во многих случаях должна быть обеспечена возможность динамического формирования тех или иных видов продуктов в момент запроса их пользователем;
- предоставлять пользователям возможность получения и анализа различной пространственной информации;
- обеспечивать простое получение и интеграцию данных из различных сторонних систем мониторинга, а также обеспечивать легкий импорт различных информационных продуктов, предоставляемых системой, в том числе и предоставление онлайн-сервисов.

Для решения всех этих задач системы дистанционного мониторинга должны обладать достаточно развитыми интерфейсами работы с данными и различными информационными продуктами. Такие интерфейсы должны обеспечивать:

- работу с многомерными архивами данных (т.е. по каждой наблюдаемой точке (объекту) в системе могут иметься временные ряды наблюдения различных характеристик);
- достаточно простое и легко понимаемое управление данными (выбор, поиск, включение для отображения нужных характеристик и т.д.);
- быстрый выбор и отображение различных информационных продуктов из достаточно емких архивов, обеспечивающих хранение многомерных данных;
- одновременное отображение различных видов информации, и проведение их совместного анализа;
- работу как с пространственной информацией, так и временными рядами различных информационных продуктов;
- формирование комплексных продуктов на основе базовых по запросу пользователей (связано это в первую очередь с тем, что при расширении задач и возможностей систем мониторинга, простое увеличение типов хранимых информационных продуктов приводит к неконтролируемому росту объемов архивов, поэтому часть продуктов приходится формировать только по запросам);
- доступ к распределенным информационным ресурсам;
- онлайн-импорт информации из различных сторонних информационных систем, а также сервисы экспорта данных в такие системы;
- расширяемость функциональности, а также удобные и гибкие настройки для решения задач конкретных проектов;
- гибкую систему авторизации пользователей для доступа к различным функциям и информационным продуктам, используемым в системе;
- поддержку и развитие большим числом разработчиков.

Для решения перечисленных выше задач в ИКИ РАН создана технология, предназначенная для разработки картографических web-интерфейсов работы с данными в различных системах дистанционного мониторинга, которые удовлетворяют всем перечисленным выше требованиям.

Архитектура построения GEOSMIS. Для того чтобы web-интерфейс мог работать с картографическими данными, он должен обеспечивать, как минимум, следующие базовые функции:

- отображение данных на карте;
- базовые функции работы с картой;
- поиск данных в каталогах и их отображение;
- экспорт данных.

При реализации этих функций в web-интерфейсах, которые работают в системе GEOSMIS, были использованы следующие принципы построения:

- модульная структура;
- объектная модель;
- гибкость конфигурации;
- простота расширения.

Систему GEOSMIS можно условно разделить на несколько уровней, взаимодействие которых представлено на рис. 4.1.3.1:

- Уровень представления, включающий в себя web и ГИС интерфейсы;
- Прикладной уровень, в который входят:
 - Web-сервисы (в том числе, картографические сервисы, сервисы метаданных и сервисы управления данными);
 - Системный API, обеспечивающий доступ к данным и справочникам, а также контроль доступа к различным ресурсам и интерфейсам.

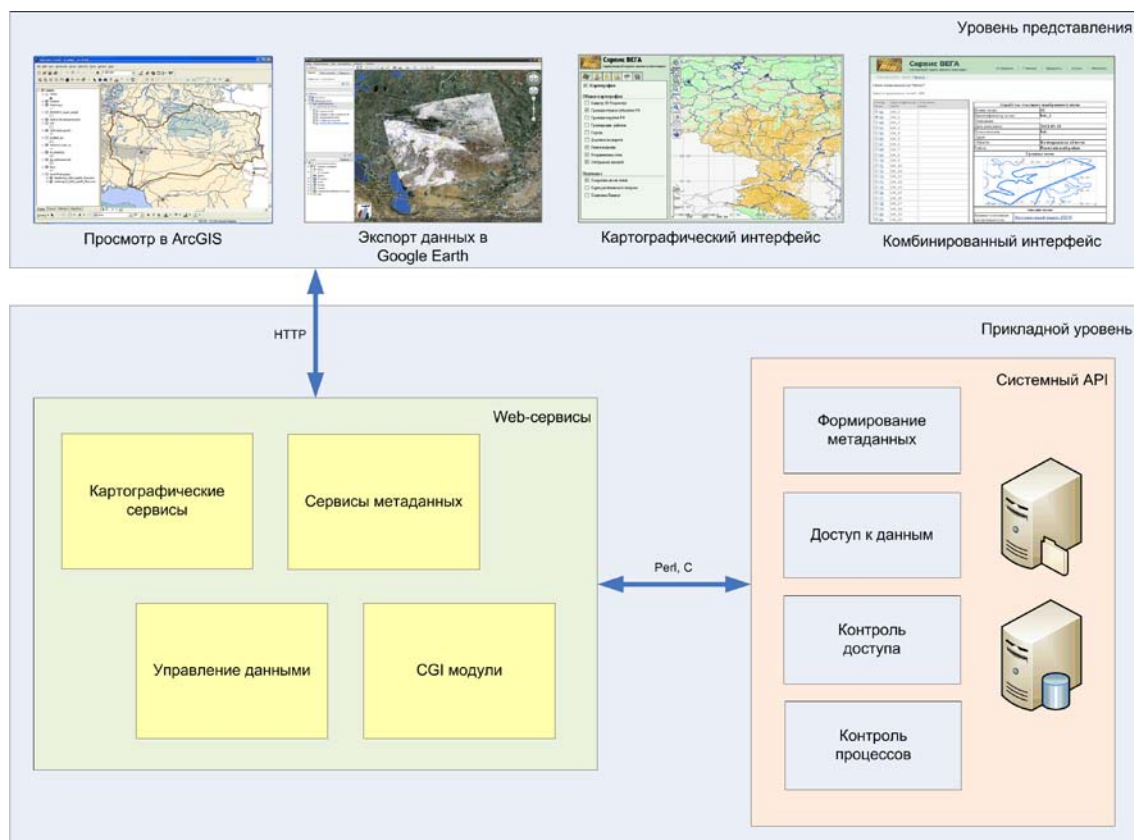


Рис. 4.1.3.1 GEOSMIS, уровни архитектуры и их взаимодействие.

Уровень представления – это уровень, на котором идет взаимодействие с пользователем. Данный уровень позволяет пользователю работать с системой посредством web-интерфейсов или специально созданных приложений, таких как ГИС. Поскольку ГИС системы имеют уже все базовые инструменты для работы с картографическими данными, то их взаимодействие с системой GEOSMIS осуществляется на уровне работы с сервисами данных.

GEOSMIS ориентирована на построение систем интерфейсов доступа к данным. Характерная архитектура интерфейса представлена на рис 4.1.3.2.

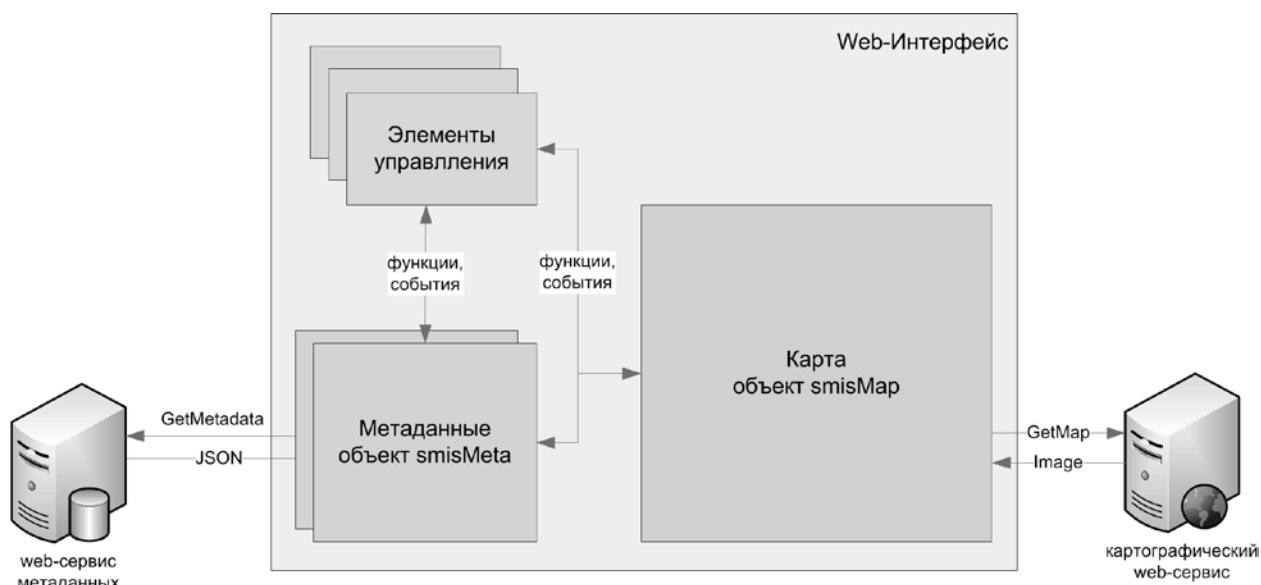


Рис.4.1.3.2 Характерная архитектура web-интерфейса, основные элементы.

Работу таких интерфейсов обеспечивает ядро, основой которого являются два следующих модуля:

- модуль работы с картографическими данными – smismap;
- модуль работы с метаданными – smismeta.

Модуль работы с картографическими данными представляет собой объект javascript, который обеспечивает отображение картографической информации, полученной от сервисов данных и манипуляции с ней. Кроме того, модуль позволяет делать пространственные запросы и делать экспорт отображаемых данных на печать или в другие системы.

Модуль работы с метаданными представляет собой объект javascript, который отвечает за поиск данных в каталогах, с помощью сервисов метаданных и извлечение из них данных, необходимых для отображения информации на сервисе «отрисовки».

Поскольку модули построены по объектной модели, то их можно тиражировать для работы с разными типами данных, например для поиска разного типа данных. Взаимодействие модулей между собой осуществляется через вызов функций и обработку событий, что обеспечивает гибкость и прозрачность работы интерфейса. Базовые модули были написаны с таким расчетом, чтобы максимально абстрагироваться от сущности данных. Для этого были созданы гибкие конфигурационные файлы, которые позволяют быстро и просто перенастраивать интерфейс на работу с новыми типами данных.

Таким образом, для построения конкретной системы интерфейсов для специализированной системы требуется:

- прописать необходимые объекты;
- настроить взаимодействие между ними с помощью обработки событий;
- написать файлы конфигураций и сделать необходимые элементы управления, которые позволяют задавать различные режимы отображения данных, их поиска в каталогах, их комбинацию, а также получать различную информацию.

Готовый интерфейс представляет собой базовые объекты, элементы управления и файлы конфигураций, а также дополнительные CGI модули. Все данные, которыми

оперирует web-интерфейс, поступают с серверов либо от сервисов данных, либо через CGI модули. Таким образом, вся работа с данным в конкретном интерфейсе строится через прикладной уровень.

Прикладной уровень – это уровень, который обеспечивает взаимодействие между интерфейсами и непосредственно данными. Условно его можно разбить на Web-сервисы и системный API.

Web-сервисы позволяют получить доступ к данным на основе протоколов HTTP. В системе GEOSMIS используются 3 типа web-сервисов:

- картографические;
- метаданных;
- управление данными.

Картографические *web-сервисы* позволяют получить картографическую информацию в виде растровых изображений. Данный тип сервисов работает на основе стандарта WMS с дополнительным его расширением. Это позволяет использовать данные не только в web-интерфейсах, но и напрямую в ГИС.

Сервисы метаданных позволяют получить информацию о наличии конкретных продуктов по определенной территории или заданному промежутку времени, а так же любым дополнительным критериям. Данные сервисы работают с форматами JSON или XML. Сервисы метаданных позволяют делать запросы, в том числе и к распределенным архивам. Информация, которую возвращает сервис, содержит как описательные данные, так и данные, необходимые для получения этой информации с помощью картографических сервисов.

Сервисы управления данными позволяют манипулировать данными в БД путем осуществления web-запросов. Таких как добавление информации, например контуров и их атрибутов, или изменение и удаление. Взаимодействие с такими сервисами ведется в формате JSON.

В системе GEOSMIS все 3 типа web-сервисов реализованы в рамках одной общей стратегии в едином сервисе, который получил название **smiswms**. Данный сервис позволяет делать запросы на получение картографических данных (запрос типа GetMap, который генерируется в интерфейсе модулем smismap), запросы на получение метаданных (запрос типа GetMetadata, который генерируется в интерфейсе модулем smismeta), а так же делать запросы на добавление и изменение данных, например добавление полигонов или информации по ним. Таким образом, ядро web-интерфейсов взаимодействует напрямую с сервисами smiswms для получения метаданных и отображения картографической информации. Причем, взаимодействие может осуществляется как с одним сервисом smiswms, так и с произвольным их количеством, причем территориально распределенным.

Отдельной частью прикладного уровня является *системный API*. Это модули, написанные преимущественно на языке Perl, которые находятся на серверах и позволяют получать доступ к данным и работать с ними на стороне сервера. Все web-сервисы, которые были перечислены выше, работают с данными именно через них. Каждый модуль отвечает за какой-то определенный тип данных или часть системы. Это позволяет гибко настраивать систему, искать ошибки и удобно осуществлять разработку.

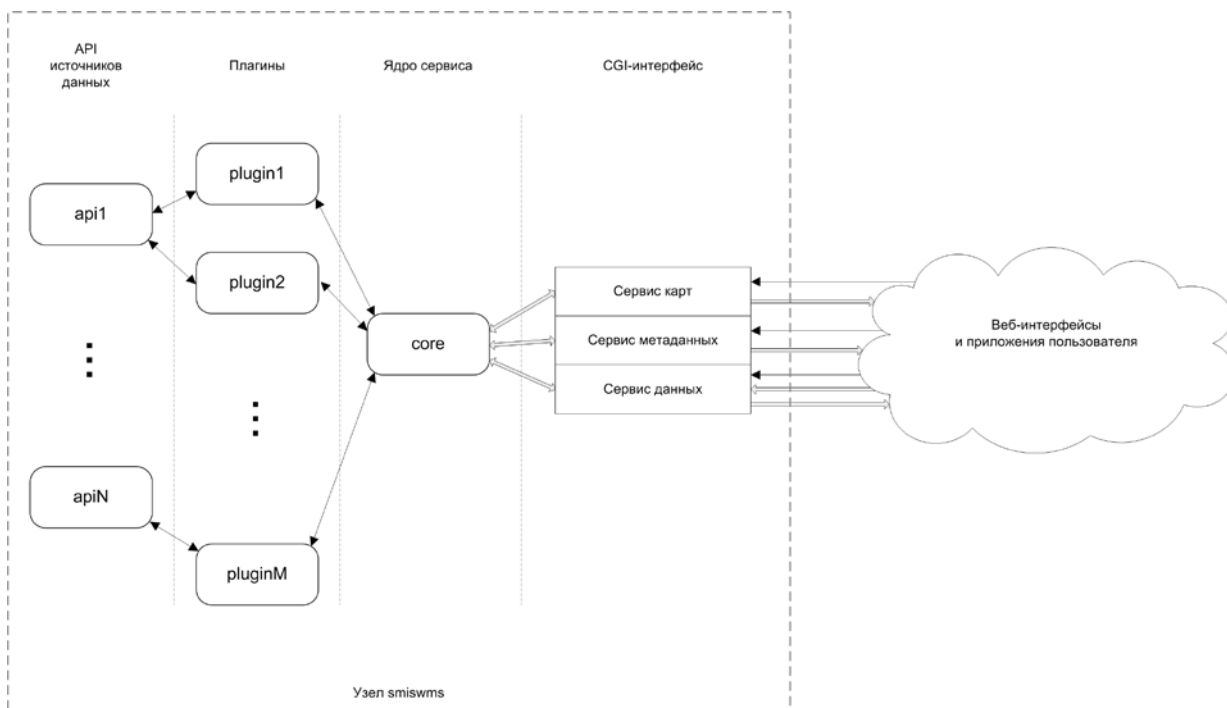
Одной из частей системы, которая пронизывает собой все уровни, является система авторизации. Система авторизации позволяет не только ограничивать доступ к определенным типам данных, но и по различным параметрам. Система авторизации работает как на уровне системного API, который используется при реализации web-сервисов и других API модулей, так и на уровне web-интерфейсов, позволяя видоизменять количественно и качественно состав интерфейса, в зависимости от уровня доступа. Система авторизации состоит из API модулей для работы с учетными записями пользователей и web-интерфейса их управления, а так же модуля для веб-сервера, который обеспечивает проверку доступа ко всем web-ресурсам. Система GEOSMIS использует систему авторизации, которая разработана в ИКИ РАН.

Работа с картографическими данными. Одной из основных задач GEOSMIS является унификация доступа к геопространственным данным. Под этим понимается типизация предоставляемых сервисов и стандартизация форматов предоставления данных. Основными типами сервисов, необходимых для GEOSMIS, являются сервис растровых карт, сервис описаний карт (метаданных) и сервис управления данными. Эта функциональность была реализована в web-сервисе smiswms, обеспечивающем работу с картографическими данными в GEOSMIS.

При создании сервиса за основу был взят стандарт OGC WMS (<http://www.opengeospatial.org/standards/wms>), расширенный и дополненный для того, чтобы удовлетворять запросам существующих web-интерфейсов и специфики формирования карт. В то же время, полностью поддержан базовый формат запроса карт WMS getMap для обеспечения совместимости со сторонними приложениями. Запросы на получение метаданных и управления данными так же были созданы с учетом структурных особенностей стандартов OGC (<http://www.opengeospatial.org/standards>), с ориентировкой на прикладные варианты использования. В частности, запрос метаданных может предоставлять результаты в формате JSON, поддерживает управление размерами порций выдаваемой информации и работу со специфичными для различных данных фильтрами.

Таким образом, стандарты интерфейсов предоставления данных smiswms не зависят от форматов хранения и предоставления самих данных. В настоящее время сервис smiswms обеспечивает доступ пользователей к информации, хранящейся в большом количестве архивов и баз данных различных форматов. Гибкая поддержка таких источников данных и быстрое добавление новых обеспечивается особенностями внутренней структуры сервиса. Одним из показательных примеров реализации плагина сервиса smiswms является плагин, обеспечивающий работу с распределенным каталогом данных высокого пространственного разрешения. Доступ к этой информации организован таким образом, что и карты, и метаданные из независимых каталогов территориально разнесенных центров агрегируются «на лету» незаметно для пользователей сервиса.

Smiswms имеет модульную структуру. Модули сгруппированы таким образом, чтобы полностью разделить частные алгоритмы и функции реализации доступа к данным, и общую функциональность, обеспечивающую работу сервиса в целом. Таким образом,



структура сервиса имеет стандартизированные группы модулей работы с частными данными – плагины, и модули ядра сервиса для работы с плагинами и обслуживания внешних интерфейсов. Структурно-функциональная схема сервиса приведена на рис 4.1.3.3.

Рис.4.1.3.3 Структурно-функциональная схема веб сервиса smiswms

В отдельную группу выделены программные модули, необходимые для поддержки автоматического тестирования сервисов и источников данных. Ключевыми особенностями реализации smiswms являются: изоляция процессов плагинов и ядра, обеспечения параллельности обработки запросов плагинами и наличие единого механизма обработки исключительных ситуаций.

Ядро сервиса smiswms осуществляет работу с плагинами и взаимодействие с web-сервером посредством CGI интерфейсов, а так же необходимую для обеспечения работы сервиса функциональность. Модули каждого из плагинов обеспечивают данными интерфейсные сервисы ядра smiswms. Плагины создаются на основе базовых модулей-классов и имеют стандартные интерфейсные функции для взаимодействия с ядром. Такой подход обеспечил простоту добавления, конфигурирования наборов плагинов и удобство совместной разработки функциональности сервиса в целом.

Отдельными группами модулей в smiswms выделены плагины тестов. Такое решение определено, в первую очередь, уникальностью алгоритмов тестирования функциональности каждого плагина и, зачастую, необходимостью дополнительно конфигурировать параметры алгоритмов для различных проектов. Плагины тестов так же унифицированы по интерфейсам взаимодействия с ядром.

Большое внимание при создании сервиса smiswms было уделено оптимизации быстродействия. Оптимизация сервисов предоставления данных, метаданных и карт производилась в трех основных направлениях – оптимизация алгоритмов и функций работы с данными в каждом из плагинов, возможность параллельной работы плагинов и применение средств кеширования запросов. Хотя, во многом, быстродействие сервиса обеспечивается частными решениями, принятыми при построении специализированных систем хранения данных, которые должны обеспечить быструю выборку данных для формирования карт и обеспечения метаданными, в том числе, из распределенных источников. Один из успешных подходов к реализации оптимизированной системы хранения, доступ к данным которой обеспечен плагинами сервиса smiswms .

Сервис smiswms реализован с использованием интерпретатора perl и модулей с открытым исходным кодом. Такое решение позволило использовать различные операционные среды для работы сервиса без существенных изменений.

Построение картографических интерфейсов на основе GEOSMIS Особое внимание при разработке системы GEOSMIS уделялось вопросу организации структуры интерфейсов работы с данными. Учитывая, что необходимо организовать достаточно понятные и удобные интерфейсы, обеспечивающие работу с разнотипными, быстро обновляющимися пространственными данными, необходимо было выработать некоторые общие подходы, которые позволили бы пользователям достаточно легко ориентироваться в интерфейсе. Поэтому был разработан некоторый базовый тип web-интерфейса, структура которого представлена на рис. 4.1.3.4.

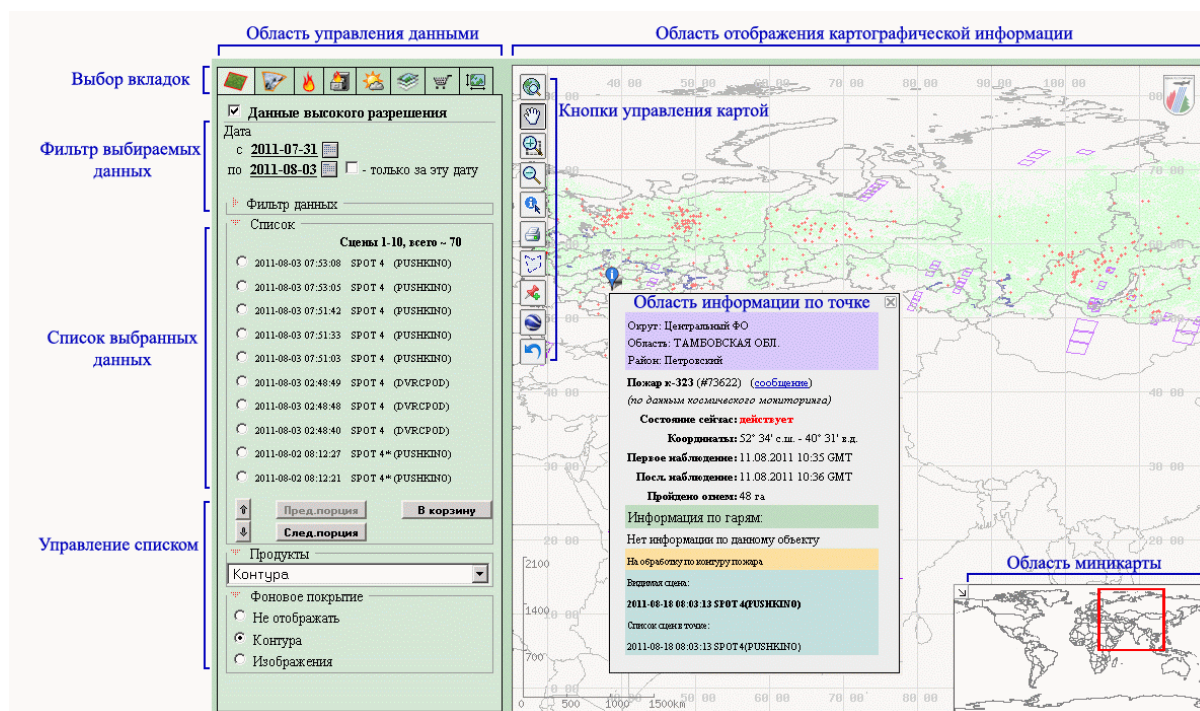


Рис. 4.1.3.4 Пример базового интерфейса для работы с данными в GEOSMIS.

На рисунке отмечены ключевые функциональные области интерфейса.

Для того, чтобы обеспечить работу с разными типами данных, управление интерфейсом имеет блочную структуру. Каждому типу данных и характерным функциям управления соответствуют свои модули в интерфейсе. На уровне пользователя для каждого

модуля и типа данных в интерфейсе созданы соответствующие вкладки работы с данными. Такая структура позволяет группировать различные однотипные данные, и различные операции с данными, для удобной и понятной работы пользователя. Модульная структура позволяет также сделать интерфейс масштабируемым, при этом добавление в интерфейс новых данных или их групп или дополнительных операций не представляет заметных трудностей. Структура позволяет конфигурировать интерфейс для работы с нужными типами данных. Следует также отметить, что в различных специализированных системах, которые используют интерфейсы, построенные по данному принципу, управление работой с однотипными данными может осуществляться однотипными базовыми вкладками. Это облегчает как разработку специализированных интерфейсов, так и обмен данными между различными системами.

Для удобной работы пользователей с разновременными данными в интерфейсе реализованы достаточно однотипные блоки, которые позволяют управлять различными по типам спутниковыми данными и результатами их обработки. Например, работать с:

- данными высокого пространственного разрешения, представление которых осуществляется достаточно локализованными сценами;
- данными низкого и среднего разрешения, характерной единицей представления которых являются «сеансы», охватывающие значительные территории;
- сериями временных и пространственных композитов различных продуктов обработки спутниковых данных.

В интерфейсе предусмотрена также специальная возможность выборки различных типов слоев для проведения их совместного детального анализа. Выбранные слои (сцены, сеансы и т.д.) собираются в отдельной вкладке, в которой в зависимости от задач конкретной реализации интерфейса, с ними можно осуществлять те или иные операции.

Особое внимание при построении интерфейсов уделено также вопросу обеспечения для пользователей прозрачных схем получения информации, хранящейся в распределенных архивах данных или даже в разных системах мониторинга. Интерфейсы рассчитаны на прозрачное для пользователя получение данных из различных источников, т.е. пользователь во многих случаях даже не замечает из каких именно систем хранения или, например, центров предоставления информации он получает конкретные данные. Как уже отмечалось, интерфейс интегрирован с системой авторизации, что позволяет пользователю, проведя авторизацию на входе в конкретный интерфейс, получить возможность работы с различными распределенными информационными ресурсами в соответствии с политикой конкретной системы.

Интерфейсы также позволяют включать в себя различные функции, связанные с управлением данными. Например, заказ данных из архивов или назначение их в специализированные обработки, реализованные в конкретных системах, а также управление экспортом данных в различные сторонние системы.

В интерфейсе поддерживается достаточно богатый набор управления отображением пространственных данных, который является практически стандартным для различных ГИС систем.

Особое внимание при разработке системы GEOSMIS уделялось вопросам, связанным с оптимизацией работ по созданию, развитию и поддержке интерфейсов, создаваемых для конкретных систем дистанционного мониторинга. Поэтому в системе

предусмотрены различные конфигурационные модули, которые позволяют легко управлять базовыми настройками интерфейса. Модули конфигурации позволяют производить гибкую настройку интерфейса. В модуле конфигурации доступа к данным задаются сервера доступа к данным, параметры wms-запросов для получения данных, а также дополнительные параметры, такие как формат данных. В модулях конфигурации метаданных задаются параметры получения метаданных, а также параметры формирования списка метаданных. Конфигурация модуля smismar позволяет управлять как основными, так и дополнительными элементами управления картой. Общая конфигурация проекта производится в главном файле проекта, в этом файле прописываются все модули конфигурации.

Описанная система позволяет легко создавать различные специализированные интерфейсы на основе базового интерфейса. Для создания таких специализированных интерфейсов фактически требуется:

- **Установка базовых модулей.** Для этого на серверах, которые должны будут обеспечивать работу интерфейсов, устанавливаются базовые модули, используемые в любых интерфейсах этого типа. К примеру, к таким модулям относятся библиотеки smismar и smismeta. При этом также создается базовая структура директорий, и в ней разворачиваются общие модули, соответствующие тем типам данных, которые будут использоваться в интерфейсе. К примеру, если в интерфейсе используются данные высокого разрешения, на серверах создаются соответствующие директории, в которые помещаются модули, ответственные за работу с этими типами данных. Также разворачиваются модули управления, например, модуль управления корзиной и модуль выдачи информации по точке.
- **Базовая конфигурация интерфейса.** Основные параметры, необходимые для работы интерфейса, задаются в специальных конфигурационных файлах. В них, например, задаются адреса и wms-запросы тех слоёв, которые будут отображаться, адреса и параметры запроса к используемым метаданным. Также прописывается состав стандартных вкладок, из которых состоит интерфейс, и некоторые начальные его параметры (к примеру, такие как начальные координаты входа в интерфейс). В процессе конфигурации также должны быть настроены связи с архивами используемых данных.
- **Создание специализированных модулей.** Естественно, что при создании интерфейсов для конкретной специализированной системы обычно нельзя ограничиться функциональностью, которую обеспечивают базовые блоки (вкладки, стандартные реакции на события и т.д.). Используемая в GEOSMIS схема организации интерфейсов позволяет легко расширять функциональность интерфейса и включать в него дополнительные модули, что может быть необходимо для обеспечения доступа к специализированным видам информации. Разработка нового модуля включает в себя создание серверного и клиентского компонентов. Серверный компонент обеспечивает доступ к данным в соответствии со стандартом WMS. Клиентский компонент представляет собой вкладку интерфейса, содержащую элементы управления, предназначенные для формирования WMS-запросов на получение данных. Также при необходимости в модуль добавляются функции взаимодействия с другими модулями системы, и функции работы и анализа данных. Конфигурация интерфейса, включающая перечень используемых модулей и источников данных, необходимых для их работы, указывается в файлах настройки

- **Сборка интерфейса.** Интерфейс собирается из набора вкладок, соответствующих javascript-модулей и конфигурационных файлов. Адреса вкладок, каждая из которых представляет отдельный html-файл, прописываются в главном html-файле интерфейса. Там же прописываются файлы конфигураций, и включаемые в интерфейс модули. После этого собранный интерфейс готов к работе.

Подобная схема действий позволяет достаточно однотипно осуществлять создание сложных интерфейсов, необходимых для работы различных систем мониторинга. Конечно, следует учитывать, что для работы интерфейса, необходимо во многих случаях также осуществлять доработки функций доступа к специфическим данным, используемым в системах мониторинга, для того чтобы они могли взаимодействовать с интерфейсом. Однако такие функции взаимодействия интерфейса с архивами данных достаточно унифицированы, что позволяет использовать предлагаемые подходы для работы с достаточно широким классом архивов данных.

Отметим, что описанная технология GEOSMIS сегодня является одной из первых технологий, ориентированных на построение сложных специализированных интерфейсов для обеспечения работы с пространственными данными в различных системах дистанционного мониторинга. GEOSMIS ориентирована на создание систем, удовлетворяющих требованиям, которые обсуждались во введении к настоящей работе, в том числе такие системы должны позволять:

- работать с большими объемами разнородной информации, покрывающей большие территории;
- работать с данными разновременных, долговременных наблюдений;
- работать с распределенными информационными ресурсами;
- работать как с оперативно обновляющейся информацией, так и долговременными архивами данных;
- осуществлять не только поиск и визуальный просмотр данных, но и проводить их качественный и количественный анализ (фактически обеспечивать создание активных архивов данных);
- обеспечивать возможность управления обработкой информации.

Опыт использования GEOSMIS при создании интерфейсов работы с данными в различных системах дистанционного мониторинга показал, что система является устойчивой, легко масштабируемой, удобной в поддержке и позволяющей создавать достаточно прозрачные и удобные в работе системы. В настоящее время в ИКИ РАН активно ведутся работы по расширению функциональных возможностей системы и построения на ее основе блоков работы с данными в различных прикладных и научных проектах.

4.1.4 Разработка научно-методических основ построения больших распределенных систем дистанционного мониторинга состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов..

Отв. исп. д.т.н. Лупян Е.А. отд.56

Особое значение при построении больших распределенных систем дистанционного мониторинга состояния окружающей среды, природных и антропогенных объектов все больше приобретают вопросы, связанные с организацией их документирования и контроля. При этом, поскольку системы мониторинга обычно являются достаточно сложными информационными системами, в работе которых задействовано большое число ресурсов и производится и распространяется огромное число информационных продуктов, требуется создание специализированных блоков их документации и контроля (СДК). Работы в этом направлении достаточно давно ведутся и в ИКИ РАН. В 2011 году в ИКИ РАН была выпущена новая версия СДК, которая позволила упростить контроль работы достаточно большого числа информационных систем, создающихся и поддерживающихся в ИКИ РАН. В настоящем разделе мы кратко опишем возможности этой системы.

Для обеспечения бесперебойной работы систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных необходим контроль. Эффективная система контроля позволяет модернизировать систему с учетом необходимых мер по предотвращению сбоев в работе системы и устранять сбои с минимальными потерями для клиентов или даже без всякого ущерба. Базируясь на разработке и эксплуатацию систем дистанционного мониторинга можно выделить основные задачи контроля и управления:

- I. *Контроль за успешным и своевременным выполнением программ.*
В системах, связанных с потоковой обработкой спутниковых данных, получение требуемых информационных продуктов, зачастую, является многошаговой процедурой, в которой может участвовать довольно большое количество связанных процессов. Ошибка в каждом из этих процессов или несвоевременное выполнение процесса может привести к тому, что пользователь вовремя не получит интересующие его информационные продукты. Таким образом, необходимо контролировать успешность и своевременность выполнения каждого из процессов.
- II. *Контроль за состоянием компьютеров.*
Т.е. контроль таких параметров, как наличие свободного места на дисках, состояние дискового массива, работы механизма репликации баз данных и других важных сервисов. Как правило, своевременное детектирование такого рода сбоев позволяет избежать серьезных проблем.
- III. *Контроль за своевременным поступлением информационных продуктов.*
Основным критерием проведения такой проверки должно быть наличие актуальных информационных продуктов в соответствующих базах данных.
- IV. *Оперативное оповещение персонала.*
Для устранения сбоя необходимо оповестить о ней персонал, занимающийся поддержкой работы системы, используя возможности электронной почты и других средств доставки сообщений таких, как SMS.
- V. *Протоколирование сбоев и контроль их устранения.*
Регистрация обнаруженного сбоя с детальным описанием сбоя и оповещением персонала о ходе его устранения.
- VI. *Протоколирование изменений в системе.*
Необходимо оперативно отслеживать и оповещать персонал о последних изменениях в системе, обеспечивая дополнительную надежность.
- VII. *Документирование программных и аппаратных компонент системы.*
Документирование многочисленных электронно-вычислительных и программных компонент, входящих в систему дистанционного мониторинга.
- VIII. *Интеграция всех реализованных компонент контроля и управления.*
Удобный интерфейс по использованию всего разработанного инструментария.

Решение обозначенных задач требует разработки специального программного обеспечения и специальных организационных мер. В статье мы кратко опишем

разработанный нами инструментарий и подробно рассмотрим систему документирования и контроля, задачей которой является документирование и интеграция реализованных компонент.

Программный пакет PMS это ядро системы контроля и предназначен, в первую очередь, для контроля за успешным и своевременным выполнением программ на UNIX серверах. На базе программного пакета PMS решаются задачи: *контроль за успешным и своевременным выполнением программ, контроль за состоянием компьютеров, оперативное оповещение персонала.*

Пакет устанавливается на каждый из серверов, участвующих в работе системы. При этом контролируемые процессы запускаются в автоматическом режиме при помощи специальной программы, которая сохраняет в БД протоколы их выполнения. Доступ к информации о выполнении программ реализован при помощи WEB интерфейса, позволяющего, в частности, задать критерии детектирования ошибок для каждого процесса. Для оперативного оповещения о возникших в работе процессов сбоях используется электронная почта.

Сбои, выявленные системой PMS, заносятся в Систему ведения сбоев в ручном или автоматизированном режиме. Система ведения сбоев обладает как программным так и пользовательским интерфейсами. Пользовательский интерфейс позволяет вручную заносить информацию об обнаруженном сбое и ходе его устранения. При занесении сбоя в систему, обязательно указывается список специалистов, которые должны принять меры по его устранению. Система ведения сбоев решает задачи: *Оперативное оповещение персонала, протоколирование сбоев и контроль их устранения.*

Контроль за своевременным поступлением информационных продуктов осуществляется Системой контроля наличия информационных продуктов. Система позволяет следить за сроком «давности» экземпляров данных для каждого из определенных в ней типов продуктов. Доступ к информации осуществляется при помощи WEB интерфейса. В случае обнаружения ошибки система автоматически заносит информацию в систему сбоев.

Ввиду постоянной модернизации системы крайне важно отслеживать все изменения по доработке или добавлению новой функциональности системы. Для этого была разработана Система протоколирования изменений, которая решает задачу *протоколирования изменений в системе*. Основным элементом системы является WEB интерфейс, через который разработчик заносит детальное описание изменений.

Выше описанные компоненты являются универсальными и дополняются Специальными интерфейсами контроля в рамках конкретной системы. Например, чтобы свести различные параметры контроля за работой распределенной системы, в рамках одного интерфейса разрабатывается обобщающий WEB интерфейс – панель контроля за функционированием системы.

По мере совершенствования разработанного инструментария и постоянного роста системы дистанционного мониторинга возникает задача по интеграции реализованного инструментария в рамках одной системы. Для этих целей была разработана Система документирования и контроля.

Система документирования и контроля (СДК). СДК разрабатывалась для эффективного решения задач: *Документирование программных и аппаратных компонент системы, Интеграция всех реализованных компонент контроля и управления.*

Документирование программных и аппаратных компонент для различных систем дистанционного мониторинга требует введения однотипных понятий, на базе которых возможен эффективный контроль и управление в рамках каждой системы.

Для документирования нескольких систем дистанционного мониторинга в рамках СДК было введено понятие – Проект.

Проект – любая совокупность программно аппаратных средств, объединенных одной тематикой, которая указывается в описании Проекта.

В Проект входят следующие понятия:

Организации – центры приема спутниковых данных или центры обработки спутниковых данных;

Компьютеры – сервера, станции обработки, рабочие места;

Базы Данных – базы данных, расположенные на серверах;

Блоки обработки – цепочки обработки спутниковых данных;

Веб интерфейсы - интерфейсы, установленные на серверах;

Тип исходных данных – описание исходных данных (например, спутник-прибор).

На базе введенных понятий была разработана база данных СДК и реализован интерфейс СДК, в котором каждое понятие выделено в тематический блок (Рис. 4.1.4.1).

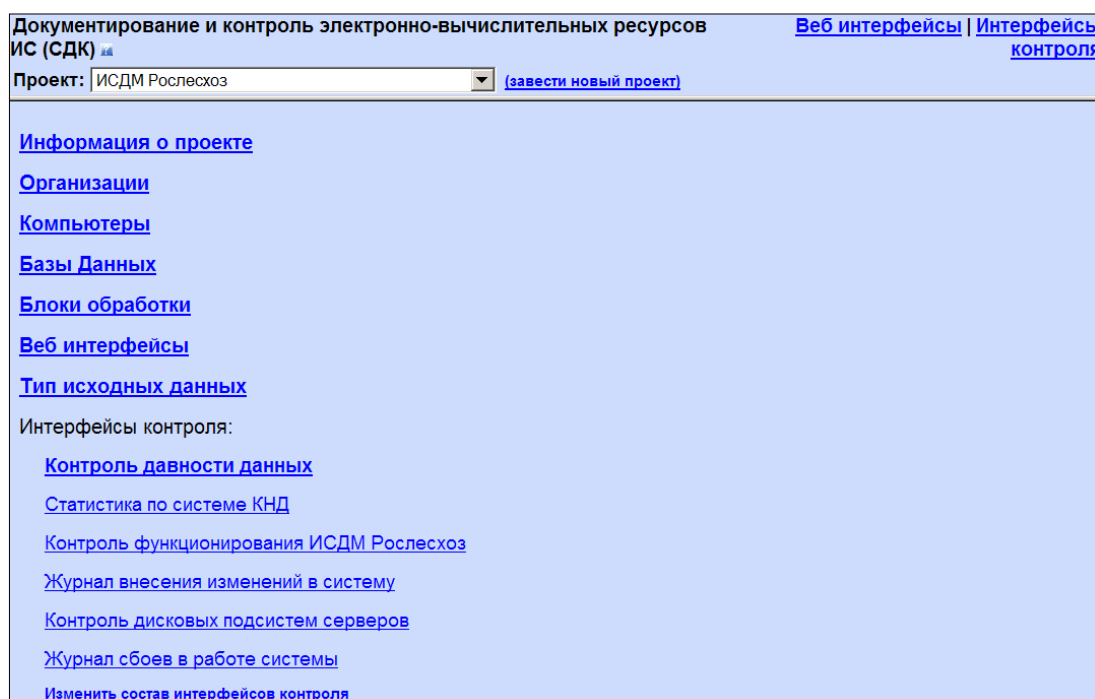


Рис. 4.1.4.1 Интерфейс СДК.

В каждом блоке осуществляется добавление, просмотр, редактирование уже введенной информации. Структура понятий выстроена иерархически. Например, для добавления описания базы данных необходимо наличие описания сервера, на котором расположена база данных. Общую схему построения СДК смотрите на рисунке 4.1.4.2. Приведенная схема построения СДК позволяет интегрировать различный инструментарий по контролю и управлению в единый интерфейс. СДК позволяет документировать основные компоненты системы дистанционного мониторинга. На базе документации разрозненных компонент системы дистанционного мониторинга осуществляется интеграция и контроль ее отдельных компонент и всей системы в целом.

На текущий момент Система документирования и контроля успешно эксплуатируется нами для документирования и управления действующих распределенных систем дистанционного мониторинга. Хотя описанное в настоящей статье программное обеспечение разработано под конкретную архитектуру построения распределенных систем дистанционного мониторинга, оно может представлять интерес и для других информационных систем такого класса.

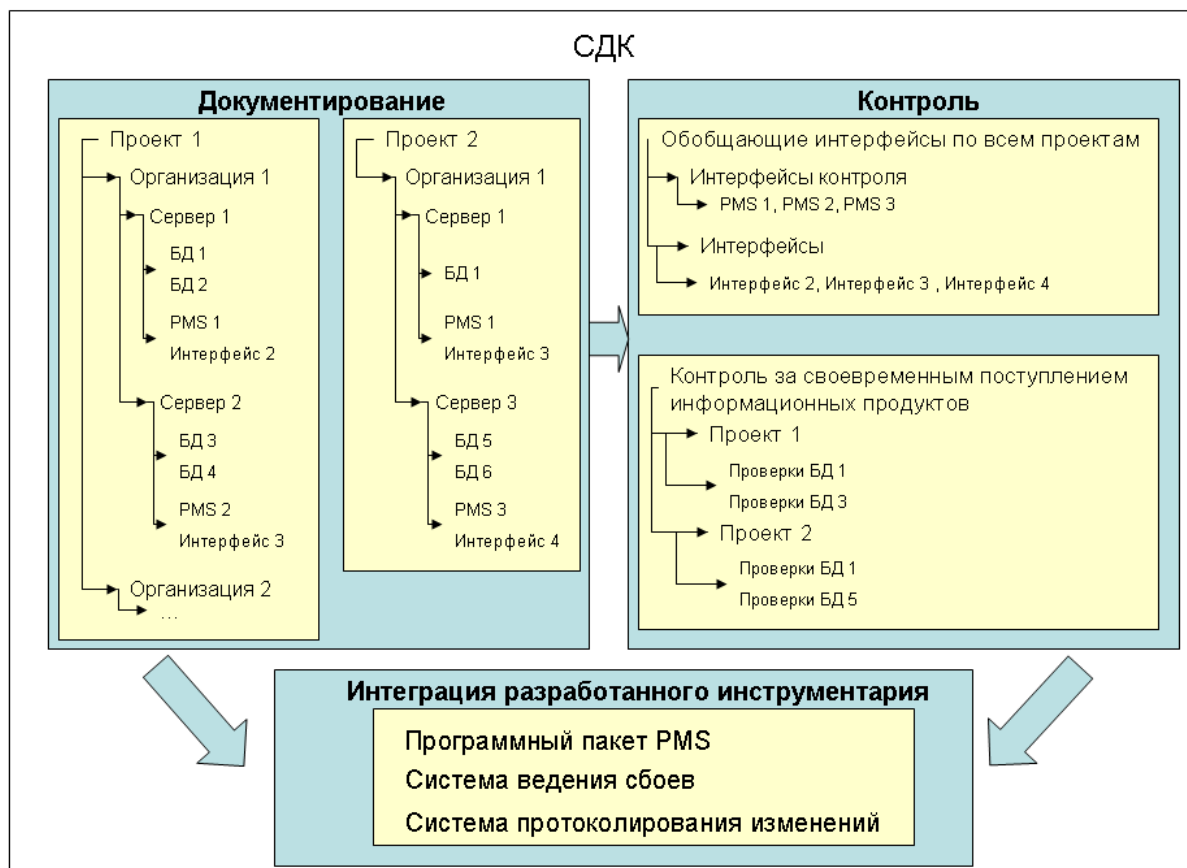


Рисунок 4.1.4.2. Схема СДК

4.1.5 Развитие информационной системы Terra-Norte для работы с данными дистанционного мониторинга и результатами их обработки для решения задач исследования экосистем на территории Северной Евразии.

Отв. исп. Уваров И.А., Толпин В.А..отд.56

Развитие систем технологий удаленной работы с данными позволило в последние годы начать создание принципиально новых интерфейсов которые обеспечивают возможность работы со спутниковыми данными и результатами их обработки. Стало возможным создание не только интерфейсов, обеспечивающих возможности представление (просмотра данных), но и проведение их анализа.

Поэтому в ИКИ РАН на основе информационной системы Terra-Norte различных архивов спутниковых данных и результатов их обработки в 2011 году был создан новый спутниковый сервис ВЕГА, основная задача которого является предоставления специалистам, ведущим работу в области исследования и мониторинга различных растительных экосистем, удобных инструментов, позволяющих проводить анализ спутниковых данных.

Следует отметить, что бурное развитие в последние десятилетия дистанционных, в первую очередь спутниковых, методов наблюдений открыло новые возможности для организации оперативного и объективного мониторинга растительности. В настоящее время работает достаточно большое количество спутников, на борту которых установлена разнообразная аппаратура, которая достаточно эффективно может использоваться для мониторинга сельскохозяйственных земель и состояния посевов. Используя возможности существующих систем уже сегодня возможно построение дистанционных систем мониторинга, которые позволяют обеспечить объективную оперативную оценку состояния

растительности как на уровне страны или крупных регионов, так и на уровне отдельных участков (объектов).

При этом в настоящее время имеются спутниковые системы обеспечивающие:

1. Достаточное пространственное разрешение для проведения анализа посевов на уровне отдельных полей;
2. Оценку на основе многоспектральных наблюдений различных вегетационных индексов, характеризующих состояние растительности;
3. Проведение достаточно частых наблюдений (раз в день или раз в несколько дней), необходимых для контроля динамики развития растений и их реакции на воздействие неблагоприятных факторов.
4. Достаточные длинные ряды наблюдений, необходимые, например, для выявления различных аномалий в развитии растительности на основе сравнения данных различных вегетационных сезонов.

Анализ доступных в настоящий момент спутниковых данных показывает, что для организации оперативного мониторинга растительности в наибольшей степени подходит информация, поступающая от приборов MODIS установленных на спутниках TERRA и AQUA. MODIS позволяет получать информацию в нескольких спектральных каналах, на основе которых можно рассчитывать вегетационные индексы; пространственное разрешение данных (250 м) позволяет получать информацию о состоянии растительности на уровне отдельных полей практически во всех основных сельскохозяйственных регионах России; данные MODIS могут быть получены ежедневно и доступны в настоящее время за последние 10 лет и распространяются свободно почти в режиме близком к режиму реального времени. В сочетании со свободно распространяемыми данными со спутников серии LANDSAT, а также данными различных коммерческих спутниковых систем (например, RapidEye) данные MODIS могут служить хорошей основой для мониторинга растительности на всей территории Северной Евразии.

Особое значение при построении систем дистанционного мониторинга приобретает возможность организации полностью автоматизированной обработки спутниковых данных. Она позволяет получать однородную, максимально объективную информацию, независимую от субъективного мнения отдельных специалистов, позволяет минимизировать расходы на эксплуатацию систем мониторинга, а также облегчает их практическое использование пользователями. Такие технологии последние годы активно создаются и развиваются в ИКИ РАН. Они, в частности, позволили создать и постоянно актуализировать архив спутниковых наблюдений на территорию России за период с 2000 по настоящее время.

Следует отметить, что сегодня в мире действует большое число систем спутниковых систем ДЗЗ (на начало 2011 года на орбите находилось более 100 аппаратов ДЗЗ), но лишь немногие из них обеспечивают постоянное, бесперебойное наблюдение и предоставление хорошо калиброванной устойчивой информации. Кроме того, при организации постоянного мониторинга необходимо получение достаточно большого количества данных, поэтому нужно учитывать стоимость данных и пытаться максимально ориентироваться на данные, которые либо распространяются бесплатно, либо имеют низкую стоимость. Системами, которые в настоящее время полностью удовлетворяют данным условиям, безусловно являются MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) и LANDSAT (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>). Информация, полученная этими системами, позволяет обеспечивать частые наблюдения больших территорий. При этом данные MODIS хотя и имеют достаточно низкое пространственное разрешение (250 м) ежедневно обновляются по всей территории России, а статистика получения данных LANDSAT (разрешение 28 м) показывает, что за вегетационный сезон, практически по любой территории

сельскохозяйственных регионов России удастся получить не менее 3-4 безоблачных снимка. Комбинирование анализа таких данных позволяет нам с одной стороны иметь фактически непрерывный ряд наблюдений за состоянием растительного покрова, который необходим для интегральных оценок состояния растительности как в различных регионах, так и на отдельных полях, а с другой стороны эпизодическую детальную информацию, которая обеспечивает возможность выделения границ отдельных полей и структуры растительного покрова на них.

В настоящее время для работы с информацией, полученной на основе систем MODIS и LANDSAT, в ИКИ РАН разработан специализированный спутниковый сервис «ВЕГА» (VEGetation Analysis – Анализ вегетации). Сервис обеспечивает возможность работы с архивами данных, накопленных за период с 2000 года по настоящее время. При этом организовано автоматическое пополнение информации, что обеспечивает возможность пользователям сервиса получать как архивные, так и оперативные данные.

Сервис обеспечивает возможность работы со следующей информацией:

- очищенные безоблачные композитные изображения вегетационных индексов
- различная картографическая информация о состоянии растительности;
- осредненные в разрезе административных районов с учетом масок различных типов растительности вегетационные индексы;
- данные о «нормальном» ходе вегетационных индексов для различных типов растительности, полученные на основе анализа данных многолетних наблюдений;
- информация об отклонении хода вегетационных индексов от «нормы»;
- цветосинтезированные изображения LANDSAT.

Информацию о временном поведении вегетационных индексов и их отклонениях от среднего можно получить как в отдельных точках, так и осредненную по субъектам, административным районам или отдельным полям (произвольно заданным контурам). Особое внимание в сервисе ВЕГА уделяется именно возможности анализа временных серий вегетационных индексов (ВИ).

Доступ к спутниковому сервису ВЕГА организован через специализированный сайт <http://vega.smislab.ru/>.

В настоящее время сервис позволяет анализировать как состояние посевов сельскохозяйственных культур, так и естественную растительность. Анализ может быть осуществлен как для отдельной точки, так и для любого заданного пользователем полигона. Информация может быть также представлена в обобщенном виде, на уровне административных районов для любого региона России. Информация о состоянии растительности на сайте обновляется еженедельно.

Сервис ориентирован в основном на специалистов, работающих в области сельского и лесного хозяйства. Его задача - обеспечение возможности контроля текущего состояния растительности на интересующем специалиста объекте (с/х полях, участках пастбищ, сенокосов, лесных рубках, лесных кварталах и т.п.). При этом пользователи сервиса сами могут задать (очертить) объект и производить анализ имеющихся для него данных.

Пользователю предоставляется доступ к WEB-интерфейсу, который позволяет выбрать информацию по интересующему его полю (полигону), административному району или региону в целом. Пользователь имеет возможность найти интересующий его объект на данных LANDSAT, оконтурить его и занести в базу данных. При этом будут рассчитаны и также помещены в БД осредненные по полю временные серии ВИ.

Для выбранных полей пользователь может получить следующую информацию:

- Временной ход вегетационного индекса NDVI (показатель состояния посевов) в пределах выбранных объектов в течение вегетационного периода за 2000 – 2011 года.

- Информацию о развитии растительности в конкретной точке в различные годы (рис.4.1.5.1).
- Временной ход различных метеопараметров

Пользователь может также получить перечисленные виды информации, осредненные по региону в целом или по административным районам, или же по отдельному объекту. Можно также получить информацию, осредненную по землям, занятым различными типами растительности.

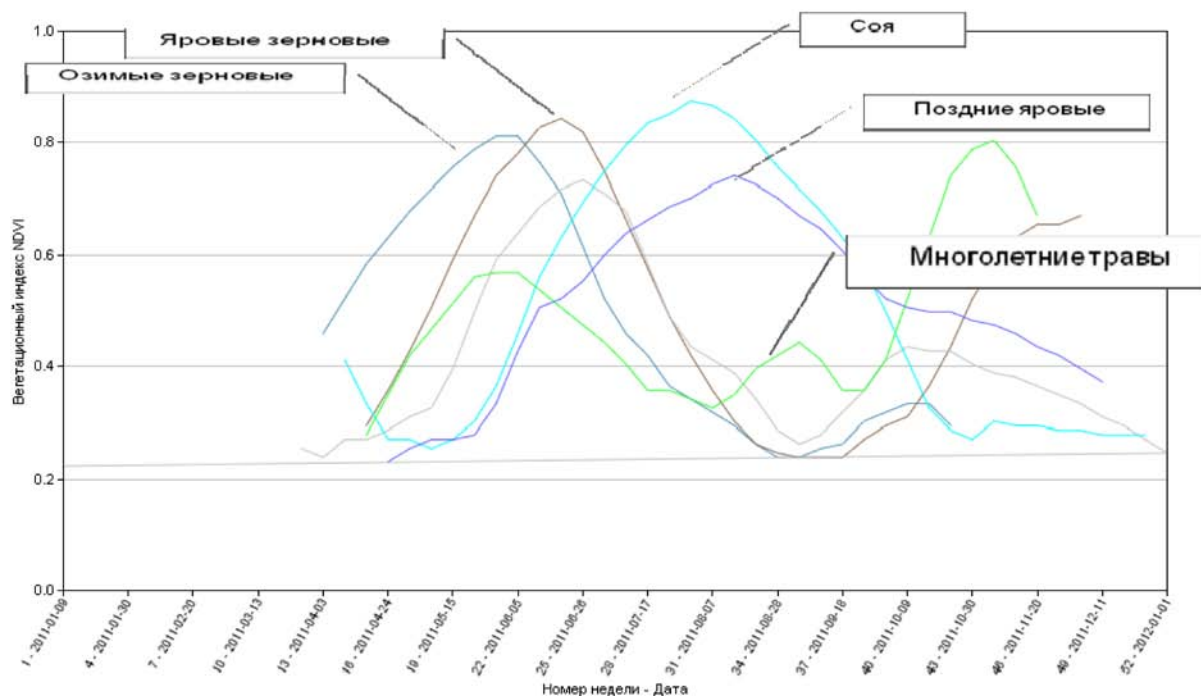


Рис.4.1.5.1. Пример кривых для различных типов возделываемых культур в разные годы на одном поле

Специализированные Web-интерфейсы, в частности, позволяют:

- Проводить сравнение различных перечисленных текущих параметров с данными предыдущих сезонов (на выбор пользователя) или со средними многолетними значениями.
- Проводить сравнение состояния растительности в пространстве (например, на соседних полях или участках леса).
- Анализировать информацию в графическом виде или в виде картограмм.
- Оперативно получать «тревожные сигналы» с указанием территорий, на которых актуальное значение указанных выше параметров существенно отклоняется от среднегодовых (в том числе с учетом сдвига сезона вегетации)

Сервис может быть использован для решения, например, следующих задач связанных с мониторингом сельскохозяйственных земель:

- построения кривых «нормального» развития основных культур в регионе, что позволит распознавать не только озимые и яровые группы культур, но и все основные культуры по отдельности;

- построение прогнозных оценок урожайности на уровне отдельных полей (при наличии у пользователей статистической информации об их урожайности за последние 10 лет);
- Оценка эффективной продуктивности отдельных полей
- Оценка степени неоднородности почвенного покрова
- Оценку состояния лесов и степени повреждения лесов
- Оценку динамики лесов
- Оценку хода лесовосстановления на гарях и рубках.

Особо следует отметить, что сервис «ВЕГА» может быть полезен не только с чисто научной точки зрения, но и для решения различных прикладных задач, для которых необходимо получение объективной, независимой информации о состоянии посевов в различных регионах и на отдельных полях. Так, например, он может использоваться различными ведомствами и организациями, заинтересованными в контроле состояния сельскохозяйственных земель и посевов. В том числе: Министерством сельского хозяйства, региональными органами, осуществляющими контроль и регулирование сельскохозяйственного производства, землепользователями и землевладельцами, страховыми компаниями, банками

В настоящее время сервис Вега начал использоваться в различных научных проектах и программах, выполняемых в ИКИ РАН. Ведется также активная разработка функциональности сервиса и расширения возможностей анализа предоставляемых им данных.

4.1.6 Разработка методов и технологий дистанционного мониторинга морских биоресурсов .

Отв. исп. к.ф.-м.н. Пырков В.Н. отд.56

В рамках данного направления в 2011 году проводились работы по совершенствованию технологий дистанционного мониторинга морских биоресурсов. В основном эти работы были направлены на совершенствование технологий анализа информации, поступающей в отраслевую систему мониторинга Федерального агентства по рыболовству (позиций судов, информации о деятельности и т.д.) (ОСМ Росрыболовства). При этом анализировались различные возможные варианты организации мониторинга позиций судов.

В 2011 году разрабатывались также новые методы визуализации информации, поступающей в систему мониторинга. При этом особое внимание было уделено методикам анализа промысловой информации (в первую очередь информации о выловах), необходимой как для контроля промысла так и для оценок состояния морских биоресурсов. В частности, была разработана специальная технология, позволяющая на основе отчетов судов и информации о их позиционировании получать карты выловов за различные периоды времени. Пример таких карт приведен на рис. 4.1.6.1

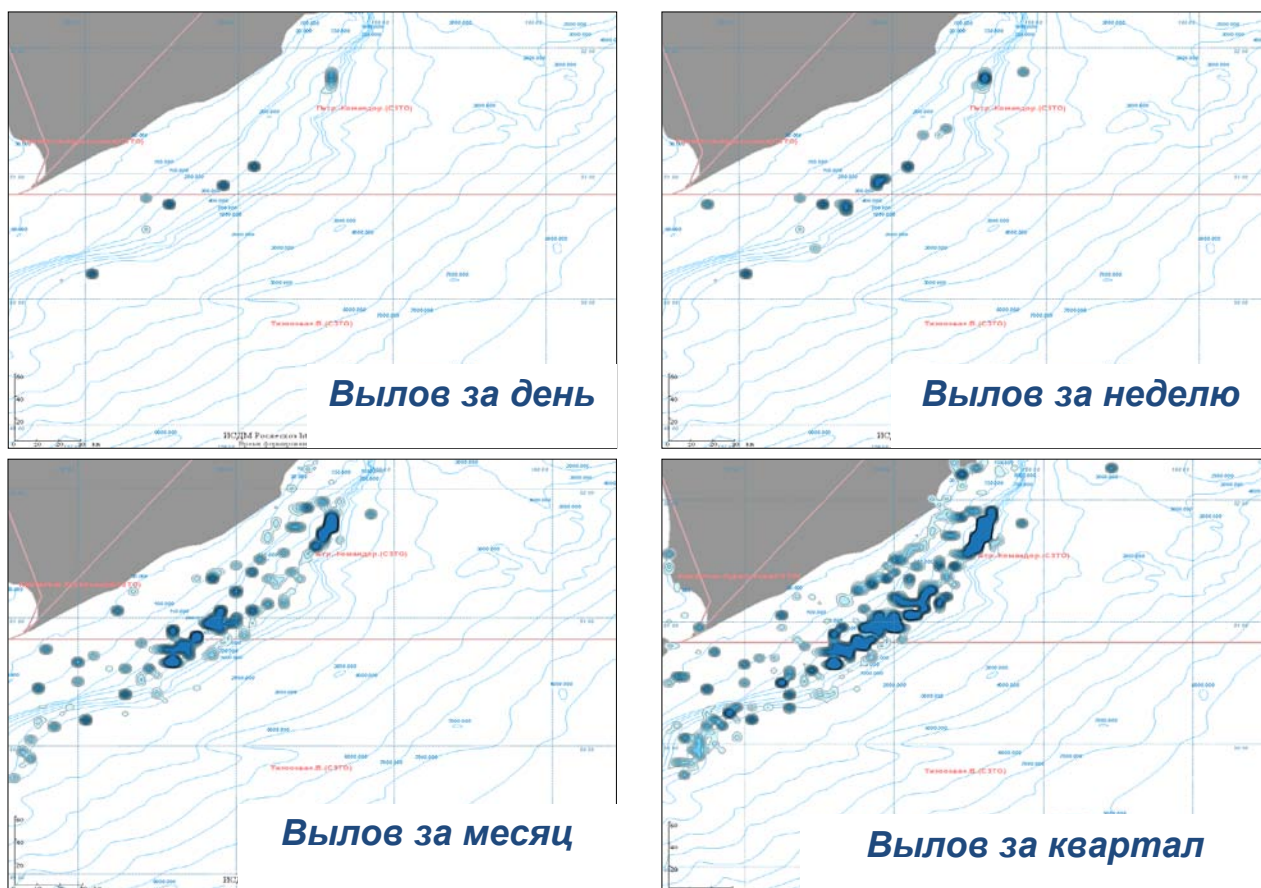


Рис. 4.1.6.1 Примеры карт выловов у Восточного побережья Камчатки.

На основе разработанных методов построения и визуализации карт выловов был создан специализированный блок, позволяющий работать с данной информацией в картографическом интерфейсе ОСМ Росрыболовства

4.1.7. Ведение и поддержка архивов спутниковых данных и результатов их обработки для научных исследований глобальных изменений, контроля и анализа состояния природных и антропогенных объектов.

Отв. исп. к.ф.м.н. Мазуров А.А. отд.56

По данному направлению в 2011 году были выполнены следующие основные работы:

- В результате планового процесса модернизации инфраструктуры были увеличены объемы дисковых подсистем для ведения долговременных архивов проектов, выполняемых в ИКИ РАН, для расширения возможностей работы со спутниковыми данными и результатами их обработки. В настоящее время серверная группа обеспечивает возможность предоставления в непосредственном доступе более 200 ТБ данных. Значительно расширены возможности системы автоматической обработки данных. В группу автоматической обработки, архивации и представления данных теперь входят около 40 рабочих станций и более 40 серверов, также участвующих в процессе обработки путем программного разделения аппаратных ресурсов с использованием технологий виртуализации. В 2011 году было проведено плановое обновление существующей серверной системы

с целью расширения ее функциональных возможностей (два сервера хранения суммарной полезной емкостью отказоустойчивого дискового пространства порядка 110 ТБ, шесть универсальных двухпроцессорных серверов, два двухпроцессорных сервера баз данных на высокоскоростных SAS2 накопителях), которое позволило существенно увеличить возможности комплекса хранения, обработки и представления данных, используемого для решения задач дистанционного мониторинга. В гермозоне ИКИ РАН был выделен телекоммуникационный шкаф для установки дополнительного пула серверов (рис. 4.1.7.1).

- Продолжалось накопление архивов данных, поступающих со спутников серии NOAA по европейской территории России и Западной Сибири (http://smisdata.iki.rssi.ru/noaa-cgi/cat_reg.pl?db=noaa&lang=russian);
- Осуществлялось ведение архивов данных прибора MODIS (спутники TERRA и AQUA) по различным регионам России (http://smis.iki.rssi.ru/dataserv/rus_ms/modis_tlm.htm);
- Продолжалось накопление информации о состоянии облачности, температуры морской поверхности и ледовой обстановки в районах Баренцева, Белого, Балтийского, Черного, Каспийского, Японского, Охотского и Берингова морей, полученной по данным приборов AVHRR и MODIS (http://x4n9.iki.rssi.ru/noaa-cgi/cat_all_prod.pl?db=center_noaa_products);
- Продолжилось ведение многолетнего архива спутниковых данных, получаемых прибором SPOT-Vegetation на всю территорию бореального пояса Земли (включая Северную Евразию и Северную Америку), в виде стандартных продуктов данных S10, представляющих собой синтез наблюдений, выбранных за десятидневный период по критерию максимума NDVI;
- Совместно с ФГУ «Авиалесоохрана», ИСЗФ СО РАН, ЦЭПЛ РАН и различными центрами приема и обработки спутниковых данных накоплен архив информационных продуктов спутникового мониторинга лесных пожаров на территории России в 2011 году;
- В рамках проектов по эксплуатации и развитию системы мониторинга лесных пожаров совместно с ООО НТЦ «Инфокомплекс» осуществлялось ведение архива данных системы грозопеленгации, покрывающей практически всю территорию России.
- Был сформирован однородный архив данных о пожарах и площадях, пройденных огнем за период с 2000 по 2011 на территории Северной Евразии.
- Продолжалось формирование архива данных спутников LANDSAT 5 и LANDSAT 7 по территории Северной Евразии. На середину декабря 2011 года архив содержал более 120 000 сцен.
- Продолжено ведение и развитие архивов метеоданных по территории России (<http://meteo.infospace.ru/wcarch/html/index.sht>);
- Для анализа состояния растительности на территории Северной Евразии продолжено накопление архивов продуктов обработки данных MODIS. В 2011 году в архив были дополнены очищенные от облаков и шумов композитные спутниковые изображения.

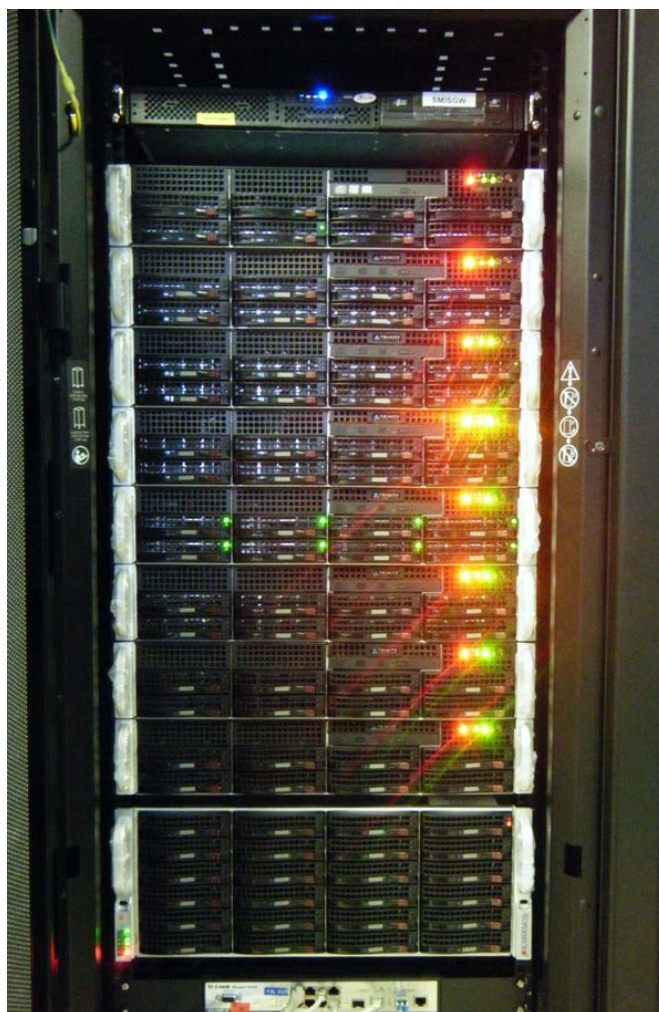


Рис. 4.1.7.1 Дополнительный пул серверов хранения данных, установленный в 2011 году

- Был запущен спутниковый сервис «Вега», который обеспечил возможность работы с различными архивами, накопленными в ИКИ РАН (в том числе с архивами данных MODIS, архивами различных вегетационных индексов, архивами спутниковых наблюдений за пожарами, данными LANDSAT, метеоинформацией и т.д.) (см. раздел 4.1.5). Сервис стал приемником информационной системы TerraNorte.
- В рамках различных проектов осуществлялась поддержка систем сбора, обработки, архивации и представления данных в следующих центрах приема: ГУ НИЦ «Планета» (г. Москва), ЗапСибРЦПОД (г. Новосибирск), ДВРЦПОД (г. Хабаровск), СФУ (г. Красноярск), ФГУ «Авиалесоохрана» (г. Пушкино, г. Иркутск), ФГУП КЦСМ (г. Петропавловск-Камчатский), НЦ ОМЗ (г. Москва), ЮНИИТ (г. Ханты-Мансийск);

РАЗДЕЛ 4.2. МОНИТОРИНГ-БИОСФЕРА

Отв. исп. д.т.н. Барталев С.А.

4.2.1. Разработка автоматических методов предварительной обработки спутниковых данных среднего и высокого пространственного разрешения с целью фильтрации эффектов влияния мешающих факторов и формирования однородных временных серий данных наблюдений

Для исключения зашумленных и заполнения пропущенных значений во временных сериях дистанционных измерений вегетационных индексов в Отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН разработан алгоритм их оконной аппроксимации. Алгоритм предусматривает аппроксимацию временных рядов данных дистанционных измерений на основе полинома второй степени вида $f(t) = at^2 + bt + c$ с использованием скользящего вдоль оси времени окна, включающего фиксированное количество ненулевых измерений для вычисления коэффициентов полинома. Поиск значений коэффициентов основан на методе наименьших квадратов, подразумевающим минимизацию отклонения значений от аппроксимирующей их кривой. Задача минимизации решается методом деформируемого многогранника (методом Нелдера-Мида), который не использует значения градиентов функции и пригоден для негладких функций, выгодно отличаясь быстродействием и надежностью. Полином второй степени является наиболее подходящим для локальной аппроксимации фенологической динамики растительности, являясь относительно простым и одновременно позволяющим корректно описывать фенологические экстремумы. Вычисление коэффициентов полинома происходит в пределах интервала, занимаемого фиксированным числом валидных измерений, и при этом полином не экстраполируется за пределы окна локализации. Пример скользящей оконной аппроксимации временного ряда значений вегетационного индекса PVI полиномами второй степени с размером окна равным пяти показан на рис.4.2.1.1.

Из рисунка видно, что выбросные значения заметно отличаются от соответствующих значений аппроксимирующей функции, несмотря на то, что они также используются при её построении. Некоторое увеличение размеров окна локализации в случае высокой частоты измерений может приводить к более правильному виду аппроксимирующей кривой и давать больше возможностей для выявления выбросных значений, однако динамика развития растительности на длинных временных интервалах существенно хуже приближается квадратичными функциями. Таким образом, возникает задача поиска оптимального размера окна локализации с учетом особенностей развития растительности в течение вегетационного периода. Поскольку в ряде задач по распознаванию растительности на основе сезонных рядов спутниковых данных используются четырёхдневные интервалы между измерениями с допуском одного потенциально зашумленного значения, а также с учетом скорости роста биомассы, было выбран размер окна локализации в 5 точек, как наиболее оптимальный.

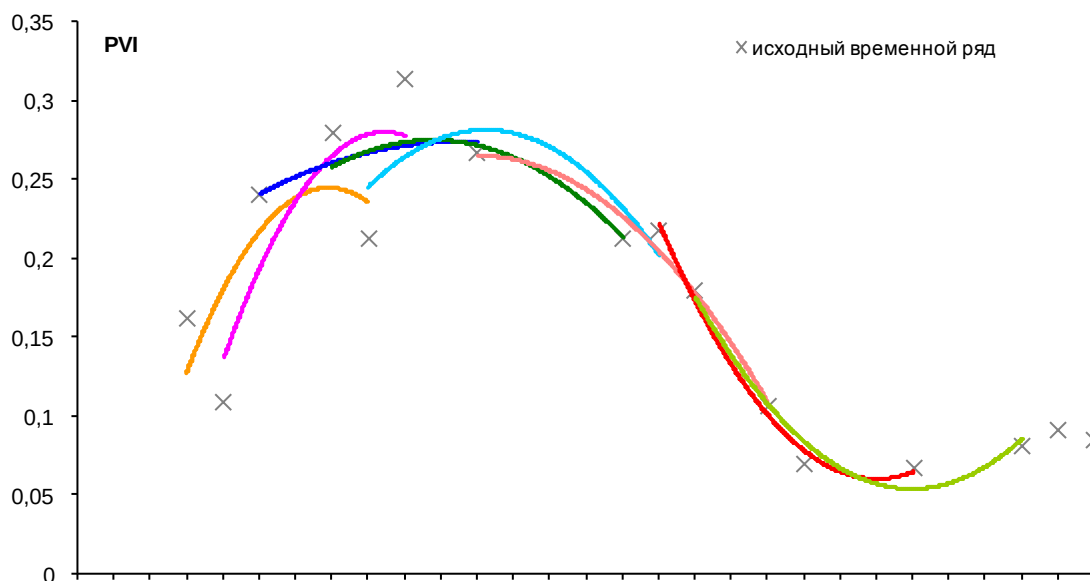


Рис.4.2.1.1. Пример 5-точечной оконной аппроксимации полиномами второй степени. Цветами показаны результаты аппроксимации при различных положениях скользящего окна.

Принцип работы алгоритма заключается в получении оценки для каждого измерения временного ряда, на основе которой можно принять решение о валидности данного измерения. После вычисления коэффициентов локального полинома становится возможным вычислить соответствующую ему оценку для всех элементов временной серии. Поскольку используется ширина окна в пять значащих точек, каждый элемент временной серии, кроме краевых, получает пять различных оценок, которые можно представить в виде матрицы M , в которой строки соответствуют оценкам различных элементов временного ряда, а столбцы соответствуют различным оценкам одного и того же элемента:

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix},$$

Алгоритм опционально предусматривает поэтапную обработку временной серии, что позволяет увеличивать количество проходов вдоль временной серии для улучшения результатов и учёта краевых эффектов. Для этих целей в качестве дополнительной входной информации используется значение параметра количества проходов и параметра обработки краевых эффектов. Дальнейшую работу алгоритма можно представить в виде следующих шагов.

После получения пяти различных оценок для текущего элемента временного ряда, вычисляется среднее значение $\bar{x}_t$ и дисперсия полученных оценок σ_t . Если количество

проходов установлено равным единице, значение любого текущего элемента временной серии с индексом t принимается равным среднему: $x_t = \bar{x}_t$. Если количество проходов устанавливается большим единицы, то принятие решения о значении текущего элемента можно разделить на два этапа. На первом этапе фактическое значение элемента временного ряда X_t сравнивается с расчетным средним значением $\bar{x}_t$ с учетом величины σ_t и принимается одно из трёх решений: оставить текущее значение элемента неизменным, исключить данный элемент как искаженное измерение или заменить значение данного элемента на расчетное. На втором этапе производится оконная полиномиальная аппроксимация по измененной временной серии, более не содержащей исключенных на первом этапе значений. Описанные этапы повторяются парами в соответствии со значением параметра количества проходов. Независимые критерии исключения (т.е. обнуления) текущего элемента временной серии следующие:

$$1. |X_t - \bar{x}_t| > 2\sigma_t \text{ и } \frac{\sigma_t}{\bar{x}_t} > 0.05$$

$$2. \frac{\sigma_t}{\bar{x}_t} > 1$$

При этом, если $|X_t - \bar{x}_t| > 2\sigma_t$ и $\frac{\sigma_t}{\bar{x}_t} < 0.05$, то значение текущего элемента

заменяется расчетным средним: $x_t = \bar{x}_t$. Если не выполняется ни одно из этих условий, значение элемента не меняется. Пропущенные значения исходной временной серии также заменяются расчетным средним на основе оценок окружающих локальных полиномов: $x_t = \bar{x}_t$.

Опциональным является включение параметра обработки краевых эффектов. При включенном параметре несколько первых элементов временной серии получают дополнительные оценки в матрице M на основе полинома, рассчитанного по значениям следующих за ними элементов, что позволяет сформировать достаточную статистику для принятия решения.

Пример полиномиального сглаживания и заполнения пропусков в случае с размером окна локализации равным 5 точкам, количеством проходов равным 3, с использованием временной серии четырехдневных композитных изображений, приведен на рис.4.2.1.2.

Разработанный алгоритм выгодно отличается от других разработок, использующих скользящие окна и аппроксимацию полиномами разных порядков тем, что он решает задачи интерполяции пропущенных значений, поиска и исключения измерений, сделанных под влиянием мешающих факторов и сглаживания временных серии одновременно. Другие распространенные алгоритмы, в частности, алгоритм полиномиального сглаживания Голая-Савицкого, а также статистические алгоритмы скользящих окон предполагают работу с сериями данных, для которых задача заполнения пропущенных значений уже решена или не стояла.

Другим положительным аспектом использования разработанного алгоритма является повышение чёткости и уменьшение пространственной зашумленности обработанных изображений (см. рис.4.2.1.3). Этот эффект объясняется тем, что в процессе сглаживания временной серии из неё исключаются измерения, сделанные под влиянием остаточной облачности и теней, приводящие к зашумлению композитных изображений, заменяясь на более корректные значения.

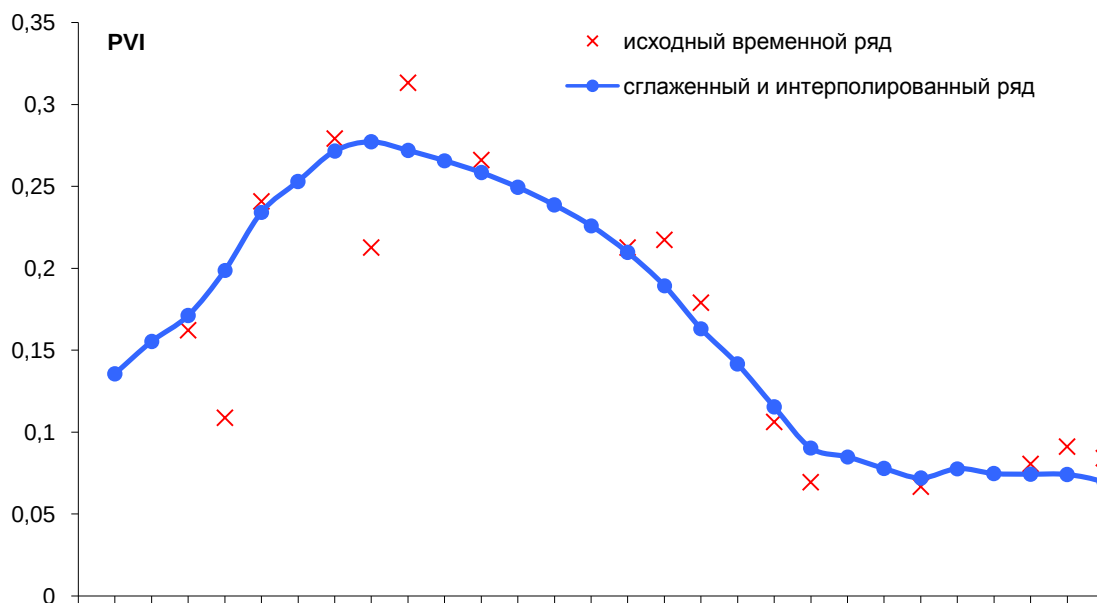


Рис. 4.2.1.2. Результат сглаживания и заполнения пропущенных значений отрезка временного ряда с помощью алгоритма оконной полиномиальной аппроксимации

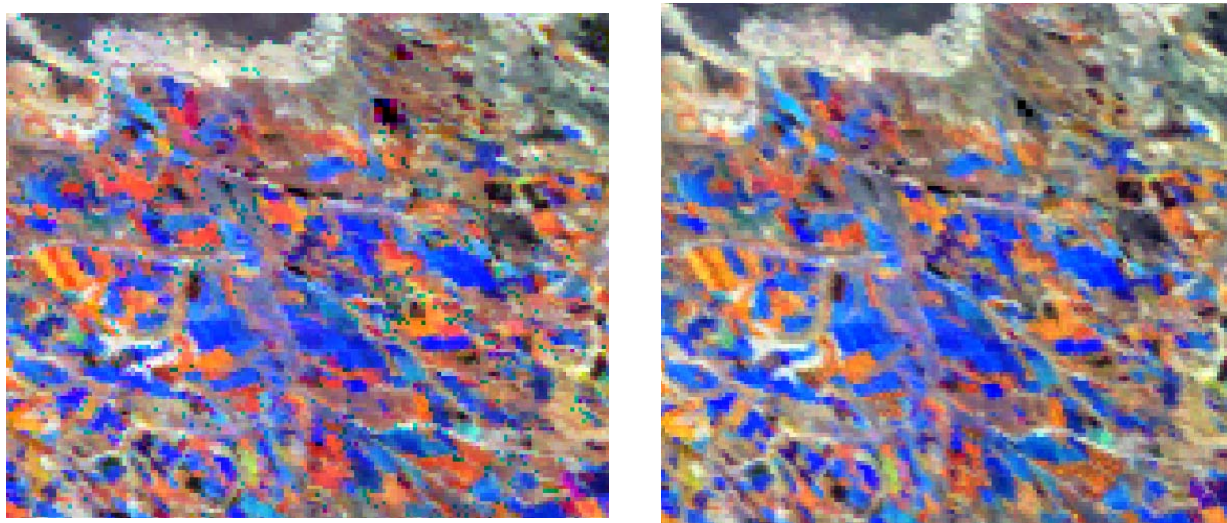


Рис.4.2.1.3. Снижение зашумленности спутниковых изображений в результате сглаживания с помощью алгоритма оконной полиномиальной аппроксимации, слева – до сглаживания, справа – после сглаживания

В настоящее время достаточно актуальной является задача разработки методов автоматической обработки спутниковых изображений высокого пространственного разрешения, в том числе направленных на фильтрацию мешающих факторов, таких как облака и тени. К числу наиболее широко используемых спутниковых данных такого рода относятся изображения, получаемые со спутников Landsat-TM/ETM+, с пространственным разрешением около 30 м. Разработанный в отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН метод позволяет автоматически детектировать участки облаков и теней на изображениях Landsat-TM/ETM+.

Метод предусматривает использование предварительно калиброванных данных, выраженных в значениях спектрального коэффициента отражения и радиационной

температуры. При этом используются данные измерений в пяти спектральных каналах, включая TM2 (0.60 мкм), TM3 (0.65 мкм), TM4 (0.80 мкм), TM6 (1.65 мкм) и T (11.5 мкм).

Ядром метода детектирования облаков является модернизированный алгоритм АССА (Automated Cloud Cover Assessment), включающий два этапа. На первом этапе создаётся маска облачности, в которой всем пикселям присваивается флаг облаков и на основе анализа значений каждого пикселя в каналах меняется флаг на “безоблачный” или “сомнительный”. Пиксели, у которых на первом этапе флаг не изменился, относятся к облачным. Для детектирования облаков на первом этапе проводится сравнение коэффициента отражения в канале TM3 и яркостной температуры T с пороговыми значениями. На втором этапе анализируется распределение температуры облачных пикселей и вычисляются средняя яркостная температура T и среднеквадратичное отклонение σ этого распределения. Все “сомнительные” пиксели, у которых температура выше $T + \sigma$, получают флаг “безоблачные”. Оставшиеся “сомнительные” пиксели получают флаг облаков. На рисунке 4.2.1.4 приведен пример детектирования облаков вышеописанным методом.

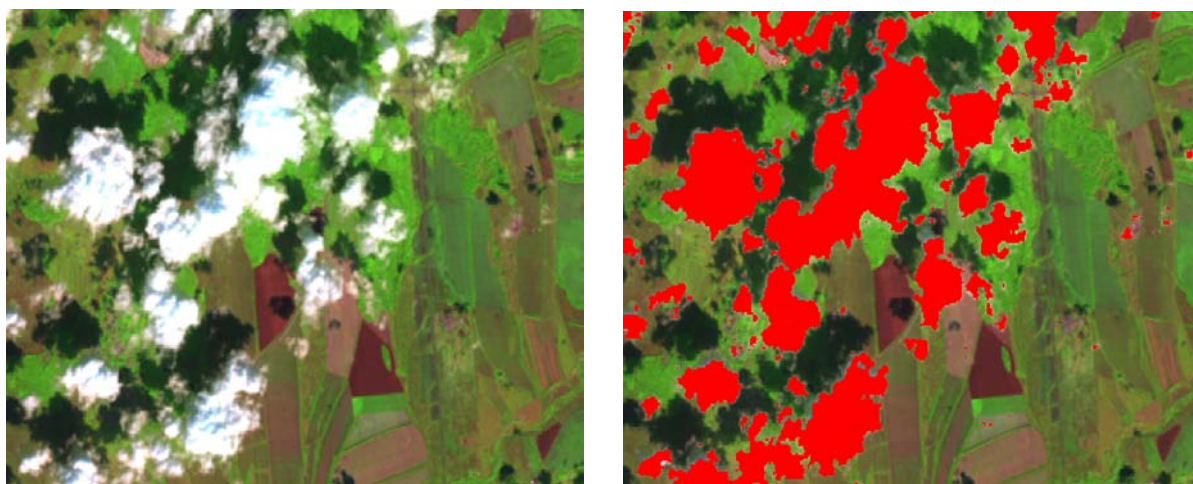


Рис. 4.2.1.4 Фрагмент изображения Landsat-ETM+ с наличием облакаков (слева) и результат их автоматического детектирования (справа)

Метод детектирования теней основан на использовании полученной ранее маски облаков и включает в себя два этапа, правый из которых предусматривает построение консервативной, а второй либеральной масок. Консервативная маска может содержать недовывленные участки теней, в то время, как либеральная маска характеризуется некоторой избыточностью. Целесообразность использования того или иного варианта маски теней определяется исходя из условий решаемой тематической задачи.

На первом этапе из известных зенитного и азимутального углов Солнца определяется направление, в котором находятся тени и строятся области их нахождения из предположения, что высота облаков не превышает 5 км. В построенных областях предполагаемой тени и вне их строятся гистограммы значений яркости в каналах TM4 и TM5. На основе анализа полученных гистограмм определяются пороги в соответствующих каналах. Всем пикселям со значениями коэффициента отражения в каналах TM4 и TM5 ниже соответствующих порогов присваивается флаг тени.

На втором этапе на основе построенной маски теней анализируется распределение значений расстояния теней от облаков с вычислением значений среднего h и среднеквадратичного отклонения σ . Затем пиксели, находящиеся на расстояниях от $h - 2\sigma$ до $h + 2\sigma$ от облачных пикселей в направлении теней, независимо от их яркостных характеристик, получают флаг потенциальной тени. На рисунке 4.2.1.5 показаны примеры создания масок теней после первого и второго этапа обработки соответственно. В первом

варианте тени детектируются как после первого этапа, во втором как после второго этапа, который является более надёжным, но приводит к частичной потере данных.

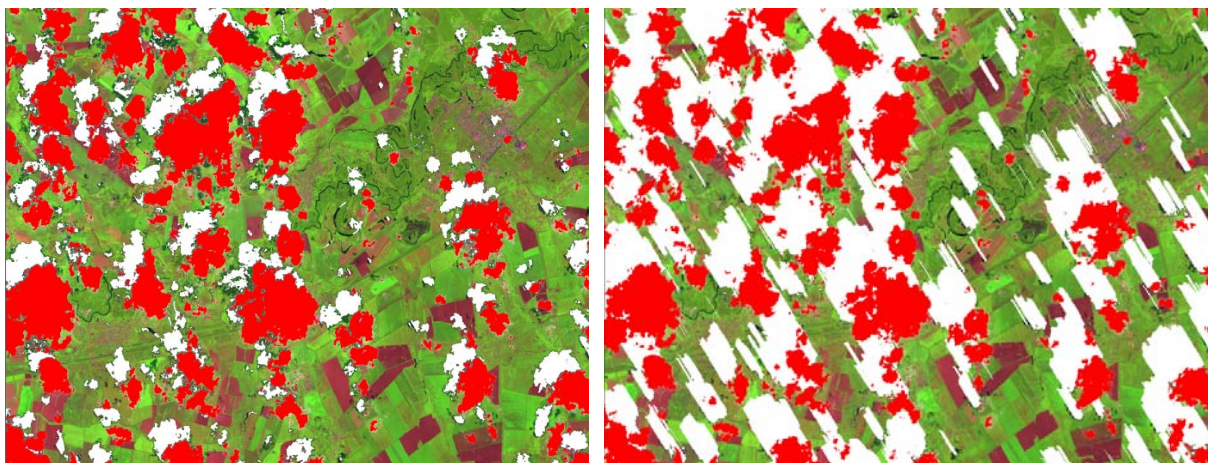


Рис.4.2.1.5. Изображения консервативной (слева) и либеральной (справа) масок теней (белый цвет) от облаков (красный цвет) для фрагмента сцены Landsat-5

4.2.2 Развитие метода и программного комплекса локально-адаптивной классификации спутниковых изображений для решения задач глобального картографирования и мониторинга наземных экосистем

Программный комплекс локально-адаптивной классификации был модифицирован для обеспечения возможности использования данного метода для картографирования видовой структуры растительного покрова России.

Метод основан на анализе особенностей динамики спектрально-отражательных характеристик растительного покрова. Для распознавания отдельных классов растительности используется классификация сезонных временных серий спутниковых изображений методом максимального правдоподобия с обучением. В результате экспериментов, проведенных в 2010-2011 годах, была показана возможность распознавания различных (более 10) видов культурной растительности данным методом с интегральной точностью 87,9-91,2%.

Была также проведена оценка возможностей использования метода для картографирования породного состава лесов на основе данных спутниковых наблюдений MODIS. Для этого был сформирован набор недельных композитных изображений со значениями коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) земной поверхности в красном и ближнем ИК диапазонах спектра, отражающих динамику характеристик растительности в течение вегетационного сезона. Временные ряды значений КСЯ прошли обработку для исключения влияния облачности, шумов и различных геометрических условий наблюдений. Также были построены композитные изображения MODIS за зимний период, информативные с точки зрения картографирования лесной растительности. Полученные таким образом разновременные композитные изображения использовались в качестве признаков для классификации. Обучающая выборка была сформирована на основе карты растительности России TerraNorte RLC и карты лесов СССР с использованием объектно-ориентированного анализа данных MODIS.

Анализ значений трансформированной дивергенции, характеризующей разделимость классов в выбранном пространстве признаков, полученных в результате проведенных экспериментов по использованию предложенного метода распознавания,

показал принципиальную возможность картографирования породного состава как хвойных, так и лиственных лесов данным методом. Пример результатов работы метода в сравнении с картой лесов показан на рис. 4.2.2.1.

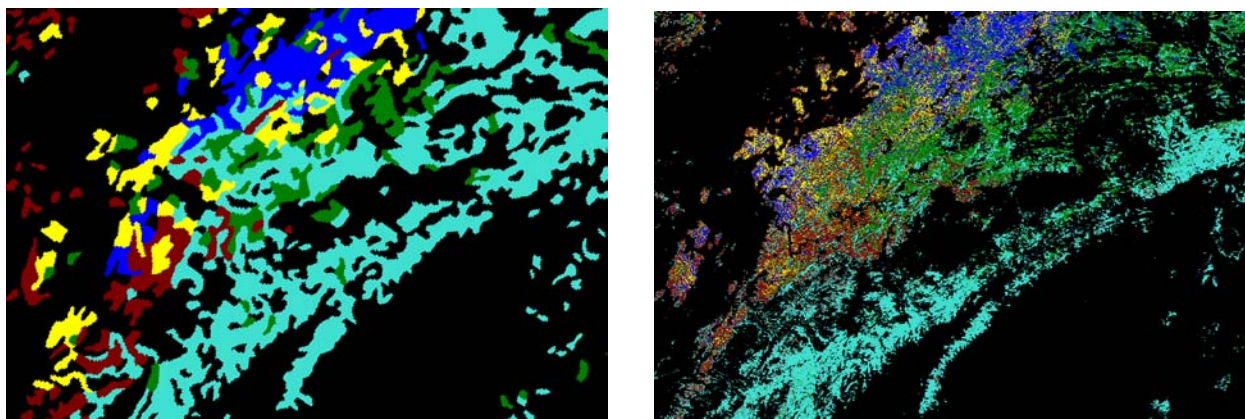


Рис. 4.2.2.1. Сравнение карты лесов и результатов картографирования породного состава лиственных лесов по данным MODIS

Для учета пространственной вариабельности спектрально-отражательных характеристик растительности при работе на больших территориях метод был интегрирован с технологией локально-адаптивной классификации LAGMA. При этом исходная обучающая выборка не являлась достаточно репрезентативной для классификации всей территории России. В связи с этим в программном комплексе LAGMA была реализована возможность сгущения обучающей выборки на основе итеративного подхода.

Модифицированный программный комплекс позволяет выполнять классификацию с получением значений правдоподобия P_i , сравнение которого с заданной пороговой величиной P^T позволяет производить отбор пикселей, наиболее пригодных для включения в обучающую выборку. Классификация выполняется итеративно с циклическим пополнением обучающей выборки. При достижении необходимого числа пикселей в обучающей выборке процесс останавливается.

Данный подход позволит построить репрезентативную пространственно распределенную обучающую выборку и провести эксперименты по картографированию породного состава лесов в масштабе всей территории России.

4.2.3. Разработка автоматизированных методов глобального динамического картографирования наземных экосистем на основе временных серий данных спутниковых наблюдений

Разрабатываемая в настоящее время и планируемая к запуску в 2012 году спутниковая система дистанционного зондирования Proba-V призвана обеспечить преемственность по отношению к активно используемой в настоящее время для мониторинга окружающей среды системе SPOT-Vegetation. При близости ряда ключевых характеристик (таких как спектральные диапазоны и частота наблюдения) вышеуказанных систем ДЗЗ, к ожидаемым преимуществам Proba-V следует отнести возрастающее почти в четыре раза (по сравнению со SPOT-Vegetation) пространственное разрешение, которое должно составить величину около 300 метров. Исследовательский проект, выполняемый в рамках международной научной программы подготовки к запуску системы Proba-V, направлен на оценку влияния

повышения пространственного разрешения данных спутниковых наблюдений на точность картографирования земного покрова, и прежде всего лесов, России.

Для проведения исследований использовались данные наблюдений спутниковыми системами SPOT-Vegetation за период 2001-2010 годов (стандартные продукты S10) и Terra-MODIS (стандартные продукты MOD09) 2010 года. Использование в рамках проекта данных MODIS в качестве прототипа данных перспективной системы Proba-V было обусловлено близостью ряда ключевых характеристик указанных приборов, определяющих потенциальную точность картографирования растительного покрова.

Предварительная обработка обоих наборов спутниковых данных позволила получить весенние, летние, осенние и зимние композитные изображения Северной Евразии, очищенные от влияния мешающих факторов. В методе фильтрации шумов были использованы пороговые алгоритмы выявления снежного покрова и облачности. В процессе обработки ежедневных данных Terra-MODIS также применялся геометрический подход выявления и адаптивный анализ теневых пикселей. При построении композитных изображений была выполнена временная статистическая фильтрация внутри рассматриваемого сезона. Примеры полученных изображений представлены на рисунках 4.2.3.1 и 4.2.3.2.

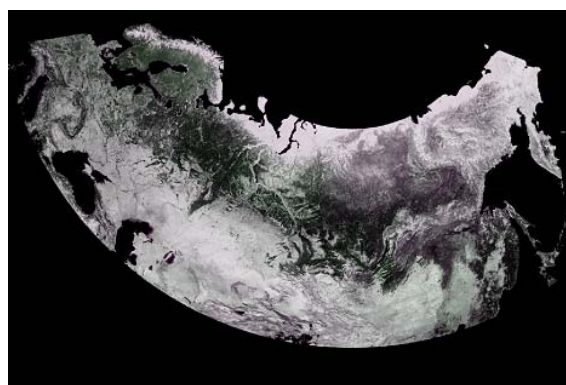
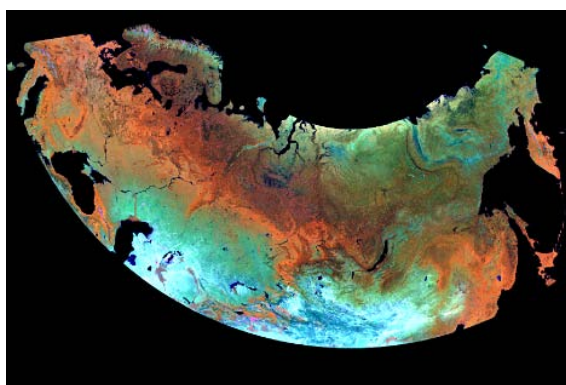


Рис. 4.2.3.1. Сезонные композитные изображения по данным S10 SPOT-Vegetation, за летний и зимний периоды 2001-2010 годов

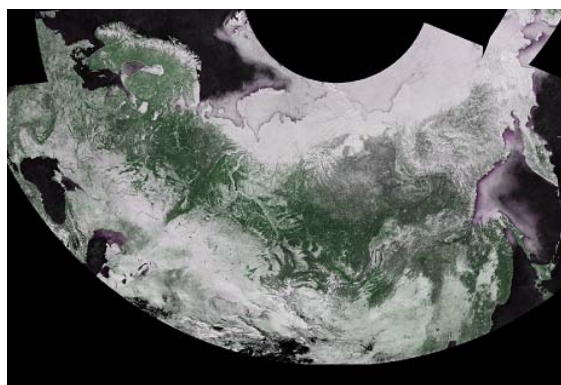
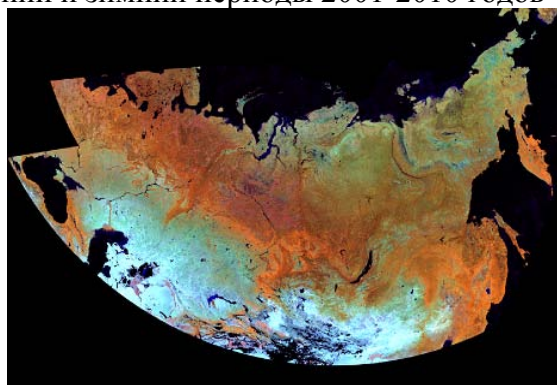


Рис. 4.2.3.2. Сезонные композитные изображения по данным Terra-MODIS, за летний и зимний периоды 2010 года

Значительные различия во временных диапазонах наблюдений выражаются в изменениях вследствие пожаров, вырубок, фенологических вариаций, сельскохозяйственном использовании земель и иных причин. Для устранения влияния изменений на местности было проведено межканальное детектирование аномальных различий данных Terra-MODIS и SPOT-Vegetation.

Использование алгоритма локально адаптивной классификации LAGMA подразумевает использование опорной выборки. Для решения задачи оценки влияния

разрешения на результаты классификации была использована единая опорная выборка, основанная на карте растительности России TerraNorte RLC 2010 года с разрешением 250м, которая содержит 22 тематических класса. Кроме учета многолетних изменений, была проведена фильтрация данных карты с таким условием, чтобы на пиксел SPOT-Vegetation с разрешением 1км приходился только один тематический класс. Использование единой обучающей выборки позволило выполнить распознавание типов лесного покрова для обоих наборов данных. Результаты классификации лесного покрова России представлены на рисунках 4.2.3.3. и 4.2.3.4. При внешнем сходстве тематических продуктов использование данных с разрешением 250м позволяет получить значительно более детальные результаты и осуществить декомпозицию смешанных в пикселе низкого пространственного разрешения классов (рис. 4.2.3.5.).

Сравнительная оценка результатов картографирования лесного покрова по обоим наборам спутниковых данных выполнена с использованием опорного набора данных, полученного на основе 35 изображений Landsat-TM с разрешением 30м. В качестве опорных участков были использованы площадки размером 20х20 км, распределенные по территории России. Внутри выбранных участков была проведена классификация лесного покрова.

Сопоставление полученных тематических продуктов с данными высокого пространственного разрешения выполнялось на основе оптимума Парето с разделением классов на составляющие «лес» - «не лес». По результатам исследований показано (рис. 4.2.3.6.), что общая ошибка классификации составила 17,6% при использовании данных Terra-MODIS с разрешением 250м и 22,2% при использовании данных SPOT-Vegetation с разрешением 1км.



Рис. 4.2.3.3. Карта лесов России по данным SPOT-Vegetation с разрешением 1км



Рис. 4.2.3.4 Карта лесов России по данным Terra-MODIS с разрешением 250м

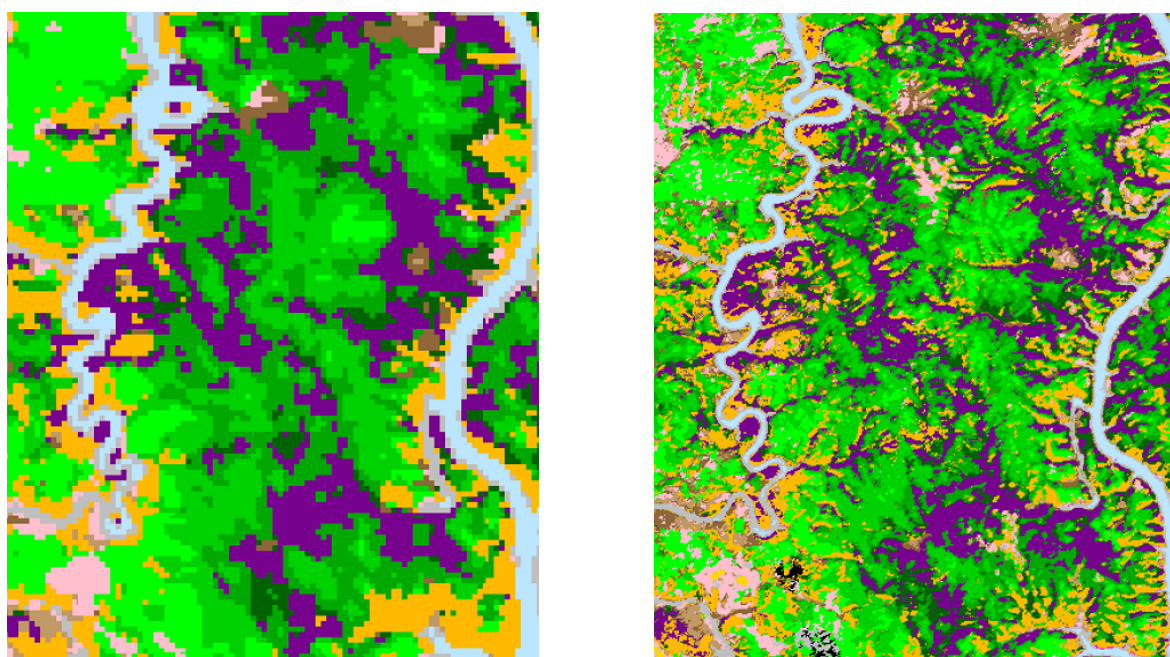


Рис. 4.2.3.5. Сопоставление фрагментов карт лесов по данным SPOT-Vegetation (слева) и Terra-MODIS (справа)

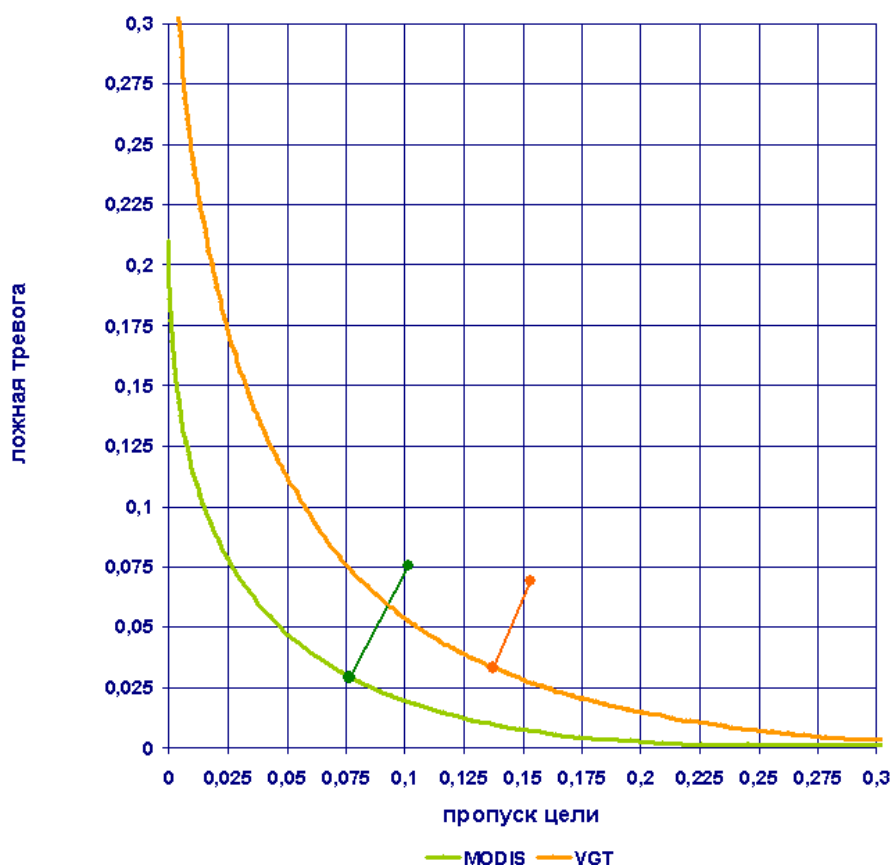


Рис. 4.2.3.6. Сравнительная оценка результатов картографирования лесного покрова по данным SPOT-Vegetation и Terra-MODIS на основе оптимума Парето

4.2.4. Развитие автоматизированных методов спутникового мониторинга природных пожаров и оценки их экологических последствий

Разработанный метод выявления пройденных огнем площадей на основе сравнительного анализа данных MODIS рассматриваемого года с многолетней серией данных предшествующих лет позволил получить однородную по технологии обработки многолетнюю серию выявленных пожаров и значительно уточнить площади за период 2005-2011 годов. Для выявления аномальных изменений растительности в рассматриваемых годах были использованы данные спутниковых наблюдений Terra-MODIS с разрешением 250м за период 2000-2011 годов в виде стандартных ежедневных продуктов MOD09. Подтверждение выявленных участков выполнялось данными тепловых аномалий MODIS MOD14 с разрешением 1км.

Метод включает в себя следующие этапы:

- маскирование зашумленных вследствие облачности, сбоев сенсора и снежного покрова участков поверхности;
- построение ежедневных композитных изображений коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Построение временных рядов индекса производится для рассматриваемого года, а также для пяти предшествующих ему лет, которые используются для построения опорных изображений неизменной растительности;
- построение опорного ежедневного временного ряда изображений индексов SWVI, основанного на ряде лет, предшествующих рассматриваемому году;

- выявление аномальных изменений в вегетационном ходе растительности, основанное на межгодовом сравнении с временным рядом индекса SWVI, построенном на данных предшествующих лет;
- пространственный анализ изменений и временное сопоставление с данными активных тепловых аномалий.

Вычисление коротковолнового вегетационного индекса производится по формуле:

$$SWVI = \frac{R2 - R6}{R2 + R6},$$

где $R2$ и $R6$ – соответственно данные измерений отраженного излучения во 2-ом (841-876нм) и 6-ом (1628-1652 нм) спектральных каналах Terra-MODIS.

На основе ежедневных данных спутниковых наблюдений с пространственным разрешением 500 метров производится построение маскирующих изображений облачности, теней, снежного покрова, сбойных участков изображений и участков изображений, полученных при неудовлетворительных угловых условиях наблюдений. С учетом маскирующих изображений осуществляется масштабирование канала $R6$ до разрешения 250м и построение ежедневных композитных изображений индекса SWVI, характеризующих чистую земную поверхность. На данный момент получен временной ряд индекса SWVI с разрешением 250м за период 2000-2011 годов.

Для восстановления пропущенных значений был применен метод полиномиальной аппроксимации, позволивший заполнить пропуски и осуществить сглаживание полученных в течение года измерений.

Построение опорного многолетнего временного ряда изображений индексов SWVI, основанного на данных, предшествующих рассматриваемому году позволило создать набор нормирующих изображений индекса SWVI. На основе этих измерений было определено среднее значение индекса SWVI в этот день M_{SWVI} и стандартное отклонение σ_{SWVI} , для поиска аномальных изменений динамики индекса (рис 4.2.4.1.).

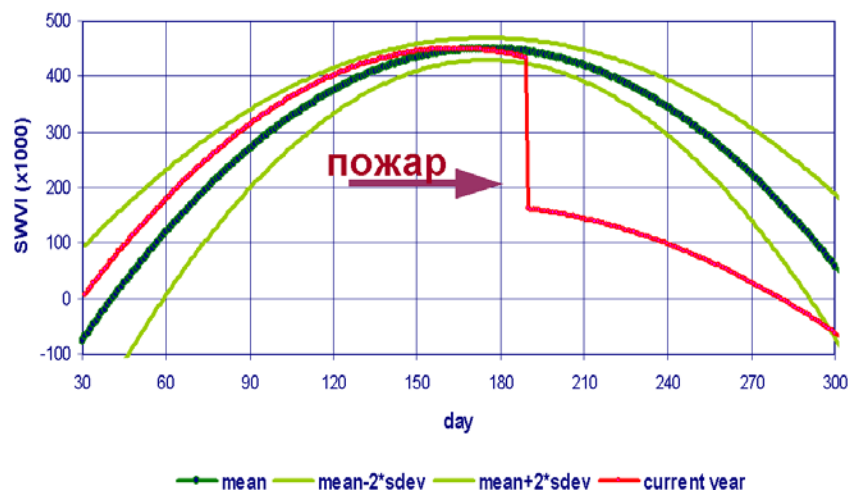


Рис. 4.2.4.1. Сглаженные временные ряды изображений опорных индексов SWVI в сравнении с временным рядом индексов SWVI текущего года.

Межгодовое сравнение временной серии индексов SWVI текущего года с временным рядом нормирующих изображений M_{SWVI} выполняется для каждого дня рассматриваемого года. Связанные с воздействием огня различия в состоянии растительности в текущем и

предыдущем годах могут выражаться в существенных отклонениях значений индекса DWI в область отрицательных значений. Также, построенные нормирующие изображения дают информацию о возможных изменениях, не являющихся аномальными. Для выявления пикселей, соответствующих предполагаемым горям был использован следующий, основанный на учете вариабельности данных предыдущих лет:

$$DWI^k(i, j, T) < P_1, \text{ где } P_1 = -2\sigma_{SWVI}.$$

В зависимости от характера вегетационного хода различных типов растительности в предшествующие годы данное пороговое значение меняется в каждой точке в течение вегетационного сезона (рис. 4.2.4.2.).

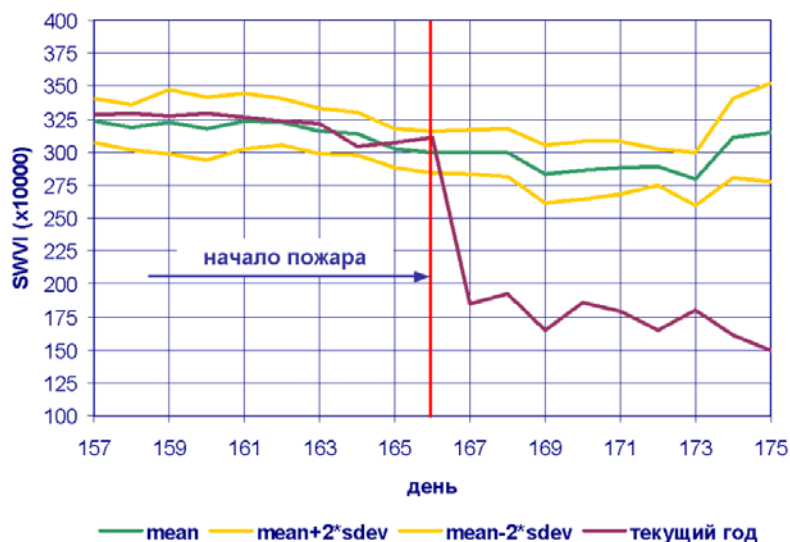


Рис. 4.2.4.2. Выявление аномальных изменений растительности с использованием адаптивного порогового значения

После использования описанной выше процедуры, результаты детектирования содержат наряду с поврежденными пожарами участками также пиксели, относящиеся к территориям, на которых появление отрицательных аномалий индекса DWI вызвано другими причинами, например случайными разливами рек, аномальными различиями в условиях наблюдения и т.д. На данном шаге формируется окно переменного размера для каждого выявленного на предыдущем этапе пикселя, содержащее набор пикселей ближайшей окрестности, не включенных во множество пикселей предполагаемых повреждений. Значения индекса SWVI для указанных пикселей ближайшей окрестности в данную дату наблюдений используются для оценки значения среднего и стандартного отклонения окрестности. Пиксель считается принадлежащим к пройденным пожарами участкам, если соответствующее ему значение SWVI отличается больше чем на одно стандартное отклонение от среднего.

Для идентификации вызванных воздействием огня повреждений растительности, предусматривается оценка пространственно-временной согласованности выявляемых изменений с информацией о действующих пожарах, получаемой по данным MODIS со спутников Terra и Aqua на основе алгоритма MOD14 v.04. На данном этапе все отмеченные на предыдущих стадиях алгоритма пиксели ежедневно группируются в связные области, которые территориально сопоставляются с ежедневными данными тепловых аномалий, которые зафиксированы в течение ближайших 20 дней. В качестве критерия пространственной согласованности принимается наличие не менее одного процента площади связной области, совпадающей с тепловыми аномалиями. Окончательно

выявленный участок изменения растительности считается поврежденным пожаром, если он согласуется с тепловыми аномалиями в пространственном и временном отношении.

На рисунке 4.2.4.3. представлены результаты выявления пройденных огнем площадей за период 2005-2011 годов.



Рис. 4.2.4.3. Карта поврежденных пожарами участков растительного покрова России за период 2005-2011 годов по данным Terra-MODIS

Метод определения степени повреждения лесов по спутниковым данным предполагает совместное использование данных среднего пространственного разрешения (Terra-MODIS) в совокупности с выборочными данными высокого пространственного разрешения (Landsat-TM/ETM+) и информацией наземных обследований на пробных площадях.

Опираясь на выполненные ранее исследования по оценке возможности количественной оценки состояния поврежденных пожарами лесов на основе спектральных вегетационных индексов, был предложен метод оценки степени повреждения лесов на основе индекса RdSWVI с использованием регрессионной модели. Данный подход подразумевает использование данных об отражательной способности лесов в средней и ближней ИК областях спектра в моменты до и после пожара. Применение метода позволило произвести оценку степени повреждения лесов Московской области пожарами 2010 года (рис.4.2.4.4.) с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения.

Разработанный метод также обеспечивает регулярную дистанционную оценку средневзвешенной категории состояния (СКС) лесов на основе данных MODIS (рис. 4.2.4.5.). Применение метода позволяет еженедельно получать для всей территории России информацию о динамике состоянии поврежденных лесов с пространственным разрешением 250 м. Для уменьшения ошибок связанных с влиянием межгодовых вариаций фенологической динамики был выполнен анализ многолетних спутниковых данных,

который позволил установить внутри вегетационного сезона локально адаптированные границы временных интервалов, характеризующие минимальным влиянием межгодовых вариаций фенологической динамики насаждений на точность определения СКС.

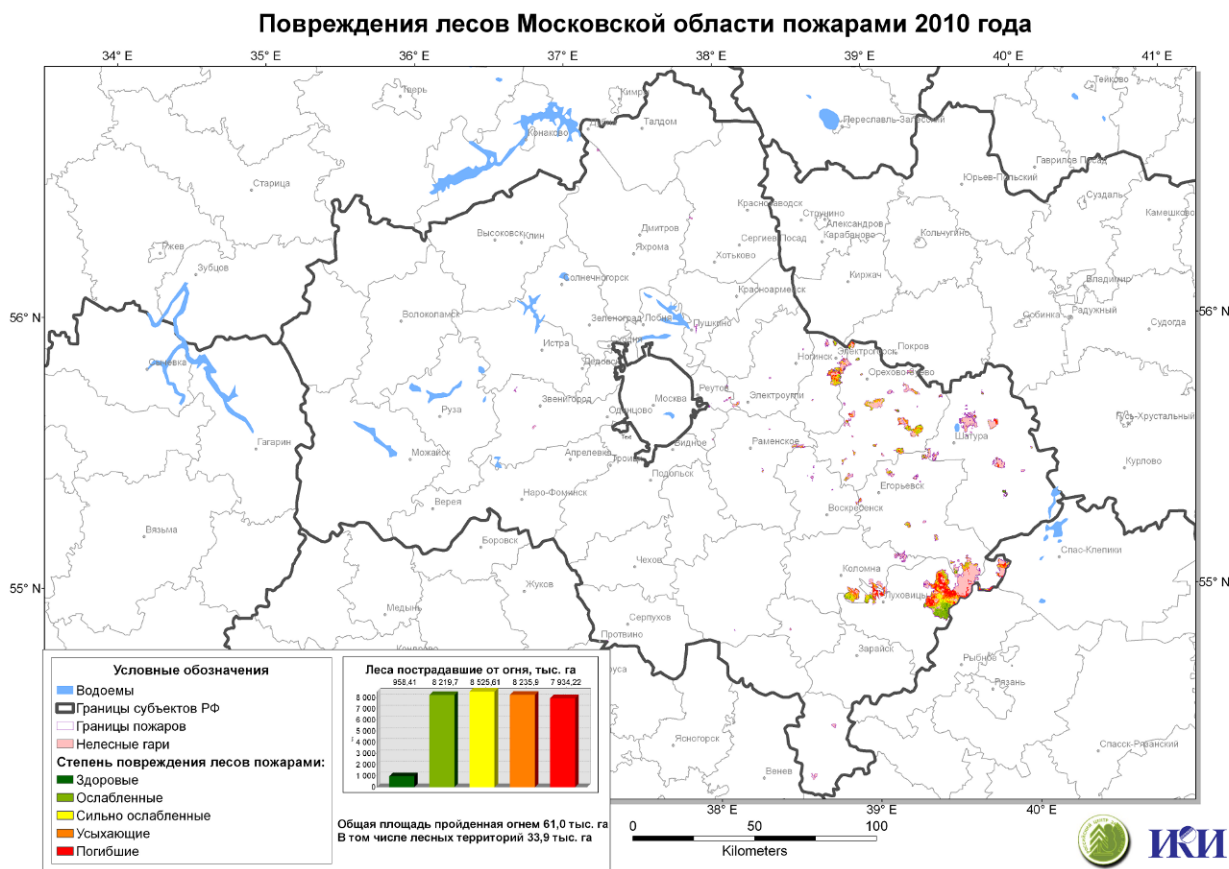


Рис. 4.2.4.4. Карта повреждений лесов Московской области пожарами 2010 года по данным Landsat-TM

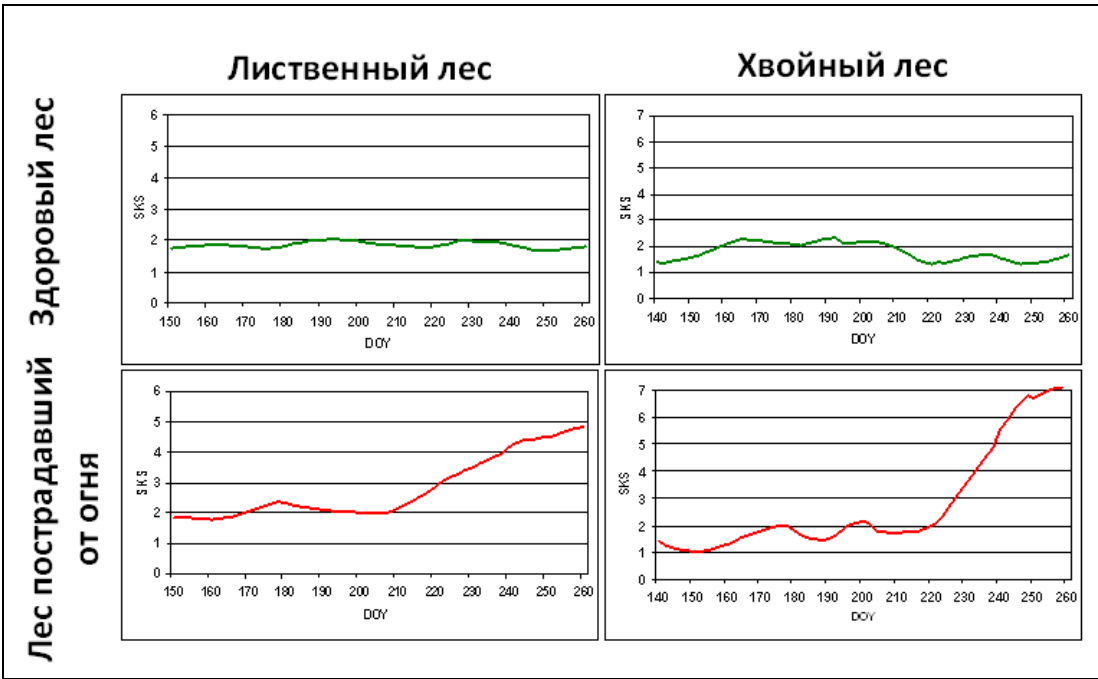


Рис. 4.2.4.5. Динамика СКС для лиственных и хвойных лесов пострадавших от огня, а также здоровых лесов полученная с использованием данных MODIS

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

В ИКИ РАН создана технология детектирования используемых пахотных земель на основе разработанных спектрально-динамических признаков распознавания и локально-адаптивного алгоритма классификации LAGMA.

Распознавание используемой пашни осуществляется на основе набора специализированных пространственно-временных признаков, полученных по многолетним временным сериям перпендикулярного вегетационного индекса PVI.

В основу *индекса кратчайшего сезона вегетации* в качестве признака распознавания пахотных земель положено наличие, в силу проведения агротехнических мероприятий (обработка почвы перед севом и уборка урожая), тенденций к сокращению продолжительности вегетационного периода сельскохозяйственных культур по сравнению с естественной растительностью. Значения признака рассчитывается как минимальный для ряда лет период, в котором значения PVI превышают порог, определяемый половиной максимального значения ВИ в текущем году.

Предпосылками для разработки и использования *индекса весеннего развития растительности* являются характерные для естественной и сельскохозяйственной растительности различия времени начала роста. В отличие от естественной растительности, время появления всходов на пахотных землях непосредственно связано со сроками сева, определяемыми в свою очередь состоянием почвы и ее готовностью к проведению посевных работ. Исключение составляют весенние всходы многолетних и озимых культур, которые уже имеют развитые с осени предыдущего года вегетативные органы. Таким образом, значения этого индекса, определяемого как минимальная многолетняя сумма значений PVI в границах временного окна, охватывающего весенний период года, имеют, как правило, существенно большие значения на участках естественной растительности, чем на пахотных землях.

Временной интервал спутниковых наблюдений, используемых для вычисления *индекса сезонного снижения фитомассы*, соответствует периоду вегетации культурной растительности, но также включает в себя моменты ожидаемого минимального покрытия пашни растительностью и, следовательно, низких значений PVI. Это моменты осенней обработки почвы, скашивания многолетних трав или предпосевных работ. При этом предполагается, что в период вегетации естественная растительность накапливает существенный объем фитомассы.

В результате, на основе признаков распознавания, обучающей выборки, алгоритма LAGMA и участия экспертов были созданы карты используемых пахотных земель на всю территорию РФ за 2002-2007, 2003-2008, 2004-2009 и 2005-2010 годы. Полученные карты стали основой для создания обучающей выборки и карты априорных вероятностей, подходящих для их использования в полностью автоматических процедурах (рис. 4.2.5.1.).

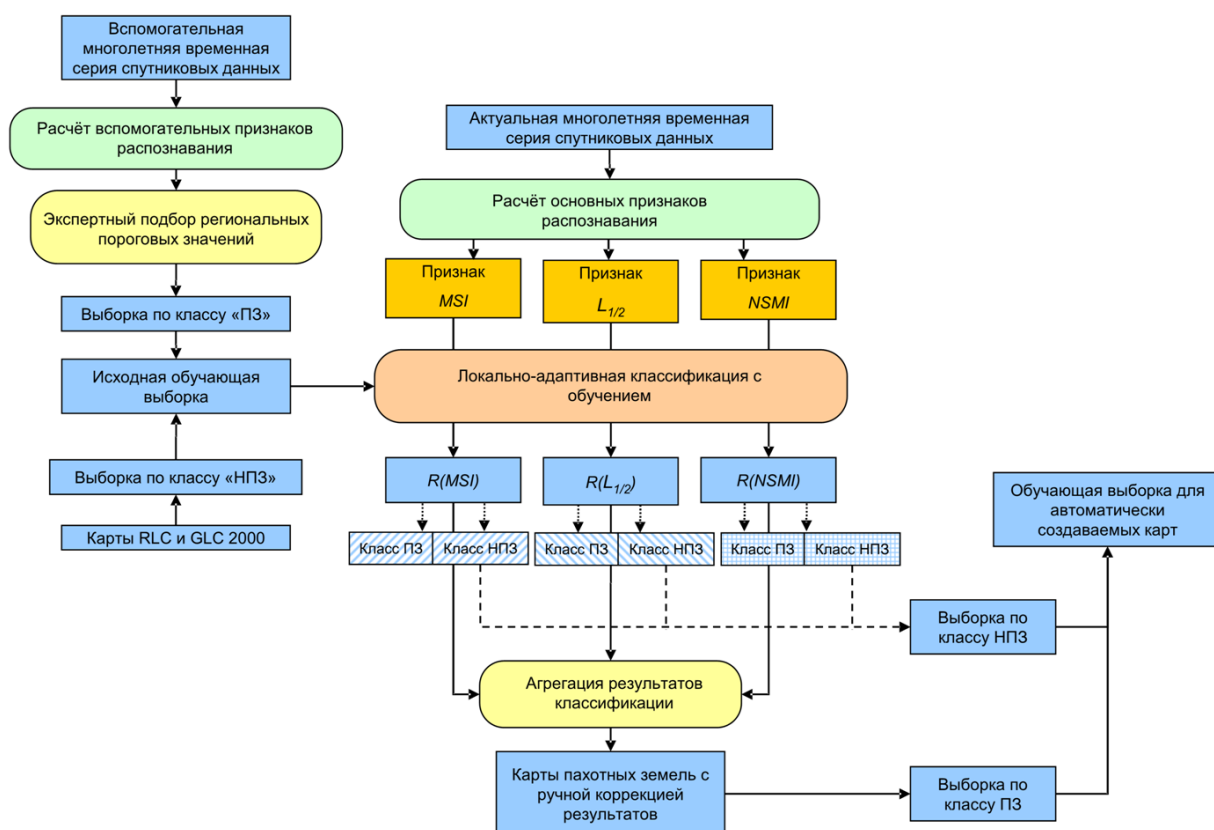


Рис 4.2.5.1. Логическая схема процедуры получения обучающей выборки для автоматической классификации пахотных земель по данным MODIS

Для автоматизации процедуры ежегодного обновления карт участков используемой пашни в технологию распознавания был интегрирован модуль обновления карт априорной вероятности и обучающей выборки. Он обеспечивает обновление и репрезентативность обучающей выборки и карты априорных вероятностей для класса используемой пашни при изменении их между последовательными результатами распознавания участков ИПЗ. В частности, при обновлении обучающей выборки модулем обеспечивается исключение из нее пикселей, соответствующих заброшенным участкам пашни и пополнение её пикселями, соответствующими вновь распаханной территории. Карта априорных вероятностей представляет собой априорную информацию об участках растительности, потенциально являющихся используемой пашней. Она позволяет исключить ошибочное детектирование растительности, одновременно повышая вероятность верного распознавания участков ИПЗ в зоне активного земледелия. Слой априорных вероятностей рассчитывается путем буферизации групп репрезентативных пикселей, каждый из которых был хотя бы единожды отнесен к классу ИПЗ. Буферизация подразумевает построение вокруг данных пикселей круговой области непрерывных значений коэффициентов априорной вероятности распознавания участков используемой пашни. Наличие линейного радиального градиента обеспечивает снижение значений априорной вероятности от единицы в центре буферной зоны до нуля на расстоянии 10 км от её центра. При обновлении карты априорных вероятностей происходит обновление только центров буферизации в соответствии с концепцией, аналогичной обновлению обучающей выборки; построение буферных зон осуществляется по обновленному множеству репрезентативных пикселей (рис.4.2.5.2.).

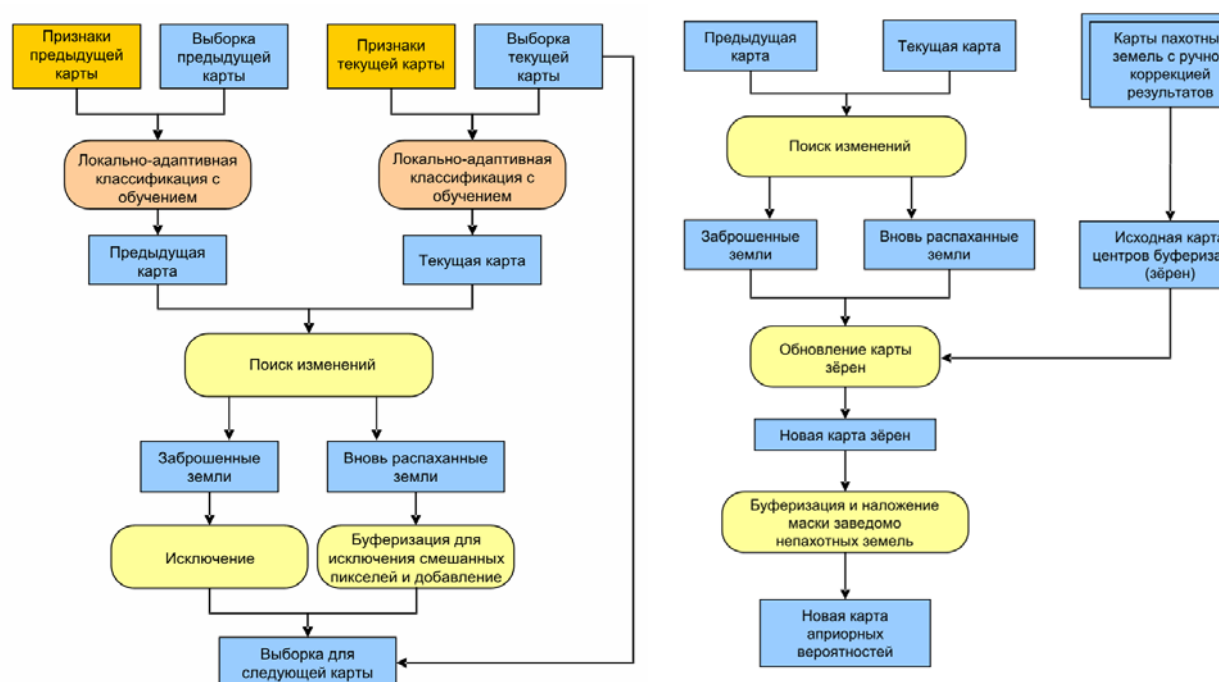


Рис. 4.2.5.2. Блок-схемы автоматического обновления обучающей выборки (слева) и карты априорных вероятностей (справа) в модуле автоматического обновления

Описанные выше схемы расчета признаков распознавания, классификации и интеграции результатов включены в соответствующие модули и совместно с модулем обновления образуют технологию ежегодного автоматического распознавания участков используемой пашни для всей территории РФ (рис. 4.2.5.3.).

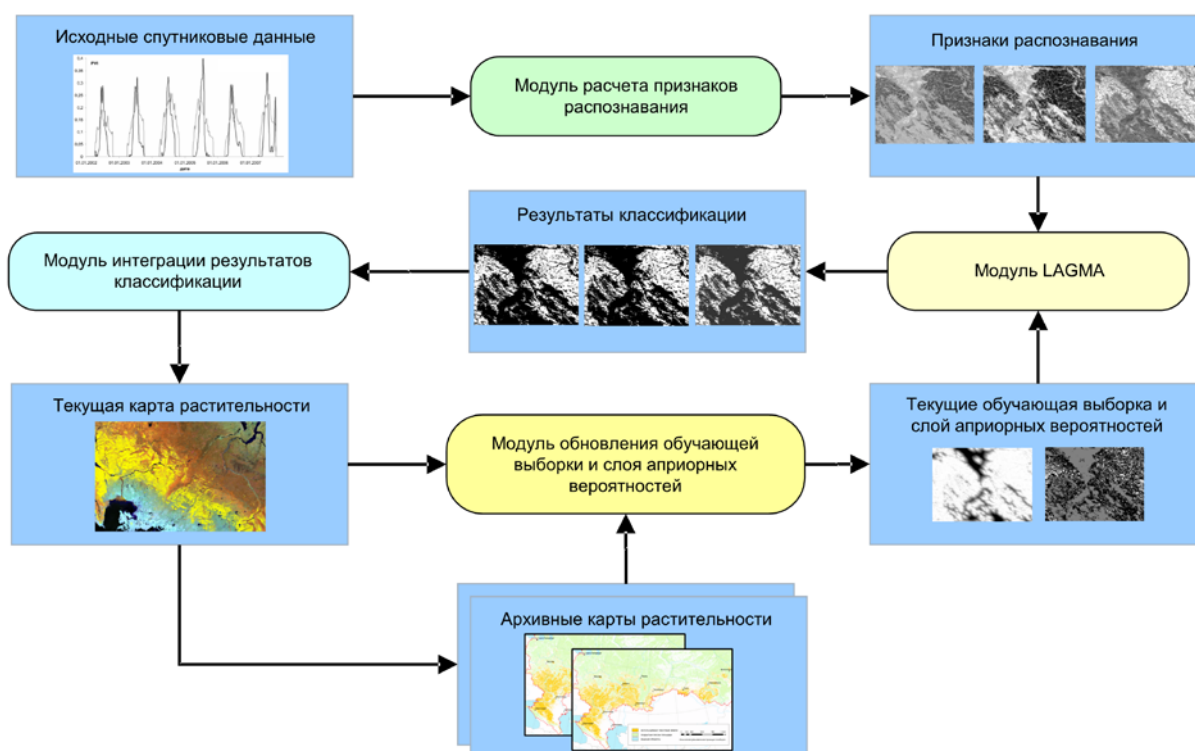


Рис. 4.2.5.3. Логическая схема технологии ежегодного автоматического распознавания используемой пашни

4.2.6. Разработка методов спутникового мониторинга актуального плодородия пахотных почв

Актуальное плодородие почв зависит не только от их свойств, но и от влияния человека. В качестве интегрального индикатора актуального плодородия почв может быть использована урожайность культуры, возделываемой в рамках определенных технологий с применением удобрений.

При оценке актуального плодородия почв важен анализ его пространственного варьирования. Результатом анализа может являться ранжирование земельных участков по уровню их плодородия. Кроме того, большое значение имеет изменение уровня плодородия от одного сезона вегетации к другому сезону. Это варьирование обусловлено как климатическими изменениями, так и изменениями свойств почв и специфики использования земель.

Для оценки актуального плодородия почв использованы спутниковые данные MODIS. При этом в качестве основного показателя актуального плодородия земель используется состояние посевов, которое индицируется по величине вегетационного индекса NDVI, рассчитанного для середины сезона вегетации. Основной проблемой при оценке является вычленение воздействия климатического фактора на абсолютную величину сезонного максимума индекса. Учет этого фактора при анализе производится путем экспертной оценки текущих метеорологических параметров. На количественном уровне для этого может быть использовано имитационное моделирование роста растений на основе метеорологических данных. На основе этой оценки выявляются случаи аномального поведения посевов, обусловленное чисто метеорологическими факторами, которые в дальнейшем исключаются из анализа.

В качестве основы для оценки актуального плодородия почв конкретного поля используется спутниковый сервис анализа вегетации ВЕГА, разработанный в отделе спутникового мониторинга ИКИ РАН в 2011 году.

Сервис обеспечивает возможность работы с архивами данных, накопленных за период с 2000 года по настоящее время. При этом организовано автоматическое пополнение информации, что обеспечивает возможность пользователям сервиса получать как архивные, так и оперативные данные практически для любого пахотного участка в России.

Сервис позволяет оценить не только актуальное плодородие почв отдельного поля, но и проанализировать вариабельность плодородия внутри крупных полей. На рисунке 4.2.6.1. приведены примеры вариабельности актуального плодородия почв на одном поле, но на разных почвенных разностях.

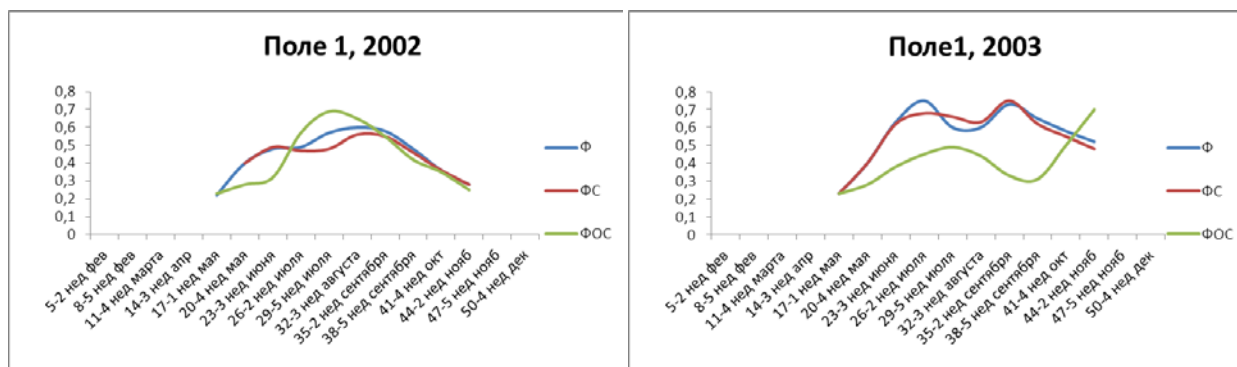


Рис. 4.2.6.1. Кривые NDVI для одного пахотного угодья в разные годы на разных почвенных разностях. Разница значения сезонного максимума индекса демонстрирует вариабельность актуального плодородия почв внутри поля и его изменение от года к году.

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

Развитие методов оценки изменений, происходящих в лесах на территории России, осуществлялось в рамках Программы ФАО ООН по глобальной оценке лесных ресурсов 2010 года. Дистанционная оценка площадей, покрытых лесом, основана на использовании глобальной сети регулярно расположенных тестовых участков. Для каждого тестового участка размером 10х10 км из архива спутниковых данных Landsat (30 м), были выбраны три изображения, полученные за даты близкие к 1990, 2000 и 2005 годам. Фрагмент каждого изображения, покрывающий тестовый участок, автоматически классифицировался с выделением пяти базовых классов: леса, смесь лесов с другими типами земного покрова, кустарники и другие типы земного покрова, водные объекты. Вследствие различий фенологического состояния растительности, условий спутниковой съемки и несовершенства алгоритма автоматического распознавания результаты классификации спутниковых изображений содержали ошибки и нуждались в дополнительной проверке. Проводимая коррекция результатов классификации спутниковых изображений для территории была выполнена Институтом космических исследований РАН совместно с ФАО ООН.

В рамках данной работы была предложена и реализована статистически обоснованная стратегия формирования выборки, включающей 300 тестовых участков на территории России. Целью разработки данной стратегии было получение оценок площадей лесов на территории России для заданного уровня статистической ошибки при уменьшении количества обрабатываемых тестовых участков. Процедура отбора тестовых участков включает два этапа: статистическую стратификацию участков и специальную процедуру пространственного выбора тестовых участков из страты. В качестве характеристик тестового участка для статистической стратификации были выбраны индикаторы характеризующих состояние растительности и чувствительные к изменениям ее состояния. Данные характеристики были построены на основе зимних и летних композитных изображений среднего пространственного разрешения MODIS (250м) и карты TerraNorte RLC. Процедура пространственной селекции тестовых участков проводилась с помощью весовых функций и имела своей целью выбор тестовых участков наиболее удаленных друг от друга.

Для построенной выборки тестовых участков выполнена коррекция результатов автоматической классификации земного покрова и проведен анализ ошибок (Рис. 4.2.7.1.). Результаты классификации также валидировались на основе изображений QuickBird. По результатам проведенного анализа выработаны рекомендации по улучшению качества автоматической классификации спутниковых данных. Полученную базу тестовых участков с результатами их экспертной классификации планируется использовать в качестве обучающей выборки для построения алгоритма оценки изменений по данным высокого разрешения Landsat на больших территориях.

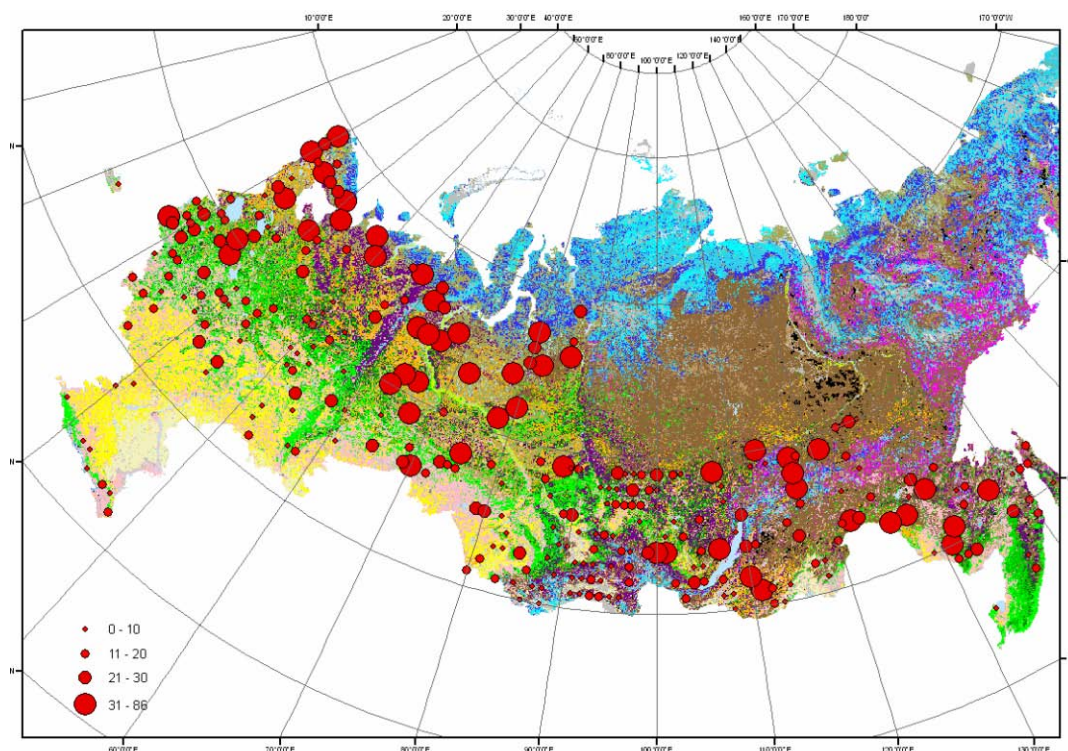


Рис.4.2.7.1. Пространственное распределение величины ошибки автоматической классификации земного покрова по данным Landsat-TM

Раздел 4.3. Мониторинг-Климат

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., отд. № 55

4.3.1. Глобальный тропический циклогенез как критический элемент полярного переноса в климатической системе Земли. Оценка скрытой энергии экваториальной зоны водяного пара во внутритропической зоне конвергенции атмосферы над Мировым океаном и его региональных составляющих

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

С помощью принципиально усовершенствованной комплексной базы данных EVA-02 (пространственно-временная эволюция тропического циклогенеза, фронтогенеза и поля водяного пара в земной атмосфере) с элементами объектно-реляционного типа, а также усовершенствованного алгоритма сегментации полей спутниковых данных выполнен детальный анализ временной эволюции поля интегральной концентрации водяного пара (материнское поле). Исходные спутниковые данные были заимствованы из коллекции радиотепловых глобальных изображений Global- RT (ИКИ РАН), построенных по данным микроволновых спутниковых комплексов миссии DMSP (NASA) за период 2001 г. в океанических акваториях Мирового океана. Методология усовершенствования алгоритмов сегментации была направлена, в первую очередь, на выявление тонких особенностей свойств первой и второй производных к выбранному горизонтальному профилю яркости сформированного поля интегрального водяного пара. Используя представленные математические процедуры, представляется возможным точное выделение границ материнского поля за счет отличия яркости, поскольку граница между значением водяного пара в области материнского поля и в зоне умеренных широт отличается как минимум на 15 градаций, то граница является относительно четкой и при применении градиентного

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

Работа поддержана РФФИ, проект № 09-05-01019-а.

Публикации

1. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 280–286.
2. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона (ТЦ) на примере ТЦ Francisco (2001) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 310–316.
3. Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В., Раев М.Д. Особенности мониторинга тропического циклогенеза в глобальном поле водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 287–292.
4. Шрамков Я.Н., Шарков Е.А. Технология сегментации изображений глобального водяного пара для задач генезиса тропических циклонов // 9-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2011. [Электрон. текст]. С. 67.
5. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н. Роль тропического циклогенеза и фронтогенеза при временной эволюции (2001) экваториального поля интегрального водяного пара // 9-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2011. [Электрон. текст]. С. 230.

4.3.2. Формирование научной базы данных за 1983–2011 гг. глобального тропического циклогенеза на основе специального препроцессинга исходных «сырых» данных в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

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

Сформирована научная база данных глобального тропического циклогенеза за 2005–2011 гг. на основе специального препроцессинга исходных «сырых» данных для задач изучения изменчивости климатических параметров планеты.

Блок базы данных за 2005–2011 гг. сформирован на основе ежесуточной информации, полученной по каналам Internet с сайта Астрономической обсерватории Гавайского университета (URL <http://www.solar.ifa.hawaii.edu/>), где поступающая первичная информация из JTWC (Флорида) и региональных метеоцентров (Токио, Майами, Нью-Дели, Дарвин, о-в Фиджи, о-в Реюньон и др.) суммировалась и поступала в систему Internet в виде ежедневных пакетов данных. Этот блок информации обладает существенно большей полнотой описания событий, происходящих в тропической зоне Мирового океана, чем информация за 1983–1996 гг.

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

Работа поддержана РФФИ, проект № 09-05-01019-а.

4.4.3. Разработка варианта базы данных EVA-01 объектно-реляционного типа, который включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух стохастических процессах, обладающих принципиально различными пространственно-временными масштабными и структурными характеристиками

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

С помощью программного обеспечения ENVI 4.3 и Microsoft Visual Studio 2008 разработан первый вариант базы данных EVA-01 с элементами объектно-реляционных технологий, которая включает в себя дистанционную спутниковую информацию о двух стохастических процессах, обладающих принципиально различными пространственно-временными масштабными и структурными характеристиками. Первый процесс — тропический циклогенез — рассматривается как стохастический набор случайных событий (объектов) — тропических циклонов, и второй — как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью за 2001 г. Экспериментально представлена связь областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов, которая стала очевидной только при применении объектно-реляционных технологий. При всех достоинствах баз данных GLOBAL-TC и GLOBAL-Fiels их использование для проведения аналитических исследований и использования этих данных в автоматическом режиме не достаточно эффективно. Как показано в работе, несомненным лидером в обработке и хранении такого сорта комплексной информации будут являться технологии реляционных баз данных. В ближайшее время планируется улучшение EVA-01 и перевод информации о тропическом циклогенезе и глобальной поле водяного пара в реляционную модель данных.

Работа поддержана РФФИ, проект № 09-05-01019-а.

Публикации

1. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 280–286.
2. Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В. Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона (ТЦ) на примере ТЦ Francisco (2001) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 310–316.

3. *Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В., Раев М.Д.* Особенности мониторинга тропического циклогенеза в глобальном поле водяного пара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 287–292.

4.3.4. Исследование генерации зонального ветра в атмосферах планет. Интерпретация и сравнение полученных результатов с данными микроволнового спутникового мониторинга

Отв. исп. д-р физ.-мат. наук Астафьева Н.М., д-р физ.-мат. наук Онищенко О.Г.

Изучается распространение внутренних гравитационных (ВГ) волн в атмосфере со сдвиговыми зональными ветрами и экспоненциально убывающей плотностью. ВГ волны способны переносить энергию и импульс из нижних слоев нейтральной атмосферы в ионосферу. Источником ВГ волн в атмосфере могут быть извержения вулканов, тайфуны, зональные ветры в атмосфере, землетрясения и ряд других процессов. Распространяясь до больших высот в атмосфере с убывающей плотностью с нарастанием амплитуды возмущений, ВГ волны способны возмущать ионосферу. Спутниковое и наземное электромагнитное зондирование нейтральной атмосферы нижних слоев ионосферы свидетельствует о связи наземных катастроф с возмущениями нижних слоев слабоионизированной ионосферы. Поэтому, проблема прогнозирования и наблюдения катастроф по электромагнитному зондированию тесно связана с проблемой распространения ВГВ. Развита гидродинамическая теория нелинейных ВГ волн, распространяющихся в атмосфере с экспоненциально убывающей плотностью и со сдвиговыми зональными ветрами. Показано, что квазистационарные нелинейные уединенные вихревые структуры могут существовать только в атмосфере с неустойчивой стратификацией. Обсуждается возможность генерации крупномасштабных конвективных ячеек в слаботурбулентной атмосфере. Полученные результаты докладывались на двух конференциях. По результатам исследования подготовлены статьи. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 10-05-0037) и Программой ОНЗ РАН № 7.

Публикации

1. *Onishchenko O.G., Pokhotelov O.A.* Convective cells of inertio-gravity waves in ionospheric D-layer // Workshop “International Advanced Workshop on the Frontiers of Seismo-Electromagnetic Studies”. 11–15 Sept. 2011. Eilat, Israel.
2. *Онищенко О.Г., Похотелов О.А.* Конвективные ячейки инерционных гравитационных волн в атмосфере и D-слое ионосферы // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электронный текст]. С. 208.

4.3.5. Изучение проявления климатических тенденций в структуре радиотеплового поля Земли с использованием данных микроволнового спутникового мониторинга — ежесуточных глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field. Создание методик изучения пространственно-временной структуры серий радиотепловых полей

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

Изучение спутниковых данных и комплексное сравнение с результатами анализа климатических и палеоданных позволило предположить, что причиной горячего лета 2010 г. в России послужило сочетание нескольких природных факторов (явление Эль-Ниньо – Ла-Нинья, перемещение Азиатского и Сибирского центров действия атмосферы (ЦДА), смена фазы колебаний ЦДА), приведшее к необычно долгой блокировке западного переноса в атмосфере Северного полушария. Похожая причина привела к холодным зимам 2009/2010 и 2010/2011 гг.: зимний Сибирский максимум, сменяющий летнюю Азиатскую депрессию, совместно с массами холодного воздуха Арктического антициклона блокировали западный перенос, перекрыв доступ теплого воздуха с Атлантики. Мы уже отмечали, что в последние годы реперные точки (линии) широтной структуры радиотеплового поля планеты — его экстремумы разных знаков — смещаются к северу (Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Квазидвухлетние колебания в структуре радиотеплового поля над Атлантическим океаном по данным микроволнового спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 53–61). Сложившаяся в 2010 г. ситуация определяется не какими-то экстраординарными событиями, а обычным долговременным (с масштабами в несколько десятилетий) колебанием атмосферы, на смене фазы которого мы сейчас находимся (это колебание прослеживается и в PDO, и в SOI, и в зимнем и летнем макромасштабных градиентах давления). Преобладающий тип атмосферной циркуляции, приведший к аномальной жаре летом 2010 г., доминировал в предыдущую зиму, сохранился в последующую, жара повторилась и летом 2011 г., хотя и в гораздо меньшей степени.

В настоящее время для предсказаний явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья используются данные о состоянии тропиков системы океан – атмосфера, в основном, в акватории Тихого океана. Начало явления предсказывается довольно хорошо (хотя и не очень заблаговременно), но такие характеристики, как интенсивность и продолжительность (важные из-за возможных катастроф) практически остаются неизвестными до окончания Эль-Ниньо. Комплексный анализ данных микроволнового спутникового мониторинга (глобальных радиотепловых полей из электронной коллекции ИКИ РАН GLOBAL-Field) и временных климатических рядов показал, что на явление Эль-Ниньо – Ла-Нинья (на его начало, сценарий и интенсивность) сильное воздействие оказывают межгодовые колебания квазистационарных океанских центров действия атмосферы Южного полушария — это Южно-Атлантический, Южно-Индийский и Южно-Тихоокеанский субтропические максимумы (они направляют сухие холодные воздушные массы в сторону экватора, а теплые влажные отводят в высокие широты Южного полушария) и Антарктическая субполярная депрессия. Адекватное предсказание приближающегося Эль-Ниньо над акваториями Мирового океана (особенно его интенсивности) возможно только с использованием спутникового мониторинга, который может предоставить необходимую информацию над всей океанической частью Южного полушария.

Публикации

1. Астафьева Н.М. Возможные причины горячего российского лета 2010 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 223–232.

2. *Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Квазидвухлетние колебания радиотеплового поля тропической зоны Атлантики // Исследование Земли из космоса. 2011. № 4. С. 78–84.
3. *Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Широтно-временная структура квазидвухлетних колебаний радиотеплового поля (тропосферы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 271–279.
4. *Астафьева Н.М., Раев М.Д.* Эль-Ниньо – Ла-Нинья и колебания центров действия атмосферы Южного полушария // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электрон. текст]. С. 178.

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

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

Разработаны методики изучения структуры радиотеплового поля Земли (по ежесуточным радиотепловым полям из электронной коллекции ИКИ РАН GLOBAL-Field, <http://www.iki.rssi.ru/asp>), основанные на математическом аппарате вейвлет-преобразования и на построении широтно-временных диаграмм. С помощью этих методик, а также классического спектрального и корреляционного анализа изучаются региональные, межгодовые и сезонные особенности распределения радиояркой температуры над акваториями Тихого и Индийского океанов. Проведено сравнение с результатами, полученными при аналогичных исследованиях колебаний атмосферы над акваторией Атлантики (*Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Квазидвухлетние колебания радиотеплового поля тропической зоны Атлантики // Исследование Земли из космоса. 2011. № 4. С. 78–84). Выявлены различия и особенности радиотеплового поля, характерные для разных акваторий Мирового океана: северной и южной Атлантики, Индийского океана, а также для западной и восточной частей Тихого океана.

Разработана методика, основанная на процедуре Такенса, для изучения структуры радиотеплового поля Земли по данным микроволнового спутникового мониторинга — по ежесуточным радиотепловым полям из электронной коллекции ИКИ РАН GLOBAL-Field, <http://www.iki.rssi.ru/asp> на частотах, содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы. Идея анализа случайных сигналов с целью реконструкции свойств порождающих их источников (процессов), впервые изложенная Ф. Такенсом (*Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Dynamical Systems and Turbulence, Warwick 1980: Lecture Notes in Mathematics, 898 / Eds. D. Rand and L.-S. Young. Berlin: Springer, 1981. P. 366–381*), основана на том, что если хаотический сигнал генерируется конечномерной динамической системой, то возможно восстановление соответствующего предельного множества (в частности, странного аттрактора) в некотором эффективном фазовом пространстве, а затем определение на этом множестве характеристик порождающего процесса (спектр размерностей, энтропия и др.).

Публикации

1. *Астафьева Н.М., Хайруллина Г.Р.* Методика изучения структуры радиотеплового поля Земли, основанная на процедуре Такенса // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электрон. текст]. С. 13.

2. *Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М.* Методики изучения особенностей радиотеплового поля над акваториями Мирового океана (Тихого, Индийского и Атлантики) // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электрон. текст]. С. 64.

4.3.7. Разработка методов определения месторождений металлических руд, выходящих на поверхность Земли и других планет, с помощью микроволнового зондирования

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

Показана возможность разделения медной руды, по отраженному от нее микроволновому излучению, на богатую и бедную.

На основе проведенных исследований диэлектрических свойств минералов, была рассмотрена возможность идентификации горной породы по отраженному от нее микроволновому излучению.

В ходе работы исследовались образцы медной руды, полученные с месторождений «Северное» и «Котсель Ваара» Мурманской области, а также «Талнахское» Норильского промышленного района. Полезной компонентой этой горной породы являлся минерал халькопирит. Помимо халькопирита, в состав образцов входили сопутствующие рудные минералы — магнетит, пирит и сфалерит; а также нерудные минералы — различные силикаты (полевые шпаты, плагиоклазы, каолинит, пироксены) и кварц. В зависимости от объемного содержания халькопирита, образцы разделялись на «богатые» (содержание халькопирита $> 3\%$) и «бедные» (содержание халькопирита $\leq 3\%$).

Измерения отражательной способности образцов горной породы проводились в диапазоне частот 12...38 ГГц на панорамном измерителе коэффициента стоячей волны и ослабления. Толщина всех образцов была не менее 1 см, поэтому пропускательная способность составляла величину ниже 10^{-4} во всем исследуемом диапазоне и прибором не фиксировалась.

Расчет отражательной способности слоя горной породы проводился для различных объемных содержаний в среде рудных и нерудных минералов. Сопоставление теоретических и экспериментальных зависимостей показало их хорошее качественное и неплохое количественное соответствие. Неполное совпадение расчетов с экспериментальными результатами связано с тем, что различные минералы в породе (в том числе и в образце) распределены неравномерно, вследствие чего имеются границы раздела сред и на этих границах происходит переотражение излучения, которое в модельных расчетах не учитываются.

Работа выполняется совместно с Учебно-научным радиофизическим центром Московского педагогического государственного университета (УНРЦ МПГУ).

Исполнители со стороны ИКИ РАН:

1. Тихонов В.В. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: vtikhonov@asp.iki.rssi.ru.

2. Боярский Д.А. — стар. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: dboyarski@rambler.ru.

3. Комарова Н.Ю. — гл. спец., тел.: 333-42-56, e-mail: nata.komarova@asp.iki.rssi.ru.

Публикации

1. Тихонов В.В., Боярский Д.А., Полякова О.Н., Дзарданов А.Л., Гольцман Г.Н. Лабораторные исследования радиофизических и диэлектрических свойств минералов и горных пород в микроволновом диапазоне: Препринт ИКИ РАН. М.: ИКИ РАН, 2011. Пр-2162. 40 с.

Участие в проектах

Грант РФФИ, проект № 10-05-00037 совместно с УНРЦ МПГУ — «Повышение эффективности добычи металлических руд методами микроволновой спектроскопии». Руководитель ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук Тихонов В.В.

Исполнители со стороны ИКИ РАН:

1. Тихонов В.В. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: vtikhonov@asp.iki.rssi.ru.
2. Боярский Д.А. — стар. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: dboyarski@rambler.ru.
3. Комарова Н.Ю. — гл. спец., тел.: 333-42-56, e-mail: nata.komarova@asp.iki.rssi.ru.

4.3.8. Создание методики определения запасов воды в снежном покрове по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии в контексте задач изучения изменчивости климатических параметров планеты

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

Исследованы зависимости яркостной температуры и состояния снежного покрова.

Для локальных условий разработаны подходы к моделированию изменений яркостной температуры поверхности в зависимости от структуры снежного покрова, определены причины и возможные величины погрешностей. Проведена сравнительная характеристика пространственно-временной изменчивости модельных, спутниковых и наземных данных для ключевых участков Северной Евразии (северная часть Восточно-Европейской равнины). Оценено сходство полей спутниковых яркостных температур, приземной фактической температуры воздуха и высоты снежного покрова.

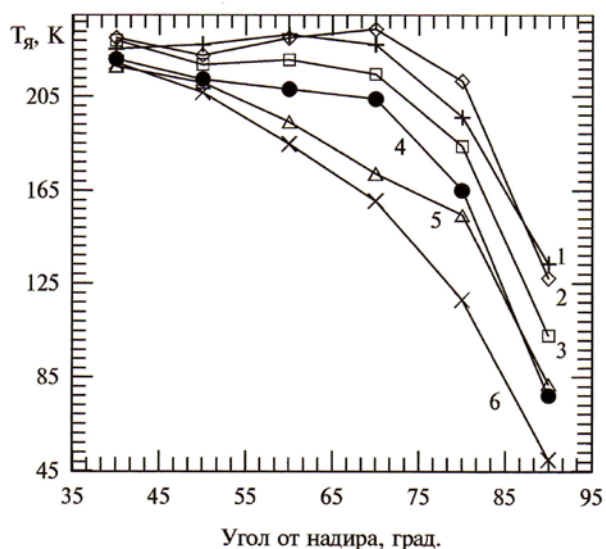


Рис. 1. Угловые зависимости радиояростной температуры для снежного сезона 1987/1988 гг. Даты измерений: 1 — 27.11.1987; 2 — 14.01.1988; 3 — 17.02.1988; 4 — 24.02.1988; 5 — 10.03.1988; 6 — 01.04.1988

Рассмотрено влияние стратиграфии снежного покрова на его яркостную температуру в сантиметровой части СВЧ-диапазона. Показано, что наблюдаемые угловые распределения яркостной температуры связаны со структурными изменениями снежного покрова. Возникающая на стадии конструктивного метаморфизма структура приземного слоя снежного покрова оказывает существенное влияние на распространение электромагнитного излучения длинноволновой части СВЧ-диапазона (3,95 ГГц). Появление слоя глубинной изморози, состоящего из вертикальных сростков ледяных кристаллов, приводит к сглаживанию зависимости радиояростной температуры от угла визирования (рис. 1 и 2).

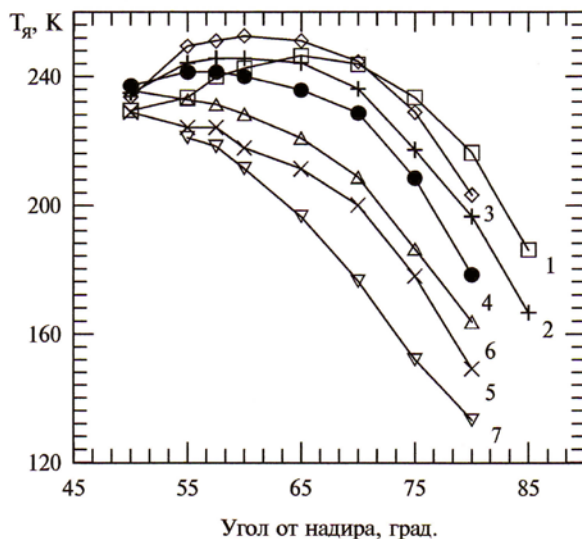


Рис. 2. Угловые зависимости радиояростной температуры для снежного сезона 1987/1988 гг. Даты измерений: 1 — 20.01.1988; 2 — 08.02.1989; 3 — 25.02.1989; 4 — 02.03.1989; 5 — 13.03.1989; 6 — 20.03.1989; 7 — 08.04.1989

Глубинная изморозь представляет собой кристаллы, образующиеся в завершающей стадии конструктивного метаморфизма. Глубинная изморозь может встречаться во всех регионах земли, где формируется снежный покров, который существует достаточно

долго — до достижения этапа конструктивного метаморфизма. В целом, при увеличении континентальности климата, глубинная изморозь развивается быстрее и ее горизонты в снежной толще более мощные. Размеры кристаллов глубинной изморози варьируют от 0,8 до 6...7 мм. По мере перекристаллизации снежной толщи в ней развивается вертикальная предпочтительная ориентировка главных осей кристаллов. Вертикальные сростки ледяных частиц придают снежному разрезу характерную «волоknистую» текстуру. Принимаемое радиометром излучение состоит из трех компонент: излучение земли, прошедшее сквозь снежный покров, отраженное излучение неба и собственное излучение снежного покрова. Микроволновое излучение, проходящее сквозь снежную толщу, поглощается и рассеивается снежными кристаллами. При отсутствии слоя глубинной изморози излучение на частоте 3,95 ГГц определяется только излучением земли, так как снег является практически прозрачным в этом диапазоне. При появлении слоя глубинной изморози происходит рассеяние излучения на вертикальных сростках ледяных кристаллов. Это приводит к изменению угловых зависимостей радиояркостной температуры.

Обнаруженное влияние слоя глубинной изморози на угловые зависимости радиояркостной температуры на частоте 3,95 ГГц позволяет вести дистанционный контроль состояния глубинных слоев снежного покрова с целью оценки лавинной опасности в горах.

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

Исполнители со стороны ИКИ РАН:

1. Тихонов В.В. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: vtikhonov@asp.iki.rssi.ru.

2. Боярский Д.А. — стар. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: dboyarski@rambler.ru.

3. Комарова Н.Ю. — гл. спец., тел.: 333-42-56, e-mail: nata.komarova@asp.iki.rssi.ru.

4. Раев М.Д. — зав. лаб., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-43-01, e-mail: mraev@asp.iki.rssi.ru.

5. Пospelов М.Н. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: Michael.Pospelov@iki.rssi.ru.

Публикации

Китаев Л.М., Тихонов В.В., Титкова Т.Б., Боярский Д.А. Снежный покров севера Евразии по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электрон. текст]. С. 98.

Участие в конференциях

Стендовый доклад: *Китаев Л.М., Тихонов В.В., Титкова Т.Б., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю.* Снежный покров севера Евразии по данным многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011.

Участие в проектах

Грант РФФИ, проект № 09-05-01060 совместно с Институтом географии РАН — «Разработка методики определения запасов воды в снежном покрове по данным

многочастотной микроволновой спутниковой радиометрии». Руководитель: ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук Боярский Д.А.

Исполнители со стороны ИКИ:

1. Тихонов В.В. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: vtikhonov@asp.iki.rssi.ru.

2. Боярский Д.А. — стар. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: dboyarski@rambler.ru.

3. Комарова Н.Ю. — гл. спец., тел.: 333-42-56, e-mail: nata.komarova@asp.iki.rssi.ru.

4. Раев М.Д. — зав. лаб., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-43-01, e-mail: mraev@asp.iki.rssi.ru.

5. Поспелов М.Н. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-50-78, e-mail: Michael.Pospelov@iki.rssi.ru.

4.3.10. Поиск ионосферного параметра, оптимально отражающего состояние ионосферы экваториальных и низких широт под воздействием тропических циклонов. Анализ данных наземного ионосферного зондирования и спутникового мониторинга тропического циклогенеза

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

Основные научные результаты этапа работы за 2011 г. были представлены на 9-й открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, Москва, 14–18 ноября 2011.

На основе анализа предыдущих лет по данной теме стало очевидным, что основным недостатком предыдущих исследований является ограниченность отечественных баз данных.

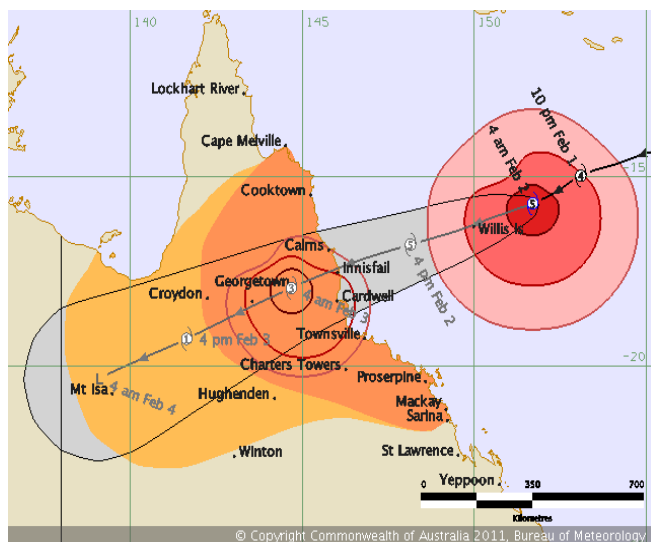


Рис. 1. Трек ТЦ YASI

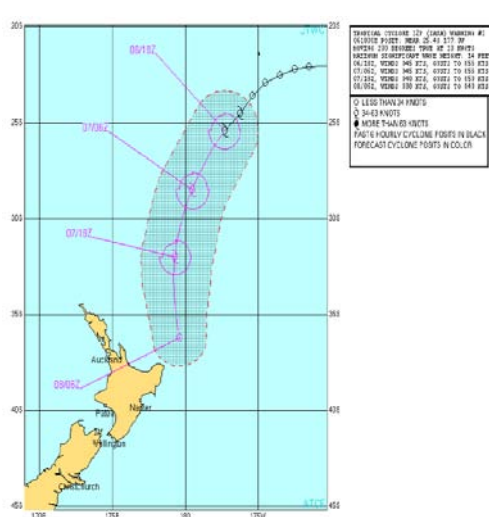


Рис. 2. Трек ТЦ ZAKA

К сожалению, базы данных позволяли рассматривать ионосферные вариации лишь в определенных точках ионосферы. Подобной информации явно не хватает для выводов о возможном воздействии тропических циклонов (ТЦ) на ионосферу. Для полноценных выводов необходима информация об ионосфере достаточно большой области над ТЦ. Авторам пришлось прибегнуть к открытым зарубежным данным, а именно Австралийского

центра прогнозов состояния ионосферы. В данной работе рассмотрены данные с 1 по 9 февраля 2011 г. В этот период функционировали два ТЦ, а именно YASI (4-я стадия) с 30.01.2011 по 04.02.2011 (рис. 1) и ЗАКА (стадия тропического шторма) с 05.02.2011 по 07.02.2011 (рис. 2). После тщательного анализа имеющегося материала было решено использовать ежечасные карты ионосферных отклонений над Австралийским континентом. Отклонения получены в результате вычитания от реального значения ПЭС (полного электронного содержания в столбе с сечением 1 м^2 над данным пунктом) предполагаемого значения ПЭС, полученного с использованием модели, основанной на нескольких климатических параметрах. Было выявлено, что в результате действия ТЦ над Австралией и около, ионосфера изменяется над ТЦ и его окрестностями. На основе ежечасного анализа отклонений полного содержания электронов были сделаны выводы, что характерной особенностью ионосферы является некое увеличение значения ПЭС, а затем, его падение (преимущественно во время действия ТЦ). Причем, эти изменения имеют долговременный характер (до нескольких часов). По данным результатам планируется полноценное представление статей.

Публикации

1. *Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Вариации критической частоты ионосферного слоя F2 по данным томографического зондирования при прохождении тропического циклона // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С. 30–39.
2. *Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о-вом Сахалин в ноябре 2007 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51. № 6. С. 30–37.
3. *Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.* Вариации ионосферного слоя F2 под влиянием тропического циклона по данным радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 85–93.
4. *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А.* Ионосферные вариации над Австралийским континентом в феврале 2011г. во время действия тропического циклона YASI // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электронный текст].
5. *Ванина-Дарт Л.Б.* Северно-южная асимметрия нижней ионосферы // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. [Электронный текст].

Участие в конференциях. Доклады

1. *Ванина-Дарт Л.Б., Шарков Е.А.* Ионосферные вариации над Австралийским континентом в феврале 2011г. во время действия тропического циклона YASI // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011.
2. *Ванина-Дарт Л.Б.* Северно-южная асимметрия нижней ионосферы // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011.

Раздел 4.4. Мониторинг-Океан

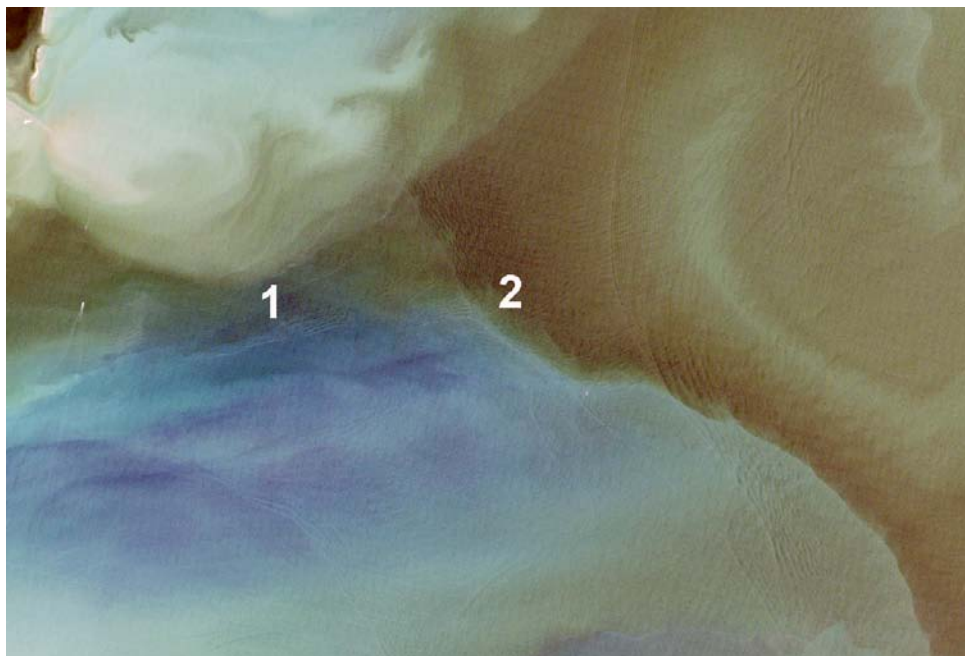
Отв. исп. д-р физ.-мат. наук, проф. Шарков Е.А., отд. № 55

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

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

В 2011 г. продолжены теоретические и экспериментальные исследования динамических и волновых процессов в океане на основе данных спутникового дистанционного зондирования. Традиционно основное внимание уделялось изучению поверхностных проявлений внутренних волн (ВВ) и вихревой динамике в прибрежной зоне.

Мониторинг поверхностных проявлений внутренних волн осуществлялся в Черном, Каспийском и Балтийском морях. Выявлено, что поверхностные проявления внутренних волн мористее дельты Дуная наблюдаются не только в летний и осенний периоды, когда существует ярко выраженный сезонный термоклин, но и в зимний период (в январе и феврале 2011 г.). Это свидетельствует о том, что источником генерации ВВ является интрузия распресненных вод, связанная с выносом Дуная. Генерация ВВ фронтом, связанным с выносом распресненных вод крупными реками, достаточно распространенное явление. На изображении, полученном 4 июня 2010 г. с помощью сенсора Landsat-5 TM хорошо видны многочисленные пакеты ВВ, распространяющиеся в различных направлениях. Это связано как с сильной неоднородностью речного выноса, так и с особенностями топографии дна.

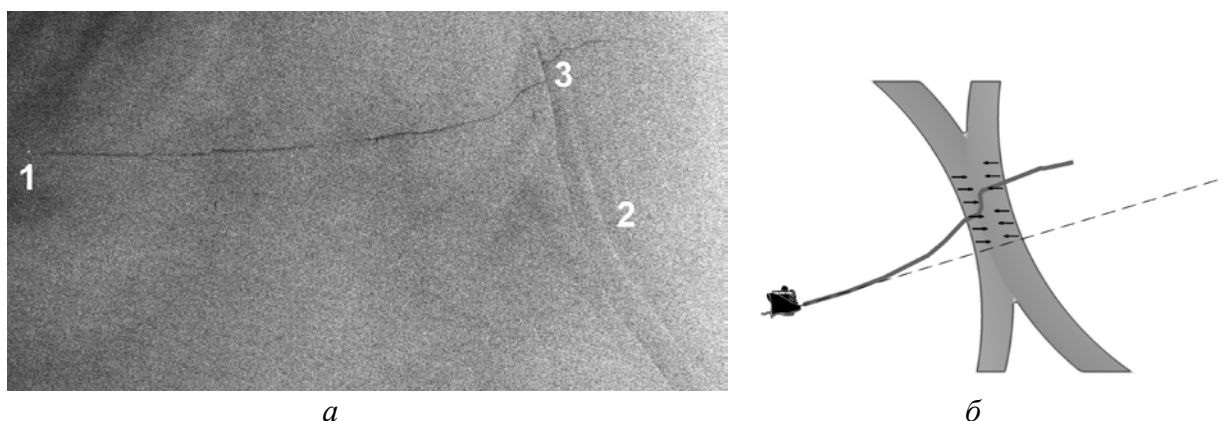


Проявление многочисленных цугов внутренних волн вблизи дельты Дуная. Фрагмент цветосинтезированного изображения TM Landsat-5 (3-й, 2-й, 1-й спектральные каналы), полученного 04.06.2010. Цифрами 1 и 2 отмечены цуги, расположенные на границе переднего фронта распресненных мутных вод Дуная

Бурное развитие дистанционных методов зондирования Земли из космоса в последние годы значительно расширило возможности исследования внутренних волн по их проявлениям на морской поверхности и позволило оценивать такие трудно измеряемые

обычными средствами параметры как пространственная структура волн, их длина и направление распространения. В то же время, в отличие от контактных методов измерений, дистанционные методы не дают возможность оценивать амплитуду внутренних волн, поскольку интенсивность их проявлений на радиолокационных изображениях зависит не только от амплитуды волн, но и от многих других не всегда хорошо контролируемых факторов. Помощь в решении этого вопроса может оказать анализ характера искривления следов за судами, пересекающих цуги внутренних волн.

Проанализирован уникальный случай резкого излома узкой сликовой полосы за движущимся судном, выявленный на радиолокационном изображении ASAR Envisat в западной части Черного моря. Скачок полосы наблюдался вдоль связанного с внутренними солитонами полосы сулоя на протяжении 2,3 км. Подобная необычная и трудно интерпретируемая картина была объяснена как результат сноса сликовой полосы орбитальными течениями сталкивающихся внутренних солитонов. Оценки степени нелинейности этих солитонов и образующих сулои орбитальных скоростей подтверждают высказанную гипотезу происхождения наблюдаемого скачкообразного искривления корабельного следа.

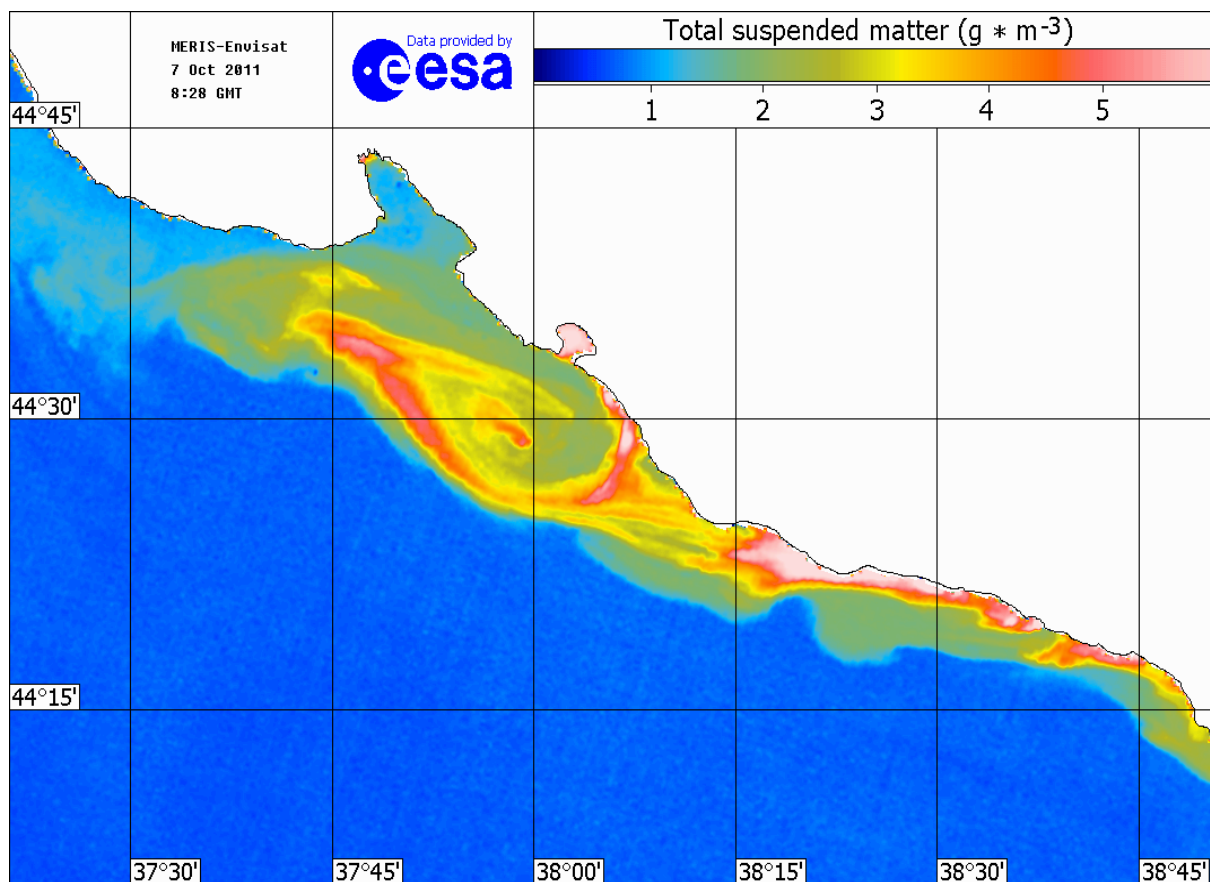


Узкий корабельный след, пересекающий полосы сулоев, соответствующих поверхностным проявлениям внутренних солитонов: *а* — увеличенный фрагмент ASAR Envisat изображения полученного в западной части Черного моря 13.04.2011 в 08:15 UTC с разрешением в точке 75 м; 1 — судно; 2 — полосы сулоев; 3 — резкий излом корабельного следа, вызванный нелинейным взаимодействием внутренних солитонов; *б* — схематичное изображение двух систем солитонов и влияния их столкновения на корабельный след

Экспериментальные работы проводились на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова в сентябре-октябре 2011 г. синхронно с радиолокационной съемкой района эксперимента со спутников Envisat, RADARSAT-2 и TerraSAR-X и оптической съемкой с помощью MERIS Envisat и MODIS Terra/Aqua. Подспутниковые измерения проводились в период с 28 сентября по 14 октября на акватории шельфа Черного моря вблизи Геленджика в пределах границ от траверза Голубой бухты до мыса Толстого. Делались разрезы на яхте, оснащенной ADCP Rio Grande 600 kHz от прибрежной зоны до начала свала глубин. Также проводились замеры вертикальных распределений температуры и скорости звука минизондом и непрерывные измерения автономной гирляндой термисторов, установленной на шельфе в точке с глубиной 35 м. Во время проведения экспериментальных работ удалось пронаблюдать формирование и перемещение прибрежного антициклонического вихря диаметром 20 км и субмезомасштабных вихрей диаметрами 5...7 км и измерены инициированные им течения в шельфовой зоне. Проведено наблюдение необычного интенсивного подповерхностного течения (до 1 м/с), сгенерированного сильным шквалом, прошедшим над шельфовой зоной 12 октября. Измерения течений с помощью ADCP выявили наличие наблюдаемых на

спутниковых изображениях вихревых структур и позволили проследить их влияние на всю толщу воды.

После прошедших в период экспедиционных работ ливневых дождей и последовавших за ними выносами мутных вод реками, вихревые структуры наиболее отчетливо проявились на картах «взвешенного вещества».



Проявление вихревых структур на карте пространственного распределения взвешенного вещества, построенной на основе данных MERIS Envisat Д.М. Соловьевым (МГИ). Размеры вихря: диаметр большой оси — 35 км, малой — 16 км

Публикации

1. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Сабинин К.Д. Исследование особенностей генерации и распространения внутренних волн в бесприливных морях по данным спутниковой радиолокации // Доклады Академии Наук. 2011. Т. 436. № 3. С. 407–411.
2. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Спутниковые наблюдения поверхностных проявлений внутренних волн в Каспийском море // Исследование Земли из космоса. 2011. № 2. С. 40–48.
3. Сабинин К.Д., Лаврова О.Ю. Влияние взаимодействия внутренних солитонов на поверхностные проявления корабельного следа // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 256–262.
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Серебряный А.Н. Предварительные результаты подспутниковых экспериментов в северо-восточной части Черного моря (сентябрь–октябрь 2011 года) // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. 2011. С. 274.

Исполнители

1. Лаврова О.Ю. — зав. лаб., канд. физ.-мат. наук, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru.
2. Митягина М.И. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, e-mail: mityag@iki.rssi.ru.
3. Сабинин К.Д. — д-р физ.-мат. наук, e-mail: ksabinin@yandex.ru.
3. Серебряный А.Н. — д-р физ.-мат. наук, e-mail: serebryany@hotmail.com.
5. Строчков А.Я. — канд. биол. наук, e-mail: astroch@mail.ru.

Статистический анализ субмезомасштабных вихрей Балтийского, Черного и Каспийского морей по данным спутниковой радиолокации

Проведено исследование субмезомасштабных вихревых структур, обнаруженных на радиолокационных изображениях (РЛИ) Envisat ASAR и ERS-2 SAR в Балтийском, Черном и Каспийском морях в 2009–2010 гг. На основе анализа более 2000 РЛИ были выявлены следующие закономерности.

В целом вихревые структуры были обнаружены на 39% проанализированных изображений. В теплое время года эта доля была увеличена, в холодное — уменьшена. Эта же закономерность касается и среднего количества вихрей на одном изображении.

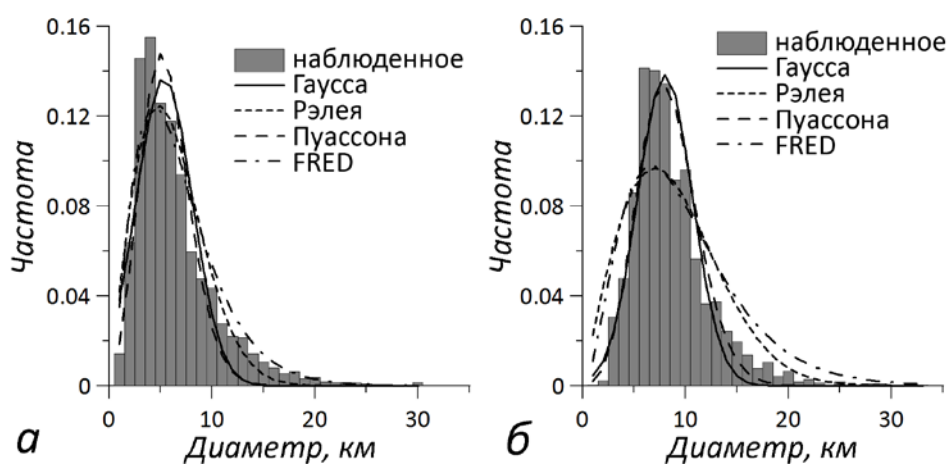
Наиболее часто вихревые структуры были проявлены на РЛИ благодаря сликовому механизму («черные» вихри) — 71 % всех случаев; оставшиеся 29 % приходятся на сдвигово-волновое взаимодействие («белые» вихри). В Балтийском море некоторый (незначительный) вклад вносят также ледовые трассеры.

В соотношении указанных механизмов между собой был выявлен сезонный ход. Так, «черные» вихри наблюдаются преимущественно в теплую часть года, а «белые» в значительном количестве были детектированы также в осенне-зимнее время.

98 % из примерно 14 000 обнаруженных вихревых структур обладали циклоническим вращением.

Для среднего числа вихрей на одном проанализированном изображении для трех исследуемых морей были получены сходные значения, что свидетельствует о сравнимой субмезомасштабной вихревой активности в этих бассейнах.

Для примерно 8500 вихрей был определен их пространственный масштаб. Диаметр обнаруженных вихрей варьировал в пределах от 1 до 75 км, в то время как 99 % вихрей имели диаметр в пределах 1...20 км.



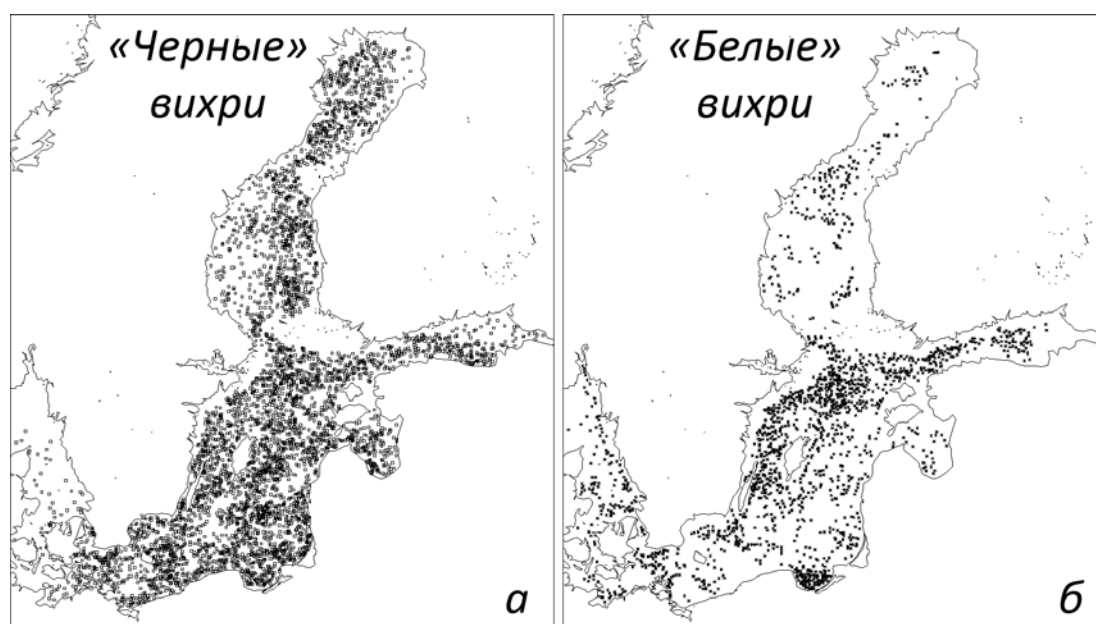
Относительные частотные гистограммы значений диаметра «черных» (а) и «белых» (б) вихрей, аппроксимированные некоторыми аналитическими распределениями

Выявленный характеристический размер для «черных» вихрей во всех морях оказался меньшим, чем соответствующий размер для «белых» вихрей. Характеристический

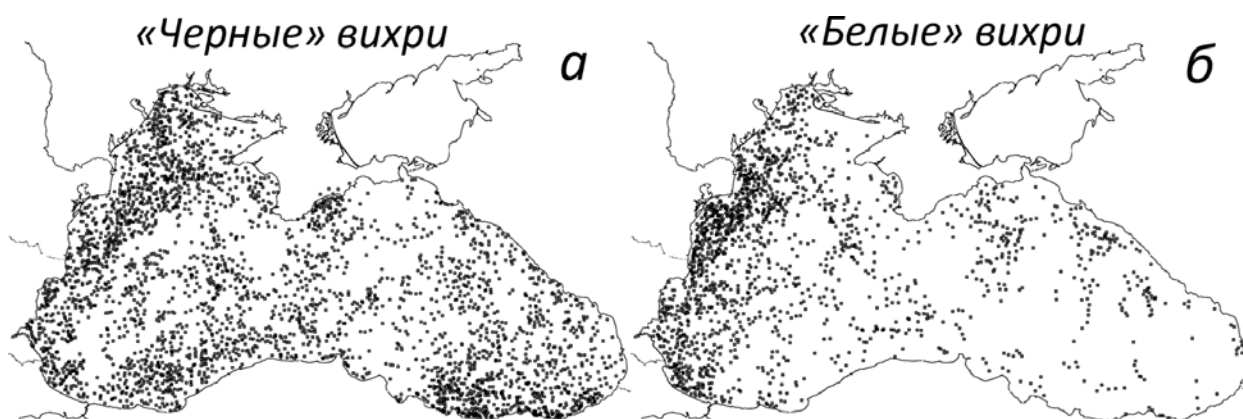
размер вихрей для каждого из бассейнов продемонстрировал пропорциональность значению бароклинного радиуса деформации Россби, характерному для этого бассейна.

Подбор аналитической модели распределения диаметров вихрей показал, что наилучшим образом полученные частотные гистограммы аппроксимируются распределением Пуассона. Это позволяет заключить, что образование субмезомасштабных вихревых структур обладает свойствами, известными из теории пуассоновских потоков: диаметр конкретного вихря не зависит ни от количества существующих структурных элементов, ни от их предыстории, ни от состояния порождающих их системы.

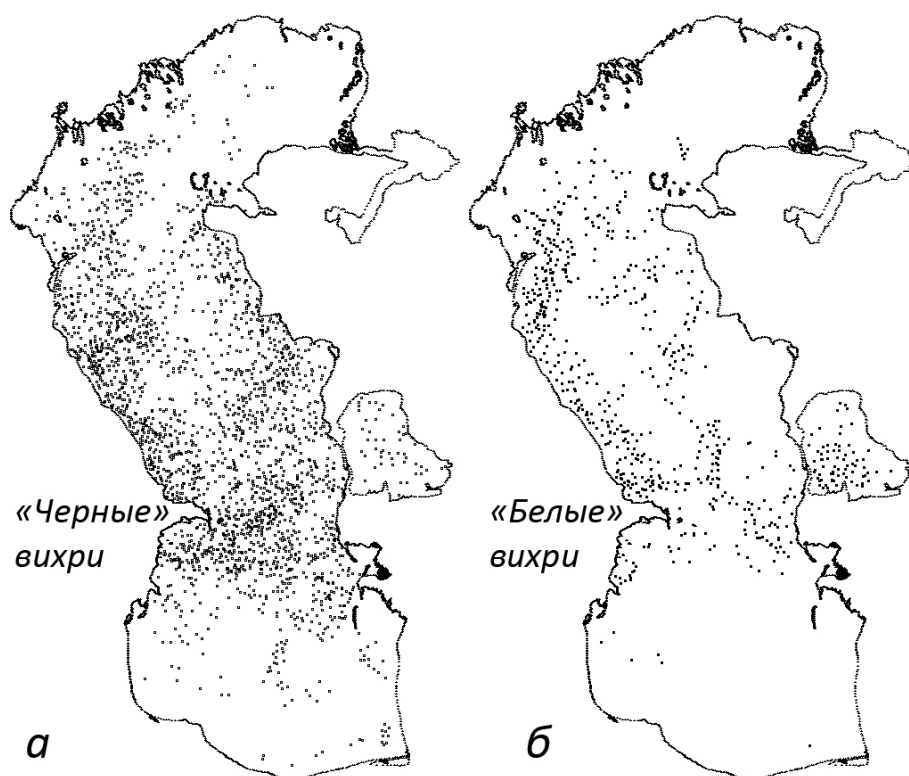
Анализ пространственного распределения вихревых структур выявил, что встречаемость «черных» вихрей практически не зависит от крупно- и мезомасштабной циркуляции бассейнов и определяется наличием на морской поверхности трассеров — поверхностных пленок — и благоприятными для наблюдений ветровыми условиями. «Белые» вихри наблюдаются преимущественно в районах с наибольшими скоростями дрейфовых течений, т. е. у западных берегов и в узких и вытянутых участках акваторий (последнее только для Балтийского моря).



Пространственное распределение «черных» (а) и «белых» (б) вихрей в Балтийском море



Пространственное распределение «черных» (а) и «белых» (б) вихрей в Черном море



Пространственное распределение «черных» (а) и «белых» (б) вихрей в Каспийском море

Публикации

1. Каримова С.С. Исследование нестационарных вихревых структур Черного моря по спутниковым данным // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: Материалы Международной научно-практической конференции. Майкоп: Изд-во «Магарин О.Г.», 2011. С. 107–116.
2. Karimova S.S. Satellite observations of eddies in coastal zones // Proceedings of the Tenth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 2011). 25–29 October 2011. Rhodes, Greece. Dalyan, Mugla, Turkey, 2011. V. 2. P. 965–976.
3. Karimova S.S. Spiral eddies in the Baltic, Black and Caspian seas as seen by satellite radar data // Advances in Space Research. 2011 (in press).
4. Каримова С.С. Статистический анализ субмезомасштабных вихрей Балтийского, Черного и Каспийского морей по данным спутниковой радиолокации // Исследование Земли из космоса. 2012. № 2 (в печати).

Исполнители

Каримова С.С. — e-mail: feba@list.ru.

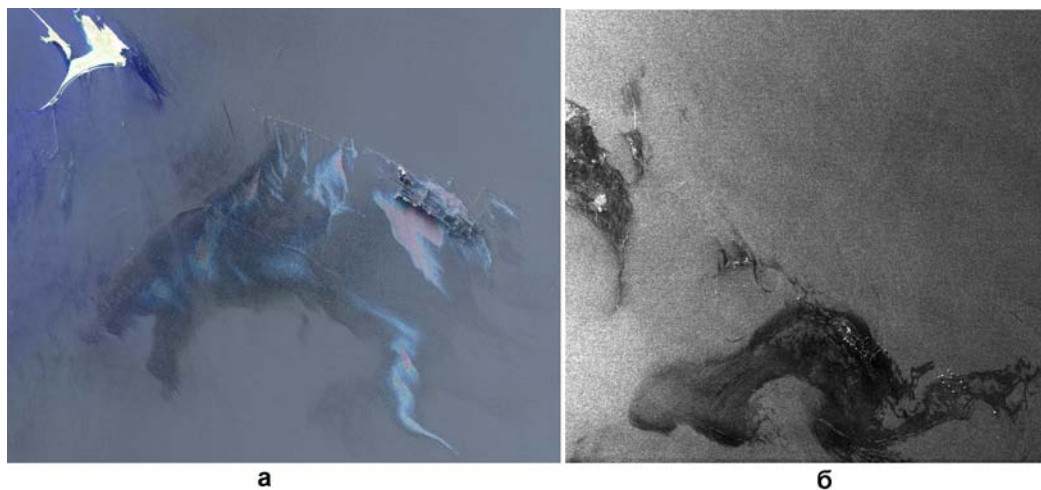
4.4.2. Выявление пленочных загрязнений морской поверхности на основе данных спутникового зондирования

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

Экспериментальную основу исследования составили радиолокационные изображения (РЛИ) морской поверхности, полученные при помощи радиолокаторов с синтезированной апертурой ИСЗ Envisat и ERS-2. Кроме того, для интерпретации РЛИ

привлекались данные сенсоров MODIS ИСЗ Aqua/Terra, MERIS ИСЗ Envisat и AVHRR ИСЗ NOAA оптического и инфракрасного диапазонов, несущие информацию о полях температуры морской поверхности и мезомасштабной динамике вод, и данные сканирующего радиометра ETM+ ИСЗ Landsat 7. Всего за год было получено и обработано более 1100 спутниковых изображений морской поверхности районов интереса (Каспийское, Балтийское и Черное моря). Большой объем экспериментального материала обеспечил статистическую обоснованность результатов исследований.

I. Проанализированы и описаны типичные ситуации, возникающие при наблюдении спутниковыми радиолокаторами с синтезированной апертурой областей морской поверхности, покрытых поверхностными, в том числе нефтяными, пленками — так называемых пленочных сликов. Наличие поверхностной пленки приводит к понижению интенсивности волно-ветрового взаимодействия и к затуханию резонансной гравитационно-капиллярной компоненты поверхностного волнения. В этом случае на поверхности океана образуются выглаженные области, которые проявляются на радиолокационном изображении как области пониженного рассеяния, которые могут служить индикаторами загрязнения поверхности.

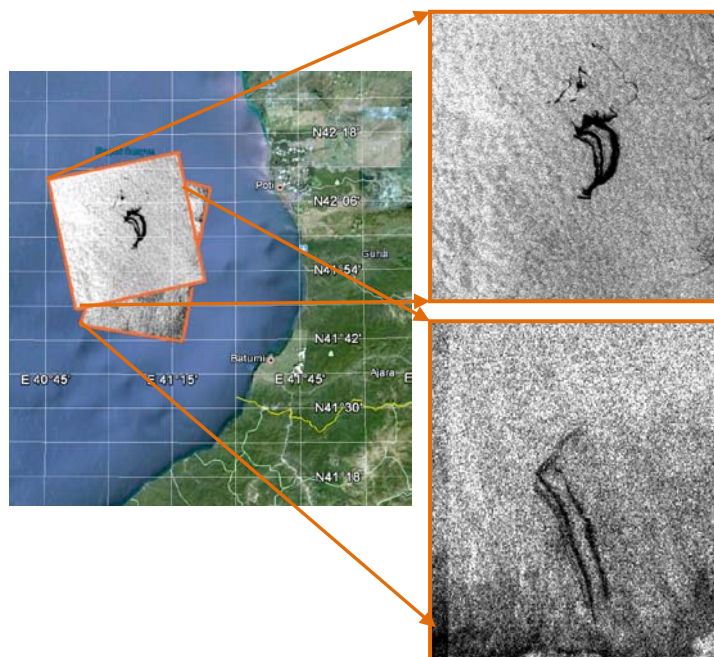


Загрязнения акватории Каспийского моря в районе нефтепромысла «Нефтяные Камни», проявляющиеся на спутниковых изображениях различных диапазонов: а — фрагмент ТМ Landsat 5 изображения, полученного в зоне солнечного блика; композит 7-го, 4-го и 2-го спектральных каналов; разрешение 30 м; площадь загрязнения [280](#) км²; б — фрагмент РЛИ ASAR Envisat WSM HH; разрешение в точке 75 м; площадь загрязнения 800 км² (© ESA)

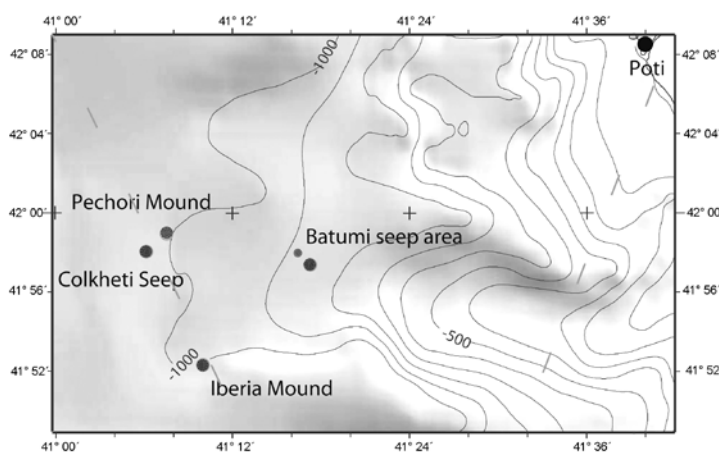
Основной задачей, возникающей при проведении мониторинга антропогенных загрязнений, особенно при выявлении несанкционированных сбросов с судов вод, содержащих нефтепродукты (промывочные, балластные, а также льяльные воды из помещений грузовых насосов), является задача дискриминации радиолокационных образов поверхностных пленок различного происхождения и, в частности, дискриминации поверхностных пленок антропогенного и естественного (биогенного и минерального) происхождения. Установлено, что для более уверенной дискриминации этих двух видов пленочных загрязнений морской поверхности и повышения достоверности интерпретации спутниковой информации необходимо привлечение данных спутниковых сенсоров оптического диапазона высокого разрешения. Оптимальным является использование оптических изображений, полученных в зоне солнечного блика с разрешением в точке лучше, чем 30 м. В данных оптического диапазона нефтесодержащие слики и слики, обусловленные биогенными пленками проявляются различным образом, поскольку различные типы пленок, присутствующие на морской поверхности по-разному изменяют ее отражательные свойства. На цветосинтезированных изображениях (композиция 3-го, 2-го и 1-го спектральных каналов) ТМ Landsat 5 и ETM+ Landsat 7 нефтесодержащие слики

имеют большую яркость по сравнению с биогенными пленками и проявляются как светлые образования.

II. Выявлено, что для акватории Черного моря задача дискриминации пленочных загрязнений морской поверхности существенно осложняется не только присутствием интенсивного цветения фитопланктона, отличающегося сложной пространственно-временной изменчивостью, но и наличием активного грязевого вулканизма и естественных выходов углеводородов (метановые сипы), которые обнаруживаются в Черном море практически повсеместно.



Примеры проявлений сликовых структур, в районе метановых сипов над акваторией грузинского континентального склона

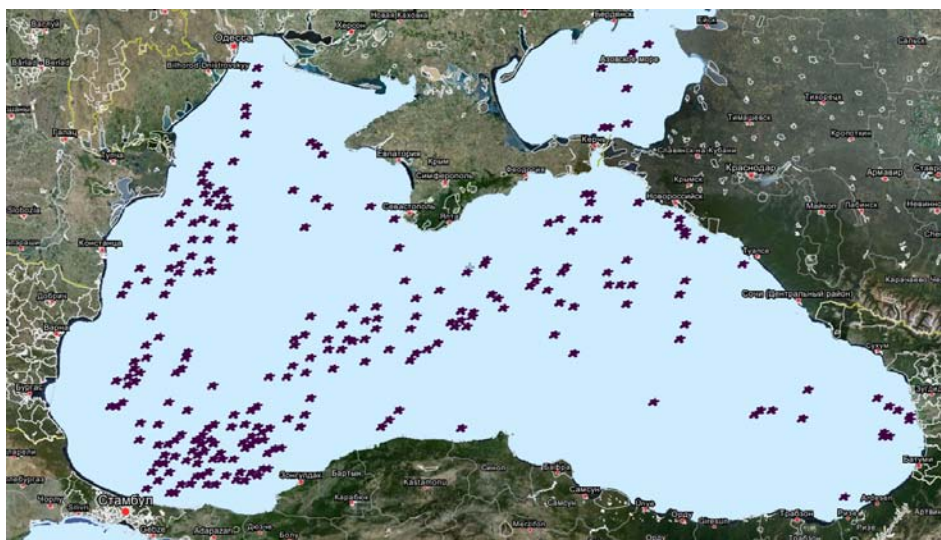


Батиметрическая карта морского дна в грузинском секторе Черного моря с нанесенными на нее исследованными метановыми сипами (Sources of fluids and gases expelled at cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2011, V. 75 P. 3250–3268)

Выдвинута гипотеза, о том, что географическое распределение определенного типа сликовых структур соответствует географическому распределению мест локализации естественных проявлений углеводородов в Черном море. Понятие естественных проявлений углеводородов в данном случае включает в себя грязевый вулканизм, естественные газо- и нефтепроявления, газогидраты.

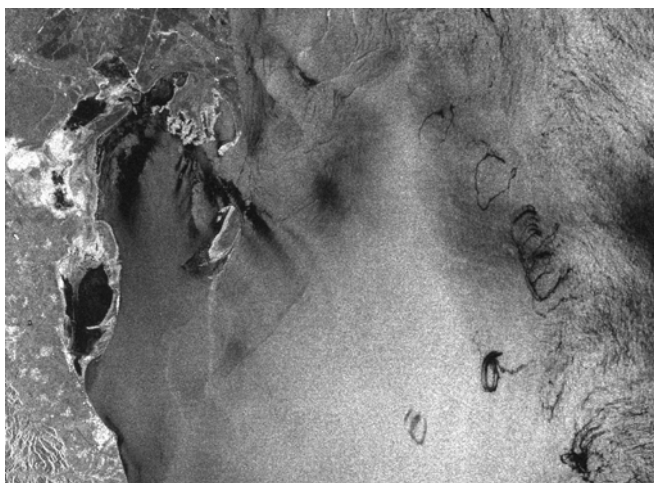
Проанализированы все радиолокационные изображения акватории Черного моря в районе грузинского шельфа и континентального склона, полученные в 2009–2011 гг. На 54-х изображениях из 83-х идентифицированы сликовые структуры, локализованные в данном районе. Для решения вопроса о принадлежности детектированных в этом районе пленочных загрязнений морской поверхности к нефтесодержащим или биогенным пленкам проведен совместный анализ радиолокационных данных ASAR Envisat и данных оптического диапазона сенсоров TM Landsat 5 и ETM+ Landsat 7. Места локализации сликов, выявленных на спутниковых изображениях сопоставлены с местами локализации метановых сипов. Сделано заключение, что сликовые структуры соответствуют выделениям углеводородов из двух близко расположенных метановых сипов, а именно, сипа «Колхети» (Colkhети Seep) и купола Печори (Pechoru Mound) на морском дне.

III. На основе дешифрирования данных спутниковой радиолокации за предыдущий год составлена обобщенная карта-схема нефтяных загрязнений всей акватории Черного моря. Сбросы с судов вод, загрязненных нефтепродуктами, концентрируются вдоль основных судоходных трасс Стамбул – Новороссийск, Стамбул – Одесса и Стамбул – Туапсе. Кроме того, большое количество сбросов происходит вблизи крупных портов Болгарии, Турции, Румынии и Украины, а также там, где функционируют нефтеналивные терминалы. В российской части Черного моря по-прежнему наибольшему загрязнению подвергается акватория в районе порта Новороссийск и черноморское предпроливье Керченского пролива.



Обобщенная карта-схема нефтяных загрязнений поверхности Черного моря в 2010 г., составленная на основе дешифрирования спутниковых данных

IV. Проанализированные радиолокационные данные полученные над акваторией южной части Каспийского моря в 2009–2011 гг. и содержащие поверхностные проявления грязевого вулканизма (так называемые естественные грифоны). Рассмотрена зависимость частоты проявляемости грифонов в радиолокационных данных от количества и магнитуд землетрясений в Южном Каспии и прилегающих к нему районах. Выявлена достаточно высокая корреляция между проявлениями грифонов на спутниковых изображениях и землетрясениями магнитудой 3...4. На рисунке приведены примеры проявления грифонов на РЛИ ASAR Envisat и цветосинтезированном изображении (каналы 3-й, 2-й, 1-й) ETM+ Landsat 7 от 28 мая 2011 г. По сообщению Азербайджанского Республиканского центра сейсмологической службы, 27 мая 2011 г. в 04:55 на дне Каспия в 166 километрах от Баку было зарегистрировано землетрясение, магнитуда подземных толчков которого составила 3,90; глубина — 45 км.



Проявление грифонов в Южном Каспии на спутниковых изображениях: слева — фрагмент ASAR Envisat-изображения, полученного на НН-поляризации 25.05.2011 в 06:59 UTC с разрешением в точке 75 м; справа — фрагмент цветосинтезированного изображения (каналы 3-й, 2-й, 1-й) ETM+ Landsat 7, полученного 28.05.11 в 07:13 UTC с разрешением 30 м

V. Обобщены теоретические основы и имеющийся многолетний опыт проведения комплексного спутникового мониторинга экологического состояния морей России. По результатам исследований издана монография «Комплексный спутниковый мониторинг морей России» (М.: ИКИ РАН, 2011), написанная в соавторстве с нашими коллегами из Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.



В основу монографии положены результаты спутникового мониторинга Балтийского, Черного, Азовского и Каспийского морей, проведенного коллективами сотрудников Института космических исследований Российской академии наук (Москва), Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Москва) и Геофизического центра Российской академии наук (Москва) в сотрудничестве с Морским гидрофизическим институтом Национальной академии наук Украины (Севастополь) в 2004–2011 гг. Особое внимание уделено результатам оперативного мониторинга нефтяного загрязнения в районе Кравцовского нефтяного месторождения в юго-восточной части Балтийского моря (2004–2005) и постоянного многосенсорного спутникового мониторинга Черного, Азовского, Каспийского и Балтийского морей (2006–2011). Рассмотрены

некоторые аспекты регионального изменения климата южных морей России и особенности мезомасштабной и мелкомасштабной динамики их вод. Описан опыт оперативного многосенсорного мониторинга нефтяных катастроф в Керченском проливе (2007) и в Мексиканском заливе (2010). Даны рекомендации по организации комплексного спутникового мониторинга морей России.

Исполнители

1. Митягина М.И. — ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-21-78, e-mail: mityag@iki.rssi.ru.
2. Лаврова О.Ю. — зав. лаб., канд. физ.-мат. наук, тел.: 333-42-56, e-mail: olavrova@iki.rssi.ru.

Публикации

1. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 472 с.
2. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. Дистанционное зондирование океанов и морей // Земля и Вселенная. 2011. № 5. С. 33–44.
3. Mityagina M., Lavrova O. Multi-sensor Satellite Monitoring of the Black Sea Surface Pollution. Six Years of Experience // 3rd Bi-annual BS Scientific Conference Black Sea Outlook. 1–4 Nov. 2011. Odessa, Ukraine. Book of abstracts. P. 56.

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

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

Продолжены исследования направленные на совершенствование дистанционных методов мониторинга морской поверхности и повышения точности измерения параметров волнения и приповерхностных течений.

Определение скорости и направления одна из важнейших задач, которую можно решить с помощью некогерентных навигационных радиолокаторов. Для ее решения традиционно используют алгоритм, основанный на спектральной обработке радиолокационных данных, полученных в режиме кругового обзора с последующей трехмерной фильтрацией — в формате время — направление — дальность. Однако достигаемая при этом точность зависит от качества исходных данных. Радиолокационные изображения, полученные штатными навигационными радиолокаторами, имеющими горизонтальную поляризацию, имеют низкое отношение сигнал — шум из-за дискретного характера отражений и малого времени накопления — при круговом обзоре. Особенно этот недостаток проявляется при слабом волнении.

Предлагается вариант определения поверхностных течений по диаграммам в формате время — дальность (RT) данных, полученные при фиксированных направлениях радиолокатора, с последующей фильтрацией волновых компонент и определения компонент скорости течения по дисперсионному соотношению для поверхностных волн.

В этом варианте предлагается использовать двухступенчатый метод измерений.

Первый шаг — измерение в режиме кругового вращения на вертикальной поляризации для предварительной оценки вектора скорости течений, второй — измерения в режиме дискретного сканирования с достаточным временем накопления (минуты).

Однако и в этом случае использование штатной горизонтальной поляризации при слабом волнении приводит к «размыванию» дисперсионных кривых и снижению точности определения параметров течений (рис. 1). Использование зондирующих сигналов с вертикальной поляризацией в сочетании с увеличением времени накопления приводит к существенному повышению точности определения компонент поверхностного течения. Дисперсионные кривые, полученные в результате таких измерений, показаны на рис. 2. Здесь ω — круговая частота; k — волновое число. Как видно из графиков, большинство спектральных компонент на ω - k -диаграмме группируются вдоль кривых $\omega = \sqrt{gk}$ (кривая 1) и $\omega = \sqrt{2gk}$ (кривая 2), соответствующих ω - k -компонентам первой и второй связанных гармоник нелинейных гравитационных волн. Выше кривой 1 на ω - k -диаграмме расположены точки, для которых дисперсионная зависимость хорошо аппроксимируется прямой $\omega = \frac{1}{2}V_{\phi}k$ (V_{ϕ} — фазовая скорость), наклон которой равен групповой скорости

$$V_{гр} = \frac{1}{2}V_{\phi}.$$

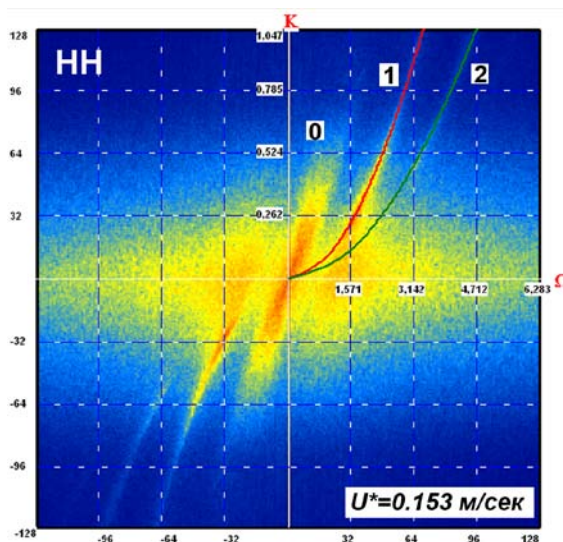


Рис. 1

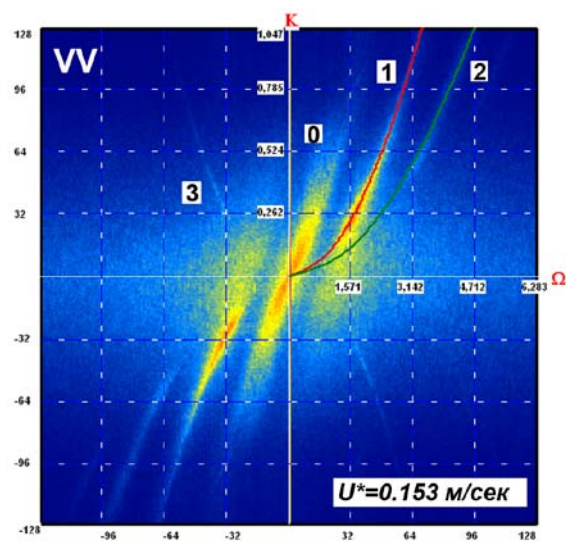


Рис. 2

Таким образом, использование режима радиолокатора с фиксированным положением антенны в сочетании с работой на вертикальной поляризации, построение RT-диаграмм и их анализ с помощью двумерного преобразования Фурье, позволяет с большей точностью определять вектор скорости приповерхностных течений.

Данный метод радиолокационных наблюдений параметров морского волнения применим и при исследовании волновых процессов в прибрежной зоне, в том числе и сравнительно быстро изменяющихся во времени. В качестве примера на рис. 2 приведены дисперсионные кривые развитого волнения. Кроме кривых соответствующих первой и второй гармонике наблюдается кривая 3 соответствующая, редко наблюдаемой неустойчивой встречной волне.

Применение указанного варианта модернизации для штатной навигационной РЛС в сочетании с нестандартным режимом работы — измерения при фиксированных

направлениях — позволило развить и дополнить метод определения параметров поверхностных течений.

Публикации

Раев М.Д., Скворцов Е.И. Исследование волновых процессов на морской поверхности с помощью радиолокатора высокого разрешения // 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН. 14–18 ноября 2011: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2011. [Электронный текст].

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

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

1. Для исследования механизмов изменения биофизических характеристик поверхностного слоя воды при воздействии на него потока всплывающих газовых пузырей, были проведены отладочные испытания модернизированной установки, предназначенной для измерения коэффициента поверхностного натяжения (КПН) методом капиллярной ряби. В ходе испытаний была достигнута точность измерений КПН не хуже 0,3...0,4 % в диапазоне измеряемых величин 45...75 мН/м. С помощью данной установки проведен цикл измерений КПН при насыщении поверхностного слоя воды микроводорослями фитопланктона, выносимых потоком всплывающих газовых пузырьков диаметром 0,1...1 мм. В процессе экспериментов объемная концентрация биомассы фитопланктона в сосуде изменялась от 0,4 до 2,5 мг/л. В частности было установлено, что при одинаковых концентрациях биомассы, но разных видовых составах фитопланктона, значения КПН могут отличаться на 8...10 %.

2. Проведены измерения характеристик собственного излучения водной поверхности в диапазоне 1,5 см при объемной концентрации биомассы 0,5...2,5 мг/л и скоростях приповерхностного воздушного потока 0...5 м/с.

3. Выполнены измерения КПН проб воды, взятых с борта научно-исследовательского судна, с одновременным измерением концентрации биомассы планктона в поверхностном слое моря в условиях осеннего цветения микроводорослей.

Данные, полученные в результате выполненных экспериментов, будут использованы при разработке методик и алгоритмов обнаружения аэрокосмическими методами поверхностных образований, формируемых морскими микроорганизмами, и выделения этого типа пленок среди других пленок искусственного и природного происхождения.

Публикации

Скворцов Е.И., Раев М.Д., Силкин В.А. Скопление фитопланктона в прибрежных водах. Моделирование и дистанционные наблюдения // 2-я Международная научно-практическая конференция «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления». Туапсе, 4–8 октября 2011: Сб. науч. ст. С. 413.

4.3.9. Разработка метода восстановления детального профиля водяного пара по микроволновым измерениям спутниковых систем нового поколения для формирования новых моделей генезиса атмосферных катастроф в насыщенной сжимаемой атмосфере

Отв. исп. канд. физ.-мат. наук Хапин Ю.Б., канд. физ.-мат. наук Кузьмин А.В. отд. 55

Предсказание предкризисных и кризисных ситуаций в земной атмосфере, изучение физических условий генезиса и эволюции тропических циклонов ставит на повестку дня требования к принципиально новым методам дистанционного зондирования. В первую очередь, это относится к дистанционному определению пространственно-временных характеристик детального высотного профиля содержания водяного пара и температуры внутри облачных систем (конвективного и неконвективного характера) на значительных пространственных океанических акваториях. Существующие методики обработки ИК данных (например, в режиме «расщепленные» окна Uspensky, Scherbina, 1996) не позволяют достичь необходимой точности восстановления профиля водяного пара. Подобные исследования принципиально возможно выполнить только при помощи пассивных микроволновых дистанционных космических систем нового поколения.

В проведенной в 2011 г. работе изучалась возможность восстановления детальных профилей водяного пара в тропической атмосфере по данным спутниковых измерений радиотеплового микроволнового излучения. В прямой задаче проанализирована возможность восстановления профиля водяного пара на 8–10 высотных уровнях до высоты 10 км с использованием измерений в окрестностях резонансной линии поглощения 183 ГГц. Решение этой задачи, несомненно, будет принципиально важным шагом в изучении физических условий генезиса и эволюции тропических циклонов.

Была исследована потенциальная возможность восстановления профиля водяного пара по спутниковым радиометрическим данным в атмосфере тропических широт. По имеющимся у авторов данным в зонах крупномасштабных тропосферных возмущений содержание водяного пара в атмосфере может составлять до 70 кг/м^2 , характеристическая высота распределения пара превышает 2,7 км. Возможность восстановления профиля водяного пара проверялась численными модельными расчетами для системы атмосфера–океан. Для оценки возможности восстановления детального профиля атмосферного водяного пара по данным спутниковых измерений в линии резонанса 183 ГГц проведен расчет нормированных весовых функций для восходящего излучения водяного пара. Для каждой из частот определяется слой с максимальным значением радиояркостной температуры $\Delta T_{b \max}$, значение весовой функции для каждого слоя определялось $K(h_i) = \Delta T_{bi} / \Delta T_{b \max}$.

Модельные расчеты интегрального поглощения электромагнитного излучения в атмосфере, спектры радиояркостных температур атмосферы, спектры радиояркостных температур системы атмосфера — океан и вклад различных составляющих излучения радиояркостную температуру системы атмосфера–океан проводились в диапазоне 5–250 ГГц.

Как следует из расчетов, основной вклад в яркостную температуру системы атмосфера — поверхность в окрестности линии резонанса водяного пара 183 ГГц дает восходящее излучение атмосферы, вклад излучения поверхности и нисходящего излучения атмосферы, отраженного поверхностью незначителен. Вклад излучения поверхности и нисходящего излучения атмосферы в яркостную температуру системы атмосфера–океан проявляются на малых частотах и окнах прозрачности атмосферы. Изменения радиояркостной температуры системы атмосфера — океан в зависимости от влажности существенно выше для горизонтально поляризованного излучения, чем для вертикально–поляризованного. Вместе с тем мешающее влияние поверхности для горизонтально

поляризованного излучения ниже. Это в первую очередь связано с малой излучательной способностью (большим коэффициентом отражения) поверхности океана.

Возможность восстановления детального профиля влажности по 8...10 уровням на высотах от 0 до 10 км в тропической атмосфере исследовалась для интегральной влажности 4,14...6,93 г/см² (стандартная атмосфера — атмосфера с максимальной влажностью). Для расчетов было выбрано среднее значение влажности для этих двух атмосфер: поверхностная влажность — 22,7 г/м³; интегральное содержание водяного пара — 5,53 г/см². Пример результатов расчета весовых функций для радиотеплового излучения атмосферного водяного пара приведены на рис. 1, 2.

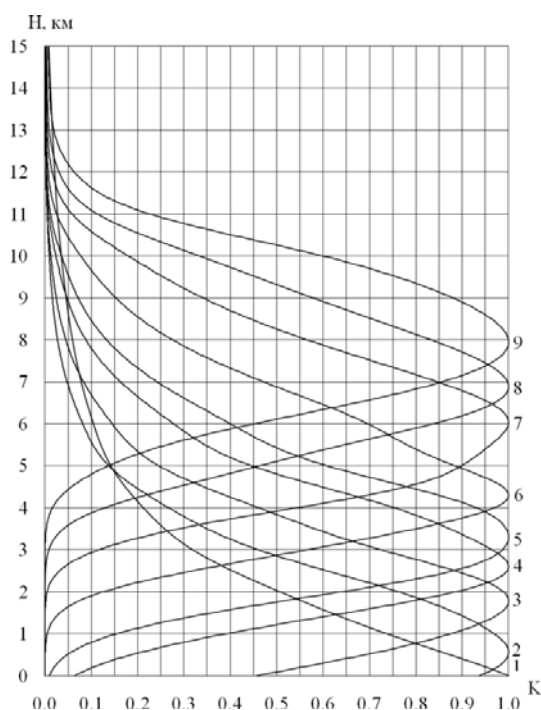


Рис. 1. Весовые функции для восходящего излучения атмосферы, угол визирования 50,19°. Средние широты. Температура воздуха — 294 К, влажность — 14,0 г/м³, давление — 1013 мб, интегральная влажность — 2,94 г/см²

Кривая	Частота, ГГц	Максимум, км
1	85,00	0,00
2	147,00	0,55
3	168,00	1,80
4	174,80	2,60
5	176,80	3,30
6	179,30	4,30
7	180,85	6,00
8	181,80	6,90
9	182,50	7,95

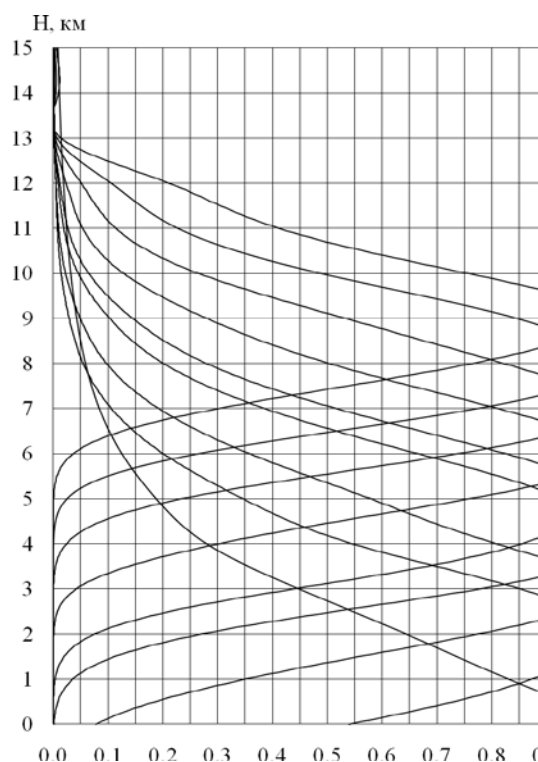


Рис. 2. Весовые функции для восходящего излучения атмосферы, угол визирования 50,19°. Тропики, стандартная атмосфера. Температура воздуха — 300 К, влажность — 22,7 г/м³, давление — 1013 мб, интегральная влажность — 5,53 г/см²

Кривая	Частота, ГГц	Максимум, км
1	85,00	0,00
2	147,00	2,00
3	168,00	3,00
4	174,80	4,00
5	176,80	5,00
6	179,30	6,00
7	180,85	7,00
8	181,80	8,00
9	182,50	9,00

Расчет весовых функций показал, что проведение измерений в диапазоне 85...183 ГГц возможно восстановление профиля влажности по девяти уровням на высотах 0...10 км. Вместе с тем увеличение влажности приводит к смещению максимумов весовых функций в область больших высот, это смещение может достигать 0,95 км для частоты 147 ГГц. При уменьшении влажности атмосферы максимумы весовых функций смещаются

на меньшие высоты, смещение здесь может составлять 1,85 км на частоте 176,8 ГГц. Разнесение спектральных каналов в линии 183 ГГц не менее 700 МГц, что позволяет использовать ширину полос приема порядка 500 МГц.

Таким образом, восстановление профиля влажности на 8...10 уровнях потребует как разработки методов решения таких задач, так и разработки сканирующего многоканального радиометра с использованием измерений в 8...10 каналах в окрестности линии 183 ГГц, одного канала 22,23 ГГц, двухполяризационных радиометров на частотах 19; 37; 85...90 ГГц для учёта влияния взволнованной морской поверхности и вычисления водозапаса облаков и интенсивности осадков. Чувствительность на элемент разрешения может быть ориентировочно 0,1...0,5 К по мере увеличения частоты.

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

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

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

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

На основе полученного решения проведены расчеты коэффициента поглощения, излучения и радиояркостной температуры морской поверхности от различных параметров. Проанализированы резонансные особенности в коэффициентах излучения и поглощения. Показано, что максимальные эффекты связаны, с вертикальной поляризацией излучения. Проведено сравнение полученных результатов с лабораторными экспериментами. На рис. 1 приведена зависимость интенсивности поглощения волны 0-го порядка от угла падения. На графике можно увидеть угловую зависимость минимумов интенсивности для разных значений периода водной поверхности согласно кинематической формуле

$$\sin\theta = \pm 1 - \frac{n\Lambda}{k_0}.$$

На рис. 1 хорошо видна тонкая резонансная структура локальных экстремумов. В частности для волны с периодом 17 мм (ярко синий цвет) видны минимумы от 1-го до 3-го порядка включительно на углах 31; 3 и 24° — с точным соответствием формуле.

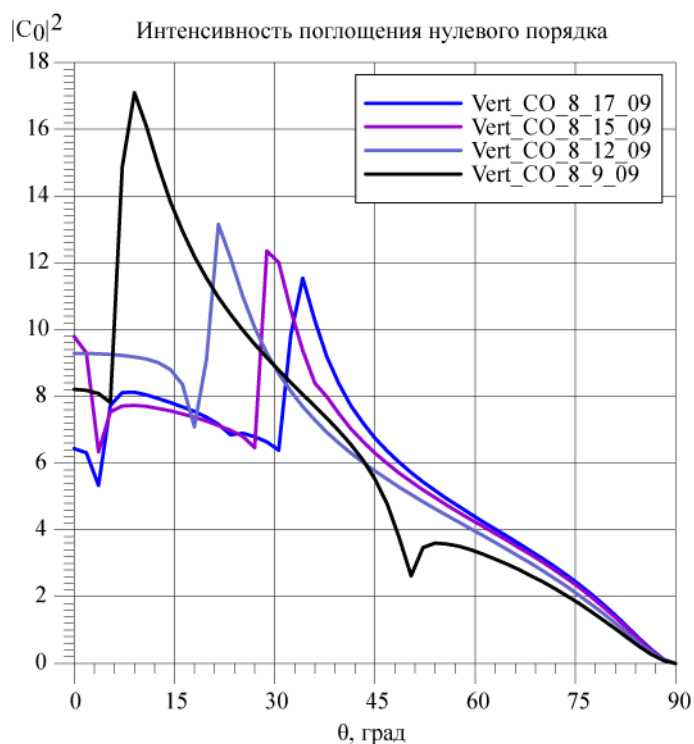


Рис. 1. Зависимость интенсивности поглощения волны 0-го порядка от угла падения для электромагнитной волны $\lambda = 8$ мм, поверхностная волна Λ от 9 до 17 мм с амплитудой 0,9 мм

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

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

В рамках выполнения работ по данному направлению в 2011 г. были рассмотрены следующие задачи:

1. *Повышение точности метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС) изучения пространственных характеристик ветрового волнения за счет обоснованного выбора используемой модели диэлектрической проницаемости морской воды.*

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

В основе метода НРРС лежит двухмасштабная модель ветрового волнения. В соответствии с ней, интенсивность собственного излучения взволнованной морской

поверхности может быть найдена путем суммирования вклада длинноволновых и коротковолновых ветровых компонент. Опуская представление соответствующих зависимостей в аналитической форме, следует отметить, что в обоих случаях, интенсивность излучения является функцией физико-химических свойств водной среды, а именно — функцией комплексной диэлектрической проницаемости морской воды.

Целью проведенного исследования была демонстрация зависимости результатов модельных расчетов радиояркости гладкой водной поверхности от выбора модели, описывающей диэлектрические свойства соленой водной среды. Для сравнения были выбраны как широко известные модели диэлектрической проницаемости (например, *Ulaby F.T. et al., 1986*) так и их модификации, разработанные для обеспечения наилучшей сходимости с данными лабораторных и натурных измерений (например, *Александров Д.В., 2002*).

Результаты моделирования охватывают широкий диапазон температур водной среды (от 273 до 353 К) и значений ее солености (от 0 до 200 ‰). Расчетные значения яркостных температур получены для фиксированного угла наблюдения $49,2^\circ$ и без учета влияния нисходящего излучения атмосферы. Результаты моделирования относятся к случаям вертикальной и горизонтальной поляризации принимаемого излучения на частотах 6,8 ГГц (4,412 см); 10,6 (2,830); 18,7 (1,604); 22,2 (1,351); 36,0 (0,833); 75,5 (0,397); 85,0 (0,353) и 150,0 ГГц (0,2 см). В качестве примера, некоторые из полученных результатов представлены на рис. 1.

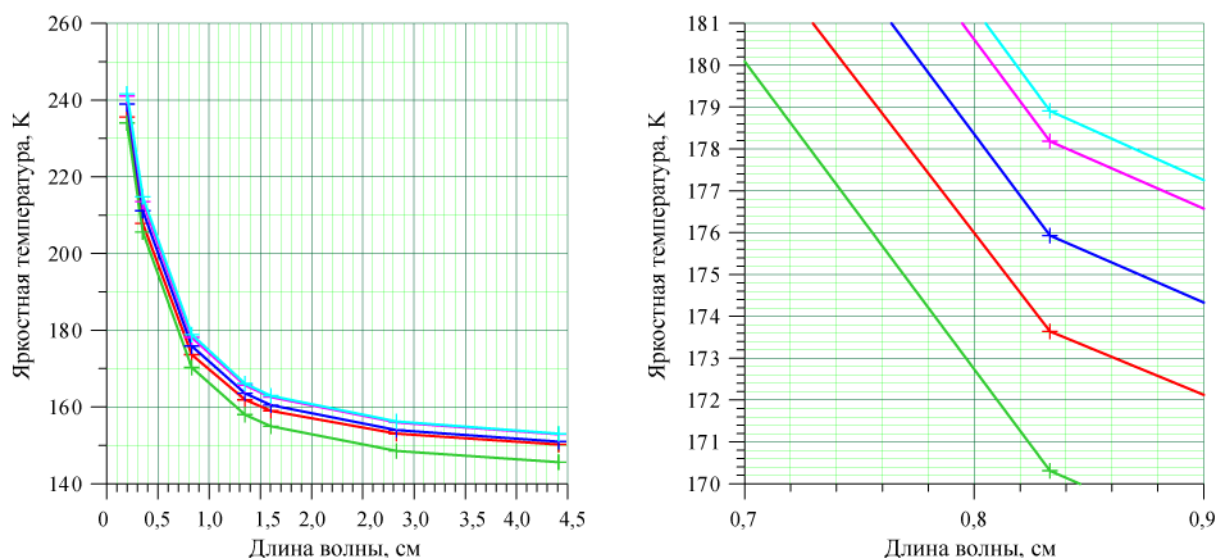


Рис. 1. Зависимость интенсивности собственного излучения гладкой водной поверхности от длины волны излучения (слева). Случай вертикальной поляризации принимаемого излучения (другие параметры расчета приведены в тексте). Справа, для наглядности, представлены те же результаты в окрестности длины волны 0,8 см. Различными цветами обозначены результаты расчетов в соответствии с наиболее часто используемыми моделями комплексной диэлектрической проницаемости

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что выбор модели диэлектрической проницаемости является, по сути, одним из ключевых этапов в процессе повышения точности применения метода НРРС при обработке данных радиополяриметрических измерений. Ситуация значительно усложняется, поскольку помимо дисперсионной зависимости диэлектрических свойств морской воды от температуры и концентрации солей, приходится учитывать поляризационные и угловые характеристики интенсивности собственного излучения.

Обобщая результаты проделанной работы можно констатировать, что при всем многообразии существующих моделей диэлектрической проницаемости соленой водной среды, ни одна из них не обеспечивает точности, требуемой при решении задач пассивной

радиополяриметрии, во всем интересующем диапазоне температур, значений солености и частот. Как следствие — дальнейшее повышение точности анализа радиополяриметрических измерений вообще, и метода НРРС, в частности, напрямую зависит от возможности создания новой модели диэлектрической проницаемости в ближайшее время.

2. Снижение величины ошибки восстановления параметров спектра методом НРРС в натурных условиях, возникающей за счет эффекта азимутальной анизотропии собственного излучения взволнованной водной поверхности

Явление азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности, экспериментально открытое еще в семидесятых годах прошлого столетия, получило широкое развитие в ряде практических задач океанологии. Хорошо известно, что при наличии ветровых волн, уходящее в надир собственное излучение является поляризованным. При этом поляризационный эллипс, в отличие от случая гладкой водной поверхности, оказывается вытянутым вдоль генерального направления распространения волнения и может служить как его индикатором, так и использоваться в задаче восстановления поля ветра в океане. Важно, что дальнейшее развитие ветрового волнения приводит к еще более выраженной асимметрии поляризационного эллипса, а соотношение его параметров используется для оценки интенсивности ветрового потока.

Следует отметить, что явление азимутальной анизотропии, в большей или меньшей степени, характерно для произвольных углов наблюдения, отличных от надира. Основываясь на результатах модельных оценок, можно смело утверждать, что разница в данных микроволновых измерений (характерная для произвольных поляризаций принимаемого излучения), при наблюдении «вдоль» и «поперек» генерального направления распространения волнения, достигающая значений 2...4 К, может служить источником значительных ошибок при интерпретации данных дистанционного зондирования океана.

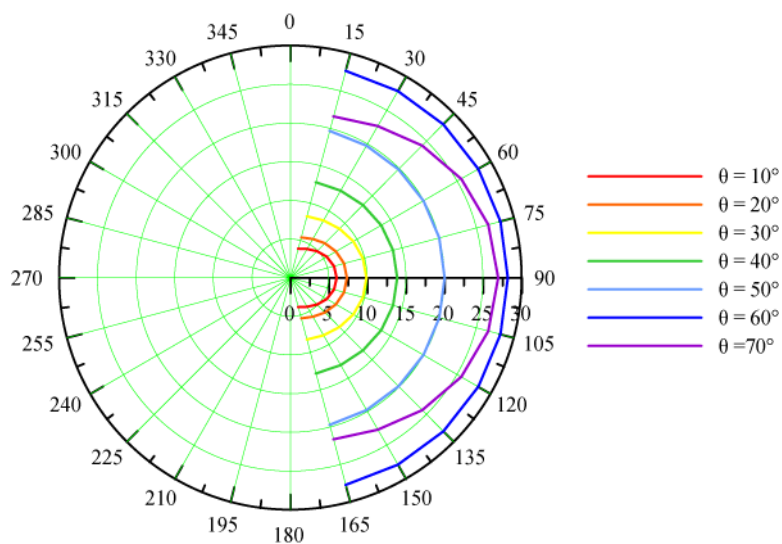


Рис. 2. Пример модельных оценок величины яркостного контраста взволнованной водной поверхности для различных азимутальных (значения на окружности) и вертикальных (выделено цветом) углов наблюдения.

Ограниченный диапазон углов по азимуту демонстрирует исследуемый эффект

Основной задачей настоящей работы являлась оценка влияния эффекта азимутальной анизотропии на результаты применения метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС), развиваемого в ИКИ РАН. Метод восстановления параметров спектра ветрового волнения (НРРС) основан на оригинальной методике обработки данных угловых радиополяриметрических измерений. В соответствии с ним,

входными данными для решения обратной задачи являются зависимости яркостной температуры водной поверхности от вертикального угла наблюдения, усредненные по азимутальному углу (в диапазоне от 0 до 360°). Однако, проведение полного цикла подобных измерений в реальных условиях (например, с пирса или океанографической платформы) оказывается затруднительным, а получаемые результаты ограничиваются диапазоном азимутальных углов 180...270° (в редких случаях) (рис. 2). Таким образом, получаемая информация о пространственной картине собственного излучения поверхности лишь частично соответствует действительной. Определению величины ошибок восстановления параметров спектра с применением метода НРРС в условиях ограниченного числа измерений и была посвящена данная работа.

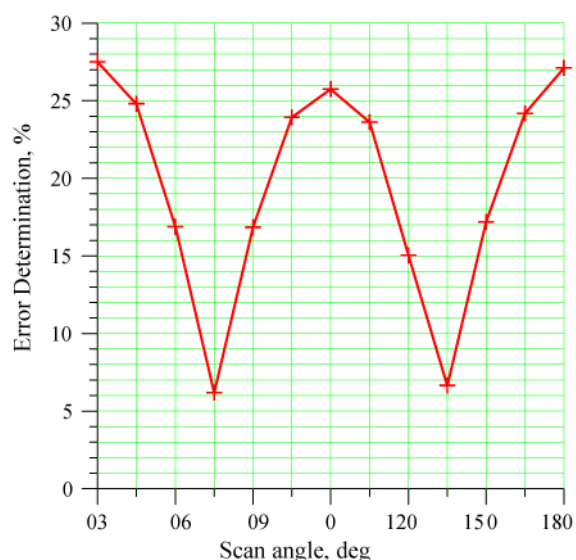


Рис. 3. Влияние эффекта азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения взволнованной морской поверхности на величину ошибки восстановления параметров спектра с применением метода НРРС. Угол по оси абсцисс соответствует смещению относительно генерального направления распространения волнения

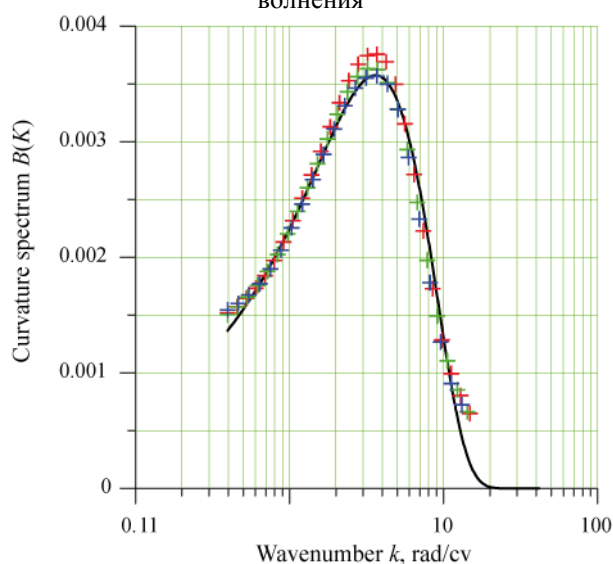


Рис. 4. Результат восстановления параметров спектра ветровых ГКВ. Черная сплошная линия — истинная кривая; зеленые крестики — восстановленный спектр без учета эффекта азимутальной анизотропии; красные крестики — сектор сканирования 150°, смещен на 90° относительно направления ветра; синие крестики — сектор сканирования 150°, без смещения

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

- явление азимутальной анизотропии собственного радиотеплового излучения взволнованной водной поверхности накладывает определенные ограничения на применимость метода НРРС, увеличивая ошибку восстановления параметров спектра со стандартных 7,0 до 25,0 % (рис. 3);
- усреднение регистрируемых значений радиояростной температуры в пределах сектора сканирования способствует снижению величины ошибок восстановления (рис. 4);
- оптимальным, с точки зрения точности восстановления параметров спектра и временных затрат на проведение измерений, является выбор ширины сектора сканирования в пределах 150...180°. В этом случае, ошибка восстановления параметров спектра ветрового волнения в области ГКВ, вне зависимости от направления его распространения, не превышает 10,0 % (рис. 4);
- ярко выраженная зависимость восстанавливаемых значений параметров спектра от азимутального угла визирования позволяет надеяться на возможность восстановления пространственного спектра ветровых ГКВ в будущем (см. рис. 3).

Раздел 4.5. Мониторинг-Атмосфера

Развитие теоретических моделей, анализ физических механизмов, разработка и применение методов измерений и алгоритмов обработки натурных данных в целях исследования, мониторинга и прогноза состояний атмосферы

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

1. Исследование роли спиральности и ее пространственного распределения на разных стадиях эволюции тропических циклонов.

В ходе выполнения поставленных задач был освоен диагностический пакет, созданный в США на платформе IDL (Interactive Data Language), для построения картин и анализа динамики всех основных метеорологических полей (скорости, потенциальной температуры, давления, смеси водяного пара, микрофизики облаков, входящих в численную модель атмосферы RAMS). На этой же основе исполнителем был создан собственный пакет для обработки производных от них величин (завихренности, спиральности, энстрофии, кинетической энергии) в декартовых и цилиндрических координатах, позволяющих осуществить диагностику крупномасштабной спирально-вихревой неустойчивости согласно предложенной нами методики.

С помощью разработанных средств был выполнен анализ развития вихревой неустойчивости на основе данных 6 численных атмосферных экспериментов. В 5 из них сформировались тропические циклоны разной интенсивности: тропическая депрессия (максимальная скорость тангенциального ветра у поверхности океана меньше 17 м/с), тропический шторм (17-33 м/с), ураган (больше 33 м/с), в одном эксперименте начальные условия не привели к развитию крупномасштабной вихревой неустойчивости.

Примененная методика позволила количественно диагностировать момент зарождения тропического циклона во всех 5 успешных экспериментах и определить его, как появление положительной обратной энергетической связи между крупномасштабной горизонтальной и вертикальной циркуляциями. Этот момент соответствует возникновению крупномасштабной спирально-вихревой неустойчивости. Показано, что формирование сконцентрированной у поверхности вихря тропической депрессии происходит в результате развития возникшей неустойчивости спустя несколько часов после момента «зарождения».

Получены и интерпретированы данные, позволяющие количественно диагностировать две разных стадии эволюции крупномасштабного атмосферного вихря - зарождение и интенсификацию.

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

Г.В. Левина, М.Т. Монтгомери. Спиральный сценарий тропического циклогенеза // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. N 4. Ч. 2. С. 483-485.

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

2. Анализ верхней границы скорости ветра в тайфуне с учетом выделения скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги.

В 2011 году была рассмотрена задача верхней границе скорости ветра в смерче и тайфуне, поскольку их энергетика обусловлена выделением скрытой теплоты фазовых преобразований атмосферной влаги. Такая оценка должна была зависеть от массовой доли пара в атмосфере. Рассмотрен тёплый влажный воздух, поступающий в колонну смерча с боков. При конденсации пара, содержащегося в поступившем воздухе, выделится энергия конденсации, которая расходуется на сообщение вращения воздуху, всасываемому в колонну, диссипацию в атмосфере, трение о землю и другие потери. Поскольку воздух втягивается в основном снизу, можно считать, что кинетическая энергия обусловлена в основном азимутальной компонентой скорости. Таким образом, если вращение воздуха обеспечивается конденсацией содержащегося в атмосфере водяного пара, то скорость ветра не может превышать некоторой величины, которая определяется только массовой долей пара в атмосфере. Получена оценка скорости вращения воздуха в вихре, которая даёт правильный порядок максимальной величины скорости ветра в торнадо.

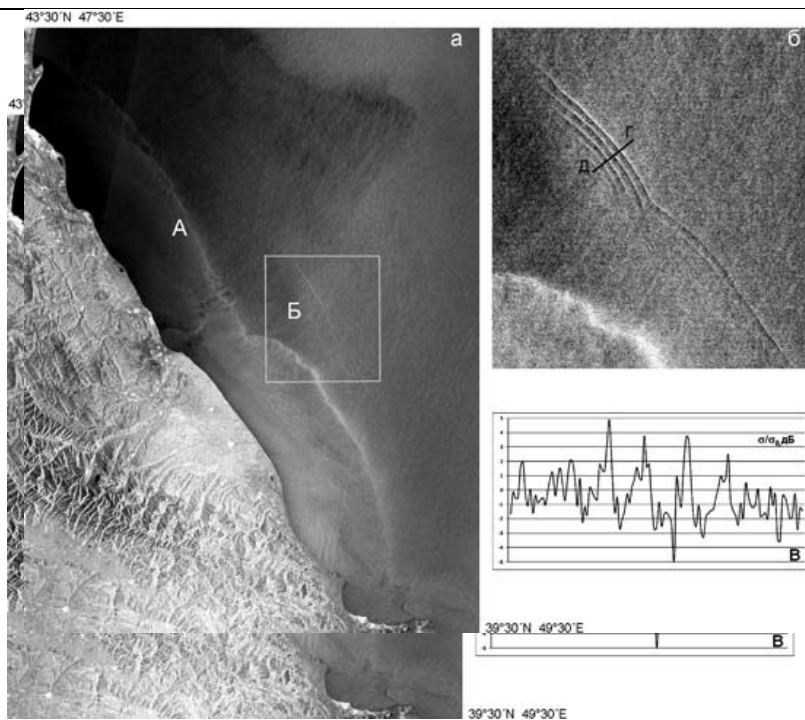
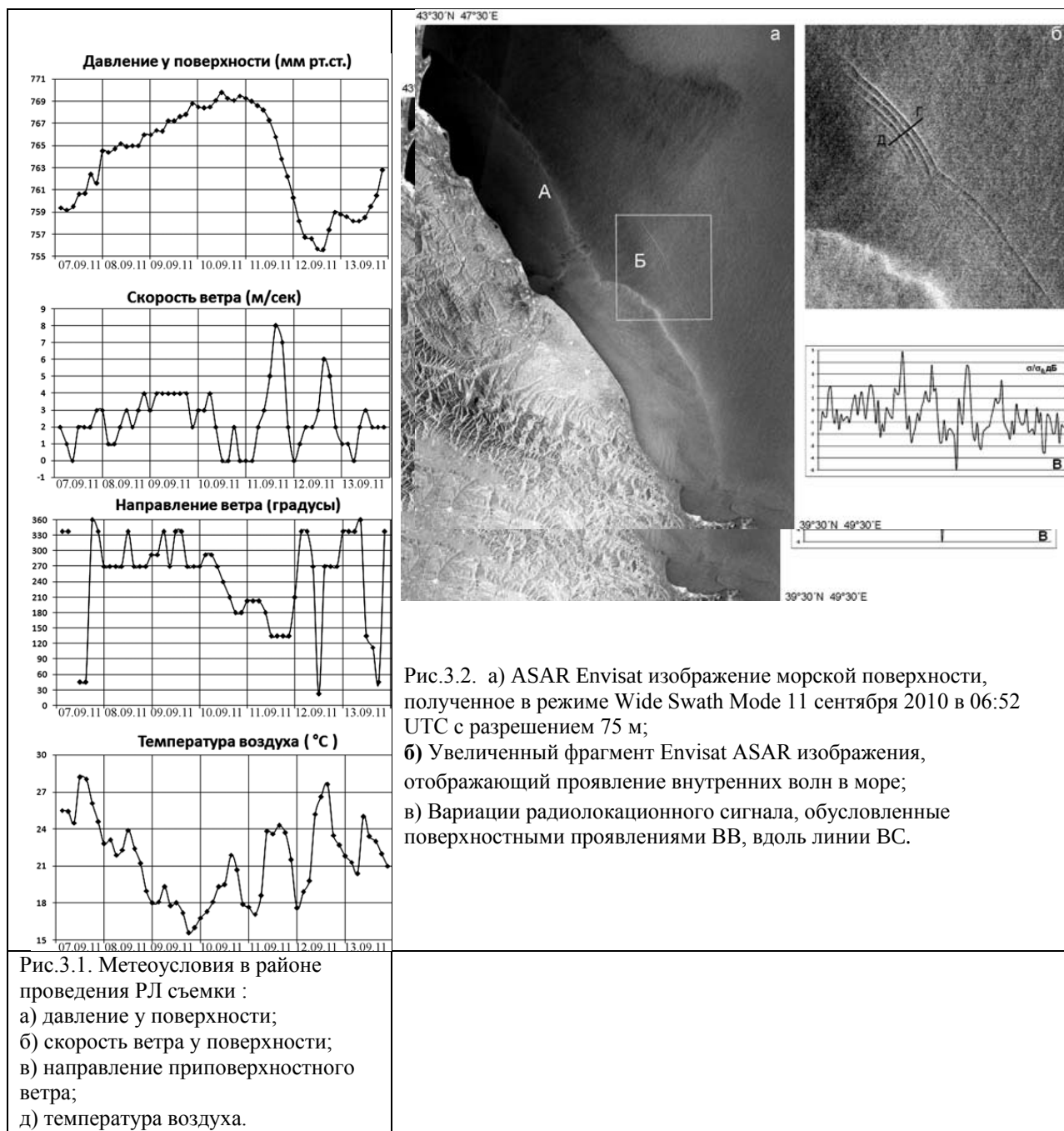
Также, построена аналитическая модель неустойчивости типа торнадо в аксиально-симметричной геометрии. Задача поставлена на основе пяти уравнений гидродинамики. В работе получено, что при наличии вращения такая система имеет две неустойчивости, одна неустойчивость – конвективная, а другая – вращательная. Получено, что при определённых значениях параметров эти две неустойчивости могут характеризоваться близкими волновыми числами. Этот случай описывает ситуацию, учитывающую совместное действие вращательной и конвективной неустойчивостей. Получено стационарное уравнение, описывающее соответствующий горизонтальный размер структуры, а также нестационарное уравнение, описывающее процесс её развития. Инкремент и волновое число этой объединённой конвективной и вращательной неустойчивости оказываются очень близкими к соответствующим значениям тонких смерчей.

Руткевич П.Б., Руткевич П.П. Аксиально-симметричная модель неустойчивости типа торнадо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. Т.8. № 4. С.76-84.

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

3. Развитие теоретической основы и разработка методик комплексного использования данных спутникового дистанционного зондирования поверхности океана, различных по своей физической природе, пространственному разрешению и размерности для исследования процессов и явлений в атмосфере над океаном (внутренние гравитационные волны, конвективные движения, вихри и вихревые структуры). Разработка методик и алгоритмов совместного использования данных, получаемых различными сенсорами, базирующими на различных спутниках дистанционного зондирования Земли, для получения количественных оценок процессов и явлений, происходящих в приземном слое атмосферы.

В ходе работ, направленных на разработку критериев совместного анализа данных спутникового дистанционного зондирования поверхности океана и прилежащего к ней слоя атмосферы, отдельное внимание уделялось изучению влияния атмосферных воздействий на возбуждение волновых и вихревых движений в толще стратифицированных вод. В частности, динамические процессы в атмосфере, осуществляющие передачу энергии океану при изменениях атмосферного давления, касательных напряжений ветра и потока плавучести на его поверхности рассматривались в качестве энергетических источников внутренних волн в Моровом океане.



При анализе съемок морской поверхности западного Каспия, проведенных при помощи радиолокатора с синтезированной апертурой ASAR ИСЗ Envisat выявлены поверхностные проявления внутренних волн в море, источником возбуждения которых является перемещение нестационарной аномалии атмосферного давления. Через район съемки 11 сентября 2011 г. проходил атмосферный фронт окклюзии, образовавшийся в тылу циклона,

определявшего синоптические условия в районе интереса в течение нескольких суток, предшествовавших съемке.

Факт прохождения атмосферного фронта подтверждается данными об изменении атмосферного давления, поля приповерхностного ветра и температуры воздуха, измеренными ближайшей к месту получения спутниковых изображений метеостанцией г. Дербент (рис.3.1). На рис.3.2 приведено ASAR Envisat изображение морской поверхности, полученное 11 сентября 2010 в 06:52 UTC с разрешением 75 м. На изображении отчетливо выделяются несколько групп структурных образований. Во-первых, это зона скачкообразного перепада яркости, обозначенная буквой “А”, а во-вторых, это периодические структуры, состоящие из тонких протяженных полос, ориентированные вдоль линии скачка сигнала и находящиеся от нее на расстоянии 20-25 км, обозначенные буквой “Б”. На основании рассмотренных выше метеорологических данных можно сделать вывод, что скачкообразный перепад радиолокационного сигнала, обозначенный буквой А, является отражением наземной линии перемещающегося атмосферного фронта. Ориентированные вдоль наземной границы фронта структуры, обозначенные буквой Б, являются поверхностным проявлением пакета внутренних волн в море, зародившихся на склоне шельфа под воздействием активных динамических процессов в атмосфере, возможно, как отклик на импульсные возмущения ветра. Увеличенный фрагмент Envisat ASAR изображения, отображающий проявление внутренних волн в море, приведен на рис.3.2.

Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М., ИКИ РАН. 2011. С. 264-267.

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

4. Анализ данных метеорологических наблюдений, выявление собственных колебаний климатической системы при воздействии солнечной активности и исследование ее долгопериодических вариаций.

В опубликованных до настоящего времени работах предположения о возможности связи между солнечными и климатическими вариациями основываются либо на корреляции между этими вариациями, либо просто на присутствии в климатической вариации периодов близких к фундаментальным солнечным. Подобный подход, однако, мало помогает в выявлении возможного физического механизма, который мог бы связывать данные вариации. Развита новая модель – описать солнечные и климатические вариации причинно-следственным математическим уравнением, воспроизводящим климатическую вариацию из солнечной. Используемое уравнение предполагает определенный физический процесс – возникновение вынужденных климатических колебаний под воздействием внешней силы (солнечной активности). Важным следствием такого предположения является необходимость существования собственных климатических колебаний. Таким образом, в работе рассмотрена простая модель взаимодействия внешних воздействий с внутренними (собственными) вариациями климатической системы. В рамках данной модели удается объяснить нерегулярные сдвиги фаз в десятилетних и междесятилетних вариациях количества осадков в Форталезе (Бразилия). Ранее подобные несовпадения фаз рассматривались, как противоречащие наличию связи между солнечной и климатическими вариациями. Полученный результат указывает на возможность преодоления этого противоречия.

Необходимо дальнейшее исследование физического механизма солнечно-климатической связи, в частности, анализ возможности связи вариации осадков с вариацией положения или/интенсивности осадков такого глобального компонента климатической системы, как внутритропическая зона конвергенции (Intertropical

Convergence Zone - ITCZ). Это указывает возможное направление последующих работ и рассмотрения локальных вариаций климатических параметров с учетом глобальной динамики атмосферы.

Продолжено создание Баз Данных (БД) траекторий тропических циклонов (ТЦ). Теперь для некоторых регионов (в основном для Тихого океана) БД доведены до 2010 г. Проводится совершенствование программы визуализации трасс ТЦ TRAVIEW, позволяющей на координатной сетке отображать трассы ТЦ, а также выделять моменты аномальных изменений траектории ТЦ. По желанию оператора их можно записывать в отдельный файл для дальнейшего детального анализа совместно с картами температуры поверхности океана (ТПО). Имеется возможность определения расстояния пройденного ТЦ как за предыдущие, так и за последующие 6 часов. В связи с появлением нового системного блока компьютера в октябре 2011 года с большим объемом жесткого диска проводится работа по совершенствованию имеющихся программ до современного уровня и выполнение намеченного плана работ.

Anatoly A. Gusev, Inacio M. Martin. On possible relation between Inter-Tropical Convergence Zone location and the solar cycles. *Sun and Biosphere*, 2012, принято к печати.

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

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

5. Развитие метода определения микрофизических свойств рассеивающих объектов в двухпозиционных схемах зондирования с использованием оптического канала, работающего в режиме счета фотонов.

В настоящее время метрологическое обеспечение в задаче дистанционного мониторинга концентрации рассеивающих частиц уединенного рассеивающего объекта сохраняет свою актуальность. В предложенном сценарии, в качестве базовой характеристики фигурирует индикатор размера частиц, который находится по угловому размеру ореола рассеяния вперед вокруг пучка. Исследуемому объекту полидисперсными частицами однозначно сопоставляется некоторый эквивалентный объект, состоящий из монодисперсных частиц. Этот объект и реальный объект имеют одинаковые угловой размер ореола рассеяния вперед и лидарное отношение. Тогда возможно метрологическое обеспечение работы лидара.

Для однозначного выявления микроструктуры эквивалентного объекта следует минимально произвести три стадии калибровок. К первой стадии относится предварительная калибровка. Основной ее целью является определение пространственно угловых параметров поля зрения и зондирующего пучка. Ко второй стадии относится локальная калибровка, цель которой определить параметр углового размера ореола. На третьей стадии, определяется зависимость углового размера ореола от радиуса частиц. Полученный набор является минимально возможным для мониторинга концентрации частиц уединенного слоя. Метод может быть использован для полидисперсных частиц.

А.В. Бухарин. Методологические программы в задаче определения микроструктуры рассеивающих объектов дистанционными методами. // *Нелинейный мир*. 2011. Т. 9. № 6. С. 342-351.

Г. П. Арумов, А. В. Бухарин. О минимальном наборе калибровок в задаче дистанционного мониторинга концентрации частиц для уединенного слоя. // Тезисы Девятой Всероссийской конференции «Дистанционное зондирование Земли из космоса Дистанционные методы исследования атмосферных и климатических процессов». ИКИ РАН. 14-18 ноября 2011 год, (электронный ресурс). Москва. С 177. 1 электрон. Опт. Диск (CD-ROM).

Арумов Гергий Петрович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-31-33, arumov@iki.rssi.ru
Бухарин Алексей Владимирович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-32-01, tumbul@iki.rssi.ru

6. Устойчивость зональных потоков; эволюция вихревых структур и спектров волн Россби в зональном ветре атмосферы Земли; интерпретация наблюдаемых структур зонального ветра и планетарных волн на основе спутникового мониторинга атмосферы.

Как показывают данные наблюдений, в периоды наиболее активного образования тропических циклонов в акватории Атлантического океана направление центрального течения во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК) может отклоняться от направления с запада на восток на 10-20 градусов. Численно исследуется влияние направления этого течения на процесс формирования циклонических вихрей в области ВЗК. На основе созданной авторами 3-мерной региональной модели циркуляции атмосферы изучается процесс формирования первичного циклонического вихря в тропических широтах нижней атмосферы, из которого в дальнейшем может развиваться мощный тропический ураган. Численное моделирование эволюции течения при разных изгибах ВЗК в начальный момент показало, что появление волнообразно искривленного участка ВЗК длиной ~ (800–1000) км в период активного тропического циклогенеза (июнь–октябрь) является предвестником образования одного или двух циклонических вихрей. В течение первых 30 час формируется циклонический вихрь с горизонтальными размерами 800 км и более и скоростью ветра более 20 м/с. В течение первых 40 час (к этому времени первый циклон отошел на запад примерно на 1000–1200 км), на месте первоначального изгиба ВЗК формируется второй циклонический вихрь с теми же размерами и скоростью ветра; расстояние между центрами вихрей составляет ~1500 км. На рисунке показано распределение горизонтальной составляющей скорости ветра в (м/с) на высоте 600 м в начальный момент (слева вверху) и в моменты времени через 15 часов (справа вверху), через 30 часов (слева внизу) и через 45 часов (справа внизу) после начала моделирования; стрелки указывают направление, а их длина и цвет фона — абсолютную величину скорости. Таким образом, циклонические вихри, которые в дальнейшем могут усилиться до тропических циклонов, формируются в области ВЗК исключительно за счет развития гидродинамической неустойчивости крупномасштабного сдвигового течения. Для того, чтобы первичный циклонический вихрь развился до шторма или урагана, необходимо, чтобы он попал в область воздушных масс с высоким влагозапасом (скрытым теплом). Проводится сравнение полученных результатов с данными микроволнового спутникового мониторинга глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции ИКИ GLOBAL—Field. Изгибы ВЗК и области повышенного влагозапаса тропосферы легко определяются спутниковым мониторингом. На основании результатов численного моделирования формирования циклонических вихрей в области ВЗК, а также анализа данных микроволнового спутникового мониторинга (глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL—Field) и данных о ветре в области ВЗК предлагается методика прогноза образования тропических циклонов по данным спутниковых наблюдений. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-01-00451.

Мингалев И.В., Астафьева Н.М., К.Г. Орлов, В.С. Мингалев, О.В. Мингалев, Чететкин В.М. Возможность предсказания образования тропических циклонов и ураганов по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Том 8. № 3. С. 290-296.

Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Мингалев В.С., Мингалев О.В., Чететкин В.М. Влияние направления центрального течения во внутритропической зоне конвергенции на процесс формирования циклонических вихрей // Девятая открытая

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

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

На основе системы связанных нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона, описывающих временную динамику мощных атмосферных вихрей типа тропических циклонов (ТЦ), продолжен анализ самосогласованной малопараметрической модели (МПМ) регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), позволяющей исследовать влияние солнечно-земных связей, космической погоды и других факторов на сезонный ход РКЦ, анализировать различные сценарии временной динамики РКЦ в зависимости от выбора характерных параметров. Численными расчетами подтверждено, что выбор исходных параметров задачи, нестационарной фоновой обстановки возможно получить генерацию в активном сезоне конкретного региона заданное количество ТЦ с различающимися характеристиками вихрей. Выявлена чувствительность динамики системы к выбору исходных параметров. Проведено обобщение МПМ, позволяющее описать динамику ТЦ с вариациями скорости ветра в течение его жизненного цикла. Амплитуда данных вариаций определяется величиной входящего в МПМ малого параметра. Пример генерации 4 ТЦ в активном сезоне с указанными вариациями скорости ветра приведен на рис.7.1.

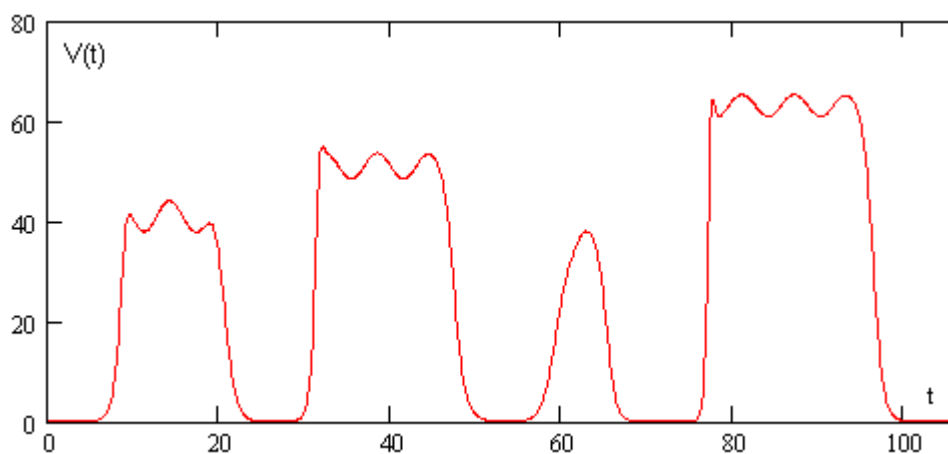


Рис.7.1.

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

Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Лазарев А.А., Михайловская Л.А. Нелинейная динамика годового хода регионального циклогенеза в малопараметрической модели. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011, т.8, № 1, с.239-245.

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

8. Анализ структурных свойств электрической турбулентности в грозовой облачности на основе численных расчетов структурных функций при высоком пространственном разрешении по высоте. Формирование базы экспериментальных данных по высотным профилям электрического поля в грозовой облачности на основе литературных источников. Численные расчёты генерации спиральности и ее потоков в ТЦ, определение "выживающих" вихрей с учётом заряженных подсистем вихря.

На основе экспериментальных данных по высотным профилям электрического поля в грозовой облачности $E(z)$ продолжено формирование базы данных по высотным распределениям электрического поля в грозовой облачности и разработка аналитических аппроксимаций для $E(z)$. Установлено наличие сильных флуктуаций объемной плотности электрического заряда в грозовой облачности, что принципиально, в частности, для корректных оценок вклада заряженных подсистем в генерацию спиральности ветровых потоков в мощном вихре и поддержание самосогласованной, существенно неоднородной структуры ветров. В грозовой облачности характерная величина перепада потенциала в тропосфере порядка сотен Мв.

Используя аналитические аппроксимации для $E(z)$ выполнены численные расчеты с высоким разрешением по высоте (2 метра) структурных функций СФ (с малым шагом по порядку m в диапазоне $0.1 < m < 7$). Выявлены инерционные интервалы электрических флуктуаций на малых и средних масштабах, получены аналитические степенные аппроксимации СФ, определены скейлинговые экспоненты $g(m)$ в инерционных интервалах. Оптимальное высотное разрешение для анализа СФ составляет (2-3) метра. Для интервала средних масштабов характерно присутствие когерентных структур, влияющих на скейлинг СФ.

В рамках теории самоорганизации тропического циклогенеза за счет обратного каскада спиральности исследована генерация спиральности с учётом наличия в ТЦ крупномасштабных заряженных подсистем и модуляция спиральности электромагнитными силами. Для уравнений, описывающих динамику компонент скорости, записаны разностные схемы, подготовлена программа численного расчета ЭМГД-уравнений. Получены выражения для поля плотности тока и усреднённых магнитных полей в ТЦ. Подготовлена и апробирована программа для расчетов изменения спиральности при учете заряженных подсистем. Плотность спиральности по объему ТЦ оказывается существенно неоднородной, в каждой области выживают вихри определенного направления вращения. Имеются неустойчивости вблизи стены глаза ТЦ, в окрестности границ переходов заряженных областей, что соответствует повышенной турбулизации ветровых потоков и разграничению вихревых движений.

Ерохин Н.С., Зольникова Н.Н., Краснова И.А., Михайловская Л.А. Анализ структурных свойств электрической турбулентности в грозовой облачности. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва, ООО "ДоМира", 2011, т.8, № 3, с.251-256.

Ерохин Николай Сергеевич, д.ф.м.н., тел.8-495-333-41-00, nerokhin@mx.iki.rssi.ru
Артеха Сергей Николаевич, к.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, sergey.arteha@gmail.com

9. Применение вейвлет-преобразования для моделирования характеристик эволюции систем гидродинамического типа.

Экспериментальные исследования статистических характеристик турбулентных пульсаций давления на поверхности тел и турбулентных шумов обтекания

Для стандартных задач распространения возмущений, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных, функция Грина определяется решением уравнения вида $\hat{S}L G(x) = -\delta(x)$, где $\hat{S}L$ - дифференциальный оператор соответствующего уравнения, $\delta(x)$ - сингулярное возмущение (дельта функция). Для многомасштабной теории при использовании вейвлет-преобразования вместо сингулярного возмущения будет его проекция на базисную функцию соответствующего масштаба. В асимптотическом пределе динамики бесконечно узкого (размер $\sigma \rightarrow 0$) т.е. сингулярного возмущения для проекции на базисную функцию масштаба b получаем $\delta_b(x) \sim \sigma^{1/b} \delta(x)$, где d - размерность пространства, $\sigma \ll b$, b - разрешение (масштаб измерения), а коэффициент пропорциональности определяется видом базисной функции. Данное выражение конечно при $\sigma \rightarrow 0$, $b > 0$. Само интегральное уравнение будет теперь иметь вид $\hat{S}L_{\{ac\}} G_{\{cb\}}(x) = -\delta_b(x)$, где по индексам, обозначающим масштабы, происходит интегрирование. В случае уравнений типа Навье-Стокса масштабные индексы можно оставить только на функции Грина. Далее все усреднения производятся обычным образом с помощью методов диаграммной техники. Расчеты показали, что сингулярности в данном подходе не возникают.

Происхождение гидродинамических шумов обтекания связано с турбулентным пограничным слоем. При больших скоростях движения транспортных средств возникает турбулентный шум, интенсивность которого растет с увеличением скорости. Для исследования гидродинамических шумов обтекания создана береговая инфраструктура и тросовая дорога, обеспечивающая заглубление всплывающего устройства на заданную глубину. Выполнена модернизация экспериментального оборудования на основе миниатюрных датчиков турбулентных пульсаций давления и протяженных приемников с различными пространственно-временными свойствами, не оказывающими обратного влияния на изучаемый поток.

Проводимые исследования концентрируются на решении конкретной задачи - детального количественного изучения пространственной статистической структуры пристеночных турбулентных пульсаций давления, формирующих гидродинамические и акустические поля, которые формируются при турбулентном обтекании тел. Особое внимание уделено изучению характеристик мелкомасштабной турбулентности на основе пространственной фильтрации волновых компонент случайных турбулентных полей. Развита методика прямых измерений пространственного частотно-волнового спектра турбулентных пульсаций давления. Обобщение и приложения полученных результатов позволят существенно повысить эффективность прогнозирования и управления турбулентным шумом обтекания быстро движущихся транспортных средств. Результаты представляют интерес для движения тел как в океане, так и в атмосфере. Работа поддержана РФФИ, грант 11-08-90300 (2011-2012).

Кудашев Е.Б., Маршов В.П., Смольяков А.В., Ткаченко В.М. Автономная лаборатория в форме цилиндрического тела для исследования турбулентных пульсаций давления в условиях глубокого моря - Фундаментальные и прикладные вопросы механики и процессов управления. Всероссийская научная конференция, посвященная 75-летию со дня рождения [академика В.П. Мясникова](#), Механика природных и технологических процессов. Владивосток, ИАПУ ДВО РАН, с.49, 2011. <http://www.iacp.dvo.ru/fapm/files/sborn.pdf>.

Алтайский Михаил Викторович, д.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, altaisky@mail.ru
Кудашев Ефим Борисович, д.т.н., тел.8-495-333-12-34, kudashev@iki.rssi.ru

10. Исследование структурных функций квазидвумерной турбулентности в лабораторном эксперименте. Результаты наблюдений мелкодисперсного пустынного аэрозоля на опустыненных территориях. Стационарные конвективные течения над неоднородно нагреваемой волнистой поверхностью

Проведен анализ результатов экспериментов по моделированию турбулентных течений в тонком слое проводящей жидкости над твердой поверхностью при пропускании тока и действия пространственно-периодического магнитного поля. Обработка данных показала, что статистические характеристики течений проявляют трехмерную динамику даже на масштабах по горизонтали, на порядок превышающих толщину слоя. При этом продольные структурные функции третьего порядка поля скорости приближенно линейны по пространственному смещению аналогично трехмерной турбулентности, из-за доминирующего вклада диссипации энергии потоков при выполнении граничного условия прилипания на нижней поверхности. Для уравнения баланса энергии проведены оценки величины диссипации и основных слагаемых производства энергии в турбулентных потоках.

Представлены результаты прямых наблюдений мелкодисперсного пустынного аэрозоля, проведенных на опустыненных территориях Калмыкии в 2007, 2009 и 2010 годах в условиях слабых ветров, сильного прогрева поверхности почвы и при практическом отсутствии процессов сальтации. Измерения показывают, что мелкодисперсный аэрозоль в данных условиях составляет значительную часть, как по концентрациям частиц, так и по их массовому составу. Данные измерений проанализированы на основе физической модели, основанной на анализе динамики конвективных движений вблизи поверхности. Отклонения массовой концентрации аэрозоля от фоновой оказываются связанными с перепадом температур в приповерхностном слое и значениями динамической скорости трения.

В рамках упрощенной аналитической модели исследована задача о стационарных конвективных течениях над неоднородно нагреваемой волнистой поверхностью. Показано, что периодический по горизонтали нагрев такой поверхности может приводить к эффекту "теплового ветра" – генерации однородного горизонтального потока вдали от поверхности.

А.Е.Гледзер, Е.Б.Гледзер, А.А.Хапаев, О.Г.Чхетиани. Структурные функции квазидвумерной турбулентности в лабораторном эксперименте. ЖЭТФ, 2011, том 140, вып.3, с.590-605

О.Г. Чхетиани, М.В. Калашник, Л.Х. Ингель. Генерация "теплового ветра" над неоднородно нагретой волнистой поверхностью. Известия РАН. Физика атмосферы и океана (2012), принята к печати.

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

11. Развитие методов дистанционного определения характеристик облачности кучевых форм, анализ влияния облачности верхнего яруса на спектр уходящего излучения в задачах зондирования атмосферы и земной поверхности. Мониторинг малых газовых составляющих (МГС) атмосферы при спутниковом зондировании. Анализ точности определения содержания МГС по данным в видимом и ИК диапазонах. Исследование пространственно-временной изменчивости полей температуры и влажности в зонах зарождения циклонов при восстановлении их профилей из данных спутникового зондирования.

Развитие спектроскопических методов дистанционных измерений для определения метеорологических атмосферных параметров на основе угловых и спектральных распределений интенсивности излучения в ИК-диапазоне. Развитие прогнозно-

ситуационной модели разлива нефтепродуктов на водной поверхности по материалам аэрокосмических наблюдений.

Проведен расчет вертикальных профилей функций пропускания в ИК области для приборов AIRS с целью последующего использования для оценки содержания метана по спутниковым данным. Апробирована процедура доступа к архивным данным спутников NOAA по зонам зарождения циклонов. Разрабатывается собственное программное обеспечение восстановления вертикальных профилей температуры и влажности по спутниковым данным СВЧ радиометра SCAMS. Развита с совершенствованием интерфейса прогнозно-ситуационная модель разлива нефтепродуктов на водной поверхности по материалам аэрокосмических наблюдений. В качестве входных параметров используются данные о характере источника разлива (размер источника загрязнения, вид нефтепродукта), гидрометеорологические (направление и скорость приводного ветра, температура) и гидрологические данные (направление и скорость течения). По гидрологии возможно привлечение данных буйковых измерений и/или спутниковых данных скаттерометра по полю скорости ветра.

Накоплены данные спутниковых измерений радиометра MODIS и профилей атмосферных метеопараметров (температура, влажность, скорость ветра), характеризующих формирование и перенос облачности верхнего яруса из зоны внутритропической конвергенции в Атлантике. Данные выявляют слоистую высотную структуру воздушных потоков и преобладающие направления переноса в осенне-зимний период. Проведен анализ применимости пороговых критериев идентификации перистой облачности для однослойных и двухслойных систем. Выявлено значительное влияние вариаций типа земной поверхности и излучательной способности, в особенности песков аридных территорий, на спектральные контрасты уходящего излучения и работоспособность применяемых процедур при анализе форм тонких полупрозрачных облаков. Проработаны усовершенствованные процедуры по определению характеристик облачности верхнего яруса.

Определена возможность определения характеристик облачности кучевых форм- высоты верхней границы и мощности, на основе данных измерений собственного ИК-излучения и отраженной солнечной радиации и определен объем входных данных. Накоплены данные спутниковых измерений. Проведена оценка влияния точности измерения, пространственного разрешения и орбитальных параметров на определяемые характеристики облачного поля.

Проведен пространственно- частотный анализ спектральной структуры излучения, отраженного системой атмосфера - поверхность, с использованием данных, полученных в многоуровневом эксперименте «Карибэ-88». Исследован спектр пространственных частот, определяющих информативность данных о параметрах состояния земной поверхности.

По поручению дирекции Института во исполнение Распоряжений РАН № 10103-988 от 1.11.2011 г. и № 10103-989 от 1.11.2011 г. подготовлены материалы к Отчету по работам Института за 2011 г. и материалы Плана работ Института на 2012 г. по спецтематике (**исх. ДСП**) /КнязевН.А./.

Городецкий Александр Константинович, к.ф.м.н., тел.8-495-333-32-12, gora@mx.iki.rssi.ru

12. Исследование безотражательного туннелирования волн в акустике атмосферы и океана.

Впервые построены физические основы и разработан математический аппарат теории прохождения звуковых волн через градиентные волновые барьеры, образованные непрерывными одномерными пространственными распределениями акустических параметров среды в слое конечной толщины. Физические основы таких процессов связаны

с эффектами гигантской нелокальной (геометрической) нормальной и аномальной дисперсии; эти эффекты, значительно превосходящие эффекты материальной дисперсии, определяются формой и геометрическими параметрами градиентного слоя (волнового барьера). Математический аппарат теории основан на точно решаемых моделях градиентных волновых барьеров, не ограниченных традиционными допущениями о малости или медленности изменения полей или сред. В рамках развитого подхода получен ряд новых результатов акустики неоднородных сред:

- найдены спектры отражения и пропускания акустических волн в структурах градиентной среды с частотой отсечки, определяемой градиентом и кривизной пространственного профиля скорости звука;
- показана возможность безотражательного туннелирования акустических волн через градиентные барьеры;
- предложены пути формирования искусственной акустической дисперсии в произвольном спектральном диапазоне для градиентной упругой среды с пространственно распределённой скоростью звука.

Шварцбург А.Б., Ерохин Н.С. Градиентные акустические барьеры (точно решаемые модели). Успехи физических наук, 2011, т.181, № 6, с.627-646.

Шварцбург Александр Борисович, д.ф.м.н., тел.333-41-00, Alex-s-49@yandex.ru

13. Численные расчёты генерации спиральности и ее потоков в ТЦ, определение "выживающих" вихрей с учётом заряженных подсистем вихря

С учётом наличия обширных заряженных плазмоподобных подсистем в ТЦ, получены уравнения для изменения компонент скорости от начального чисто гидродинамического распределения при «включении» электромагнитной структуры ТЦ. Для этих уравнений записаны разностные схемы и подготовлена программа (в системе Mathematica) для проведения прямого численного расчета полученной системы ЭМГД-уравнений. В качестве начальных значений в расчётах берутся самосогласованные усреднённые чисто гидродинамические характеристики ТЦ (подчиняющиеся чисто гидродинамической системе уравнений), соответствующие характерным наблюдаемым величинам в ТЦ; при этом компоненты скорости, плотность, спиральность и другие характеристики ТЦ выбраны явными аналитическими функциями. В качестве электрических полей также выбраны аналитические выражения, похожие на структуру усреднённых полей в ТЦ, и приводящие к распределению зарядов, соответствующему трипольной структуре ураганов. Рассчитаны соответствующие аналитические выражения для поля плотности тока и для усреднённых магнитных полей в ТЦ. Подготовлена программа для расчета изменения плотности спиральности и её компонент при учёте наличия заряженных плазмоподобных подсистем. Показано, что плотность спиральности существенно неоднородная, в каждой области ТЦ выживают вихри определенного направления вращения. Имеются неустойчивости вблизи стены глаза ТЦ, в окрестности границ переходов заряженных областей, что соответствует повышенной турбулизации и разграничению вихревых движений.

Артеха Сергей Николаевич, к.ф.м.н., тел.8-495-333-53-56, sergey.arteha@gmail.com

14. Исследование свойств и распределение атмосферного аэрозоля используя рассеяние солнечного света в атмосфере Земли

В 2011 году начались систематические поляризационные измерения фона сумеречного и ночного неба широкоугольной камерой (поле зрения около 140 градусов). Разработан метод выделения однократного рассеяния в высоких слоях атмосферы (от 60 до 90 км). На его основе обнаружена деполяризация однократного рассеяния выше 75 км, связанная с пылевыми частицами, вторгающимися в атмосферу из космоса. Измерения также

позволяют оценивать температуру мезосферы на различных высотах. Поляризационные измерения в период светлых сумерек дают информацию о функции рассеяния тропосферного аэрозоля.

На основе трехцветных фотометрических измерений поверхности Луны во время полного лунного затмения 15 июня 2011 года получено распределение аэрозоля над двумя экваториальными областями лимба Земли (юго-восточная Азия и Атлантический океан) и спектральная зависимость аэрозольного ослабления света в этих регионах.

Угольников О.С., Маслов И.А. Функция рассеяния тропосферного аэрозоля по данным поляриметрии фона сумеречного и ночного неба // Космические исследования. Т.49, № 3, стр.195-201, 2011.

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

Раздел 4.6 Мониторинг-Эффект

Отв. исп.к.ф.-м.н. Форш А.А.

4.6.1.Применение метода синтеза многосенсорных данных к обработке информации от съемочных систем КА «Метеор-М» №1.

Отв. исп.: к.ф.-м.н. Жуков Б.С. отд.71

Разработанный в отделе оптико-физических исследований ИКИ РАН метод синтеза многосенсорных данных применен к синтезу многозональных изображений, полученных съемочными системами на КА «Метеор-М» №1: МСУ-100, входящей в состав Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС), и МСУ-МР. МСУ-100 получает изображения в спектральных зонах 0.535-0.575, 0.63-0.68 и 0.70-0.90 мкм с пространственным разрешением 60 м. МСУ-МР помимо зон видимого и ближнего ИК диапазонов имеет спектральные каналы 1.6-1.8, 3.5-4.1 и 10.5-11.5 мкм с пространственным разрешением 1 км, несущие, в частности, информацию о влажности и температуре поверхности.

Для синтеза информации высокого разрешения, содержащейся в изображениях МСУ-100, с дополнительной радиометрической информацией, содержащейся в ИК зонах МСУ-МР, данные всех съемочных систем синтезируются на общем базисе – системе классов, которые могут быть распознаны на изображениях высокого разрешения МСУ-100. Для этого проводится классификация изображений МСУ-100 кластерным методом и для каждого класса определяются средние сигналы в спектральных зонах МСУ-МР. Их объединение со спектрами классов в зонах МСУ-100 дает синтезированные спектры классов. В результате присвоения пикселям высокого разрешения классификационной карты рассчитанных сигналов классов в зонах МСУ-МР получается разложение изображений МСУ-МР по спектральным классам, объединение которого с изображениями МСУ-100 дает синтезированные изображения.

Пример классификации изображений МСУ-100 и разложения изображений МСУ-МР по спектральным классам иллюстрирует рис.1. Рис.2 показывает синтезированные изображения МСУ-100 и МСУ-МР (из шести полученных при синтезе спектральных зон при создании цветного изображения использованы 3 зоны, несущие информацию о биомассе растительности, температуре и влажности поверхности) и синтезированные спектры некоторых классов. Использование дополнительной температурной информации МСУ-МР позволяет однозначно интерпретировать класс 1 как водную поверхность, который иначе, при использовании только данных МСУ-100, было бы трудно отличить от гарей. Соответствующие зеленой растительности классы 2 и 5 имеют близкие спектры в зонах МСУ-100, однако в зонах МСУ-МР показывают существенно разную влажность и температуру. То же относится к классам 3 и 4, соответствующим почве.

Таким образом, несмотря на 16-кратное различие пространственного разрешения МСУ-100 и МСУ-МР, синтез их данных дал удовлетворительные результаты, позволив получить по данным МСУ-МР дополнительную информацию о классах, распознаваемых в данных высокого разрешения МСУ-100.

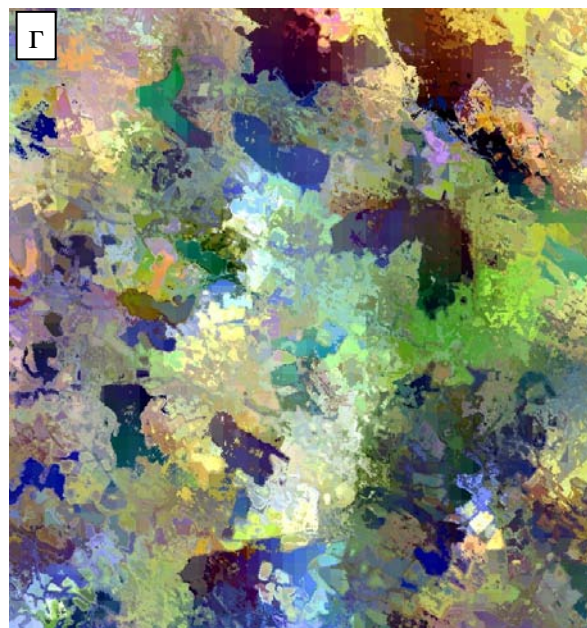
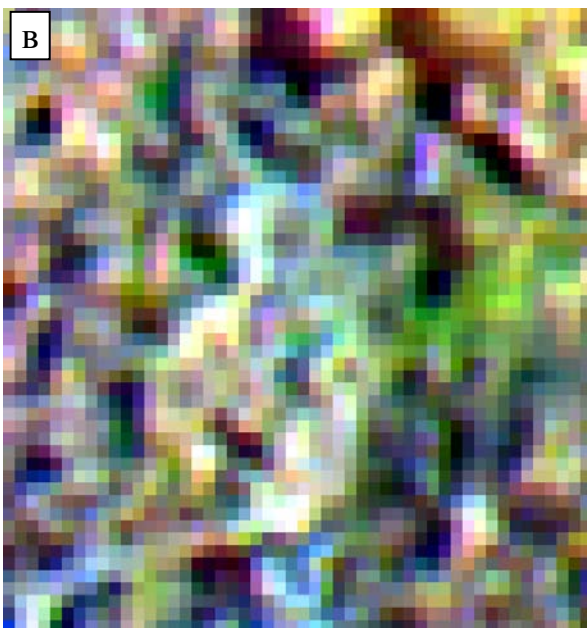
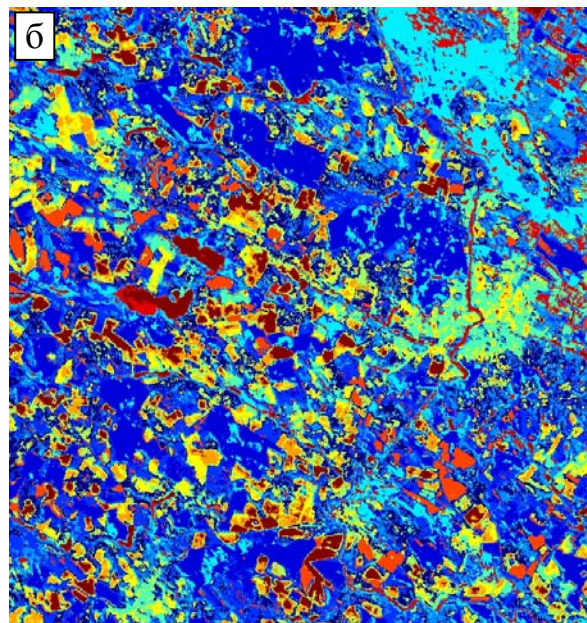
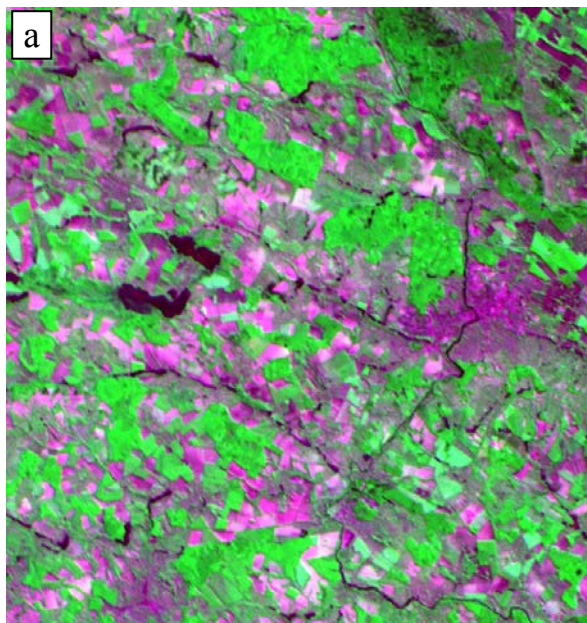
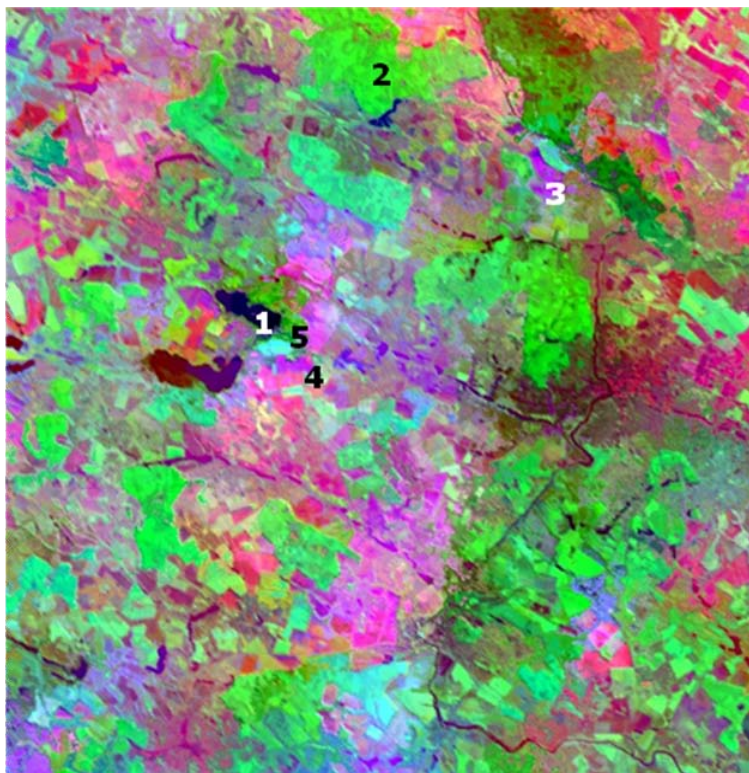


Рис.1. Разложение изображение МСУ-МР по спектральным классам: а - изображение МСУ-100 (60 м): R – 0.63-0.68 мкм, G – 0.7-0.9 мкм, В – 0.535-0.575 мкм; б - классификационная карта: 16 классов; в – исходное изображение МСУ-МР (1 км, предоставлено ОАО «Российские космические системы»): R – 10.5-11.5 мкм, G – 3.5-4.1



мкм, В – 1.6-1.8 мкм); г - изображение МСУ-МР, разложенное по спектральным классам: R – 10.5-11.5 мкм, G – 3.5-4.1 мкм, В – 1.6-1.8 мкм

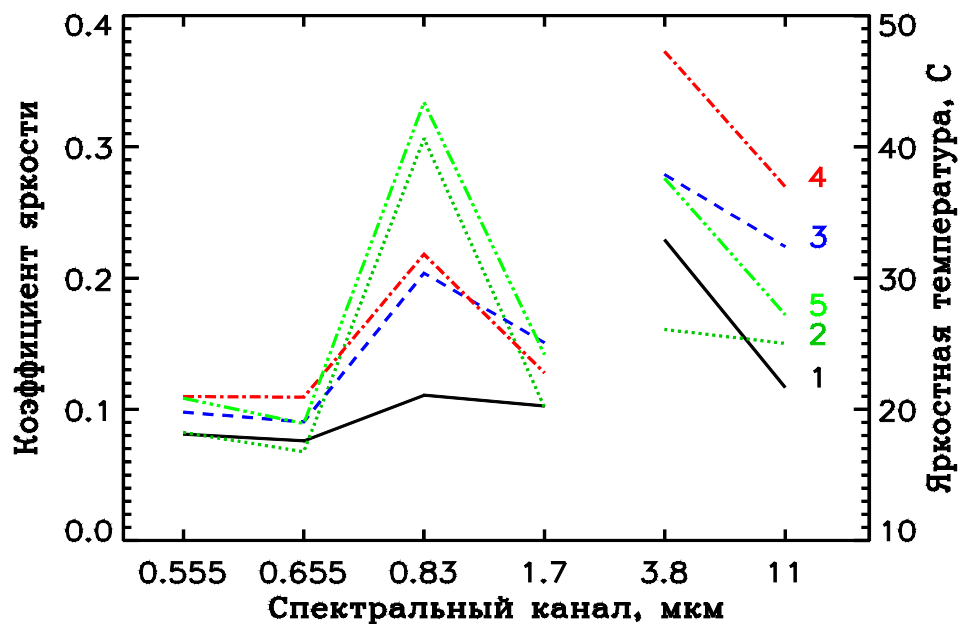


Рис.2. Синтезированное изображение (60 м): R – 10.5-11.5 мкм МСУ-МР, G – 0.7-0.9 мкм МСУ-100, В – 1.6-1.8 МСУ-МР и синтезированные спектры некоторых классов (внизу)

Б.С. Жуков. Радиометрический синтез данных съемочных систем на КА «Метеор-М» № 1. Девятая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, 14-18 ноября 2011 г. Тезисы доклада.

4.6.2. Разработка схемы и исследование характеристик МПД алгоритма для цифровых потоков на скоростях до 5 Гбит/с. Исследование методов повышения эффективности кодов и МТД алгоритмов для каналов спутниковой и космической связи при высоком уровне шума.

Отв. исп. д.т.н. Золотарев В.В. отд.71

Исследованы новые коды с более высокими кратными кодовыми скоростями, которые наиболее полно соответствуют задаче эффективной работы на скоростях до 5 Гбит/с на имеющейся в наличии элементной базе. Рассмотрены возможности более простых по количеству операций пороговых элементов, которые повышают адаптивность МПД алгоритмов к более высоким скоростям обработки. Найденные решения были проанализированы и протестированы методами программного моделирования, которое показало значительное ускорение работы пороговых элементов из-за уменьшения необходимого числа операций. Реальное быстроедействие всего МПД декодера было проверено на аппаратном макете, созданном на чипе с использованием ПЛИС Altera. В нём были реализованы подходы, описанные в новом патенте на изобретение автора №2377722 «Способ декодирования помехоустойчивого кода». Результаты макетирования подтвердили правильность предложенных технических решений, направленных на создание более быстрых реализаций программных и аппаратных МПД декодеров для каналов космической и спутниковой связи с большим уровнем шума.

Публикации

1. Золотарёв В.В., Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Развитие теории каскадных алгоритмов многопорогового декодирования // Труды НТОРЭС им. А.С. Попова. Вып.13-1. Пленарный доклад. 13-я межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение», М., 2011, с.9–12.
2. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Декодирование самоортогональных кодов с использованием min-sum алгоритма // Труды НТОРЭС им. А.С. Попова, вып.13-1, 13-я Межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение», М., 2011, С. 51–54.
3. Зубарев Ю.Б., Золотарёв В.В. Применение методов современной оптимизационной теории кодирования в цифровой радиосвязи. // В сб.: «IX Международная науч.-техн. конференция «Перспективные тех-нологии в средствах передачи информации», Т.1. Пленарный доклад Владимир-Суздаль, 2011, с.10-19.
4. Золотарёв В.В., Назиров Р.Р., Овечкин Г.В., Овечкин П.В. Оптимизационная теория многопорогового декодирования для современных систем ДЗЗ. // В сб.: «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Том 8, №3, Институт космических исследований РАН, М., 2011, с.47-54.
5. Золотарёв В.В., Назиров Р.Р., Чулков И.В. Цифровая связь при равенстве кодовой скорости и пропускной способности канала. // Девятая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Институт космических исследований РАН. Тезисы докладов. М., 2011, с.23.
6. Золотарёв В.В., Зубарев Ю.Б. Оптимизационная теория кодирования для современных систем цифровой радиосвязи // 66-я Всеросс. конф., НТОРЭС им. А.С. Попова, посв. Дню радио. Пленарный доклад. М., 2011, с. А-D.
7. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В., Овечкин П.В. Каскадные методы декодирования символьных помехоустойчивых кодов, основанные на многопороговых алгоритмах // Труды НТОРЭС им. А.С. Попова, 66-я Научная сессия, посвященная Дню радио», М., 2011, Том 1, С.245–247.

Исследования по данной тематике поддерживались грантом РФФИ № 08-07-00078.