

На правах рукописи

ШРАМКОВ Ярослав Николаевич

**РОЛЬ ГЛОБАЛЬНОГО
ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА
В ПРОЦЕССЕ ПОЛЯРНОГО ПЕРЕНОСА
В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ
ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО
СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 01.04.01 – приборы и методы
экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Handwritten signature of Yury Shramkov in black ink, with a long horizontal stroke underneath.

Москва
2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН)

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор
Шарков Евгений Александрович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
Успенский Александр Борисович

кандидат физико-математических наук
Ростовцева Вера Владимировна

Ведущая организация:

Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета

Защита диссертации состоится **15 февраля 2012 г. в 13:00** на заседании
диссертационного совета Д.002.113.01 при Учреждении Российской
академии наук Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН)
по адресу: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 84/32, 2-й подъезд,
конференц-зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКИ РАН.

Автореферат разослан 4 декабря 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.113.01
кандидат физико-математических наук



В. В. АКИМОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Первые исторические упоминания о процессах, формирующих климат планеты Земля, относятся к 3000 г. до н. э. В то время взгляды на климатологию существенно отличались от современных представлений, так как с развитием науки и техники значительно меняются представления о климатической системе. В настоящее время появляются новые возможности для получения данных наблюдений, а также для теоретического и экспериментального изучения физических процессов, влияющих на климат нашей планеты.

Климатическая система Земли формируется в результате нелинейных взаимодействий взаимосвязанных компонентов. К ним относятся атмосфера, гидросфера, криосфера, литосфера и биосфера. Природные среды получают энергию от Солнца в виде оптического излучения. Энергия оптических квантов превращается затем в механическую энергию движущихся масс, в потоки явной и скрытой теплоты, в химическую, электрическую и другие формы энергии. Хотя потоки входящего и уходящего излучений достаточно точно сбалансированы, природные среды отнюдь не стремятся к состоянию статического равновесия. Более того, процессы самоорганизации в земной климатической системе уводят ее все дальше и дальше от равновесия. В этом заключается специфика открытых систем, к которым принадлежит и Земля: процессы самоорганизации в таких системах приводят к образованию новых структур, тогда как стремление к равновесию предполагает разрушение структур.

Перенос тепла и влаги из получающих наибольшую долю солнечной энергии приэкваториальных областей по направлению к полюсам — полярный перенос — является важным элементом климатической системы планеты. Вместе с парниковым эффектом он создает благоприятные условия для жизни. При этом важным механизмом, осуществляющим полярный перенос, является эволюция интенсивных вихревых возмущений, при поддержке которых происходит формирование своеобразных каналов перекачки энергии, в первую очередь, в виде компактных областей скрытой теплоты водяного пара.

Этот эффект смог быть обнаружен благодаря методам микроволнового дистанционного зондирования, которые очень быстро развиваются в настоящее время. Несомненным плюсом этих методов являются: оперативность сбора информации, охват больших и зачастую труднодоступных районов, постоянное совершенствование техники, повышение ее чувствительности и расширение используемых частотных диапазонов.

Одними из важнейших объектов исследования методами дистанционного зондирования являются Мировой океан и атмосфера. Важность океанических процессов и их поверхностных проявлений для понимания ряда вопросов, с одной стороны, и фрагментарная обеспеченность контактными измерениями — с другой, сделали дистанционные методы незаменимыми при изучении климатических процессов. Большое значение при этом имеет радиотепловая локация морской поверхности, так как уходящее собственное излучение несет информацию о таких параметрах как температура и соленость поверхностного слоя воды, характеристиках морского волнения, которые непосредственно связаны со скоростью и направлением приповерхностного ветра. Также благодаря наличию линий поглощения кислорода и водяного пара в сантиметровом и миллиметровом диапазоне микроволновое спутниковое зондирование с успехом используется для изучения атмосферы.

За последние годы в области дистанционного зондирования Земли формируется своеобразное направление, цель которого заключается в детальном исследовании геофизических параметров окружающей среды по отношению к различным временным фазам эволюции природных катастроф. И, в первую очередь, это относится к атмосферным катастрофам, таким как тропические циклоны, воздействия которых приводят к значительным материальным ущербам. Однако попытки дистанционного исследования тайфунов сталкиваются с рядом трудностей и, в первую очередь, с отсутствием общепризнанной физической модели этого сложного геофизического явления и, соответственно, необходимых геофизических параметров, подлежащих измерению. Несмотря на значительные усилия исследователей по наблюдению и регистрации оптических и ИК-изображений тропических вихревых возмущений в различных фазах, общепринятых дистанционных критериев «близости» геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует. Принципиально новым шагом в изучении дистанционных критериев генезиса тропических циклонов следует считать результаты комплексных многочастотных оптических, инфракрасных и микроволновых спутниковых исследований эволюции оптического образа тропических возмущений в поле интегрального водяного пара, при анализе которых обнаружен фундаментальный вклад малоинерционного источника энергии, за счет

которого происходит формирование зрелых форм тайфунов, и переноса водяного пара глобальной циркуляцией и джетовыми потоками для поддержания функционирования развитых форм ураганов. Для полноценного экспериментального доказательства этого положения требуется исследование эволюции множественного циклогенеза в быстро изменяющемся поле водяного пара. Сложность проблемы заключается в том, что необходимо провести синхронный анализ дистанционной спутниковой информации двух стохастических процессов, обладающих принципиально различными пространственно-временными масштабными и структурными характеристиками. Первый процесс — тропический циклогенез — рассматривается как стохастический набор случайных событий (объектов), а именно, стохастический генезис тропических циклонов [Sharkov, 2000], и второй — как пространственное глобальное поле интегрального водяного пара со значительной пространственно-временной вариабельностью [Шарков и др., 2010]. Сочленение двух указанных баз данных, произведенное на минимальном временном интервале (в данном случае, на суточном временном пикселе), и использование их для исследования гидротермодинамических свойств системы океан — атмосфера является важнейшей составляющей при изучении климатических процессов. Все перечисленные выше факторы и определяют актуальность данной работы.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является исследование количественных характеристик влияния глобального тропического циклогенеза на процесс полярного переноса в атмосфере Земли с использованием данных микроволнового спутникового зондирования и выявление моментальных количественных характеристик содержания скрытой энергии в характерных зонах повышенной концентрации водяного пара. Все перечисленное, а также анализ исследований Е. А. Шаркова, развитием идей которого является настоящая диссертационная работа, определили ее основные задачи:

- разработка и создание специализированного программно-алгоритмического обеспечения для сопоставления двух различных стохастических пространственно-временных процессов: эволюции полей водяного пара и глобального тропического циклогенеза и представления результатов в виде анимационных последовательностей;
- проведение тематической обработки космических изображений для обнаружения малоинерционного источника энергии генезиса тропического циклогенеза;

- проведение тематической обработки космических изображений для исследования пространственно-временных свойств и физических особенностей полей глобального водяного пара;
- проведение тематической обработки космических изображений для исследования пространственно-временной однородности поля водяного пара, а также для проверки возможности существования критического количества водяного пара, необходимого для образования тропического циклона;
- проведение тематической обработки космических изображений для исследования количественных показателей полярного переноса и динамических особенностей полей водяного пара за семилетний период.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты обработки данных дистанционного зондирования подтверждают взаимосвязь полей водяного пара и тропического циклогенеза. Эта взаимосвязь выражается в существовании критического параметра циклогенеза.

2. Разработанная методика обработки спутниковых данных позволяет выявлять особенности полей водяного пара, и, с точностью до пиксела, предоставлять количественные данные о содержании скрытой энергии в зоне тропической конвергенции, шести фронтальных зонах и областях циклонов. Расчеты выполнены за семилетний период.

3. Анализ поведений материнского поля водяного пара, шести фронтальных зон и тропического циклогенеза как в индивидуальном, так и в глобальном масштабах.

Научная новизна

Новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Создано специализированное программное обеспечение для выявления особенностей двух стохастических процессов: глобальных полей водяного пара со значительной вариабельностью и глобального тропического циклогенеза как набор случайных событий.

2. Предложена методика для экспериментального выявления связей областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов, обусловленная обнаруженными значительными временными вариациями и выбросами скрытой теплоты в высокие широты.

3. Предложена и применена в ходе комплексных лабораторных экспериментов методика выделения и распознавания зон в глобальном поле

водяного пара, основанная на модификации алгоритма сегментации изображений «взращивания из семян».

4. Предложен оригинальный критический параметр тропического циклогенеза, полученный по значению водяного пара.

5. Предложены количественные оценки скрытой энергии центральной экваториальной зоны водяного пара, шесть фронтальных зон в атмосфере Земли.

6. Предложены количественные оценки влияния глобального тропического циклогенеза на процесс полярного переноса в атмосфере планеты Земля за семилетний период.

Достоверность

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием методов и подходов, апробированных в научной литературе и зарекомендовавших себя как надежные; для новых предлагаемых методов — сравнение с результатами других методов, а также с наземными данными.

Научная и практическая ценность работы

Диссертация выполнялась в соответствии с научными планами ИКИ РАН темы «КЛИМАТ. Изучение изменчивости климатических параметров и природные катастрофы различных масштабов: развитие и анализ физических механизмов, разработка современных методов обработки данных космического мониторинга климатических и экологических процессов» (государственная регистрация № 01.20.03 03440). Автор принимал участие в выполнении работ в рамках проекта РФФИ № 09-05-01019-а (государственная регистрация № 01201163571). Предложенный в диссертации подход к анализу микроволновых данных может быть применен для дополнения и развития существующих алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования. Полученные данные позволяют изучить более детальное взаимодействие между материнским полем водяного пара и процессами глобального тропического циклогенеза.

Данные будут также использованы для проверки существующих моделей циклогенеза, в которых делаются различные предположения об основных источниках энергии и процессах зарождения и функционирования тропических циклонов. Разработанный комплекс программ будет использован для анализа состояния зоны тропической конвергенции и влияния фронтальных зон на вынос энергии из этой зоны, а также

изучения роли глобального тропического циклогенеза. Применение разработанного программно-алгоритмического обеспечения позволит также исследовать изменчивость климата полярных регионов при проведении экспериментальных исследований в будущем, а методики и алгоритмы применимы и для других областей знания.

Личный вклад автора

Результаты, изложенные в диссертации, получены автором самостоятельно или с соавторами. Автору принадлежат:

- разработка программного обеспечения для проведения исследовательских задач;
- анимационные ролики, показывающие взаимосвязь глобального тропического циклогенеза и изменений водяного пара;
- воссоздание полей водяного пара на основе решения обратной задачи на период 1999–2006 гг. по полям радиояркостной температуры, полученным с помощью приборов серии SSM/I и хранящимся в базе данных GLOBAL-Fields;
- приведение файловой базы данных GLOBAL-TC к ее реляционному аналогу и создание механизма обмена и объединения информации с глобальными полями водяного пара;
- проведение исследований по изучению взаимодействия интенсивных вихревых возмущений с атмосферой экваториальной зоны и зоны средних широт на различных этапах эволюции атмосферных катастроф;
- разработка методики, выполняющей идентификацию и выделение зон в поле водяного пара;
- получение и обработка количественной информации о запасе скрытой энергии в «материнском» поле и фронтальных полях за семилетний период с частотой дискретизации данных один раз в сутки;
- проведение количественной оценки влияния глобального тропического циклогенеза на процесс полярного переноса за семилетний период с частотой дискретизации данных один раз в сутки;
- разработка методики вейвлет-анализа для идентификации изменчивости потоков внутри поля водяного пара и ее физическая интерпретация.

Апробация результатов

Результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором в период с 2009 по 2011 г. Они докладывались на следующих отечественных и за-

рубежных конференциях: 7-я Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (Москва, 2010); 8-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2010); 9-я открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 2011); 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment (Sydney, 2011); Conference on Stochastic Models and their Applications Dedicated to the 80th Birthday of Mátyás Arató (Debrecen, 2011). Результаты работы, изложенные в диссертации, обсуждались и докладывались на научных семинарах ИКИ РАН.

Публикации

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 работах, из них 7 статей в рецензируемых журналах из рекомендуемого перечня ВАК, 6 докладов на отечественных и международных конференциях.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, трех приложений и библиографии. В ней содержится **184** страницы, в том числе **73** рисунка и **4** таблицы. Библиография включает **87** наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава носит обзорный характер. В ней приведены основные теории, использующиеся в настоящее время для описания процессов полярного переноса, и основные сведения о циркуляции в атмосфере Земли. В главе также рассматривается, формирование представлений о тропическом циклогенезе, а также о различиях двух подходов: индивидуального и глобального циклогенеза. Представлены основные современные базы спутниковых данных. Приведены основные приборы и методы получения экспериментальных данных. Показано преимущество базы данных GLOBAL-TC для проведения данного эксперимента и рассмотрены преимущества хронологического, эволюционного и геофизических блоков.

Проведенный анализ теоретических и экспериментальных работ, посвященных вопросу полярного переноса и глобального тропического циклогенеза, позволил сделать следующие выводы:

- современные анализ развития и прогнозирования тропического циклогенеза — процесс не полностью исследованный, несомненно, существует множество факторов, оказывающих на него влияния; одним из них является глобальное поле водяного пара как источника энергии;
- глобальный тропический циклогенез — один из основных факторов, влияющих на межширотный перенос тепла и влаги — полярный перенос;
- изучение глобального тропического циклогенеза затруднительно с использованием классических методов метеорологии; существенный вклад в исследование атмосферных циркуляций вносит дистанционное зондирование Земли из космоса;
- приборы серии SSM/I являются удобным средством для анализа атмосферных процессов и в настоящее время с использованием этих приборов в мире накоплено наибольшее количество информации;
- существует несколько баз данных тропического циклогенеза и атмосферных физических величин, полученных с помощью микроволновых спутниковых данных;
- каждая из этих баз данных создается заинтересованными странами преимущественно для локального анализа и прогнозирования.
- в ИКИ РАН накоплены и созданы база данных глобального тропического циклогенеза и радиотепловых данных, отличающихся глобальным масштабом;
- с использованием существующих баз данных возможны детальный анализ влияния глобального тропического циклогенеза на полярный перенос в атмосфере Земли и получение количественной информации о запасах энергии в зоне тропической конвергенции и в зонах активности циклонической деятельности.

Во второй главе представлены основные принципы и метода создания комплексных хранилищ данных на примере программного обеспечения EVA. Представлены сведения об основных возможностях данного программного обеспечения и о методиках представления данных для исследований. В главе также представлены сведения о методике восстановления полей водяного пара по различным методикам и с использованием различных приборов и приведено их сравнение. В главе также приведены сведения о методиках вейвлет-преобразования, используемых в данных исследованиях, и результаты применения специального программного обеспечения Stream Handle для осуществления задач интерполяции данных дистанционного зондирования Земли.

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

Для автоматизации процесса и создания удобного средства анализа, работа с единичными текстовыми файлами представлялась нецелесообразной. Вследствие этого была создана реляционная база ADAM на базе Microsoft SQL Server. Ее назначение — не только создать удобное и быстроедействующее средство поиска необходимой информации по каждому тропическому циклону или группе, объединенных каким-либо общим признаком, но и обеспечить удобную передачу этой информации в блок автоматических утилит.

На рис. 1 приведена принципиальная схема устройства хранилища данных EVA-02.

Используя преимущества EVA-02, были созданы анимационные ролики, показывающие взаимосвязь глобального тропического циклогенеза

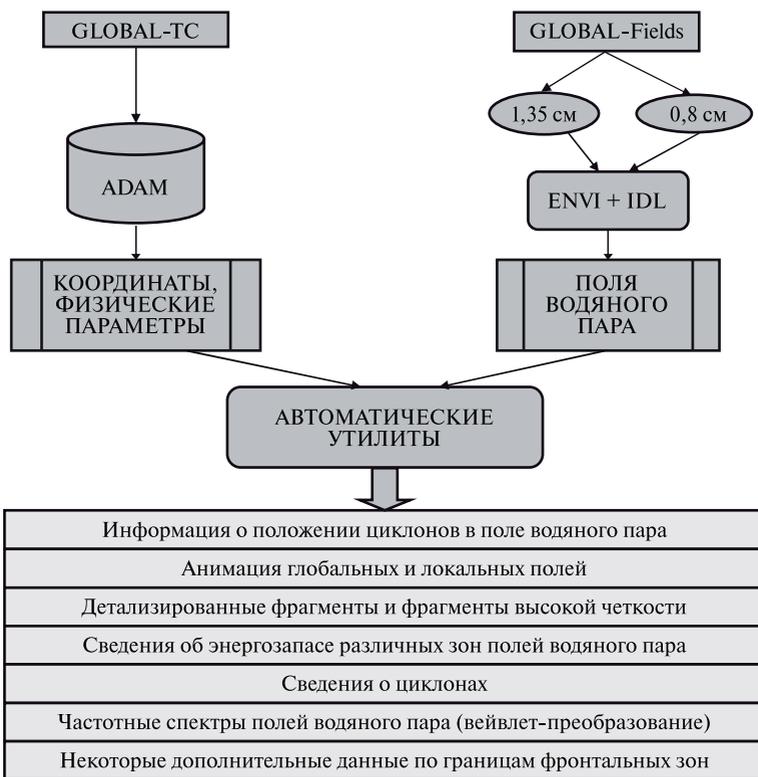


Рис. 1. Блок-схема хранилища данных EVA-02, которая включает дистанционную спутниковую информацию о двух стохастических процессах: GLOBAL-TC — исходная электронная база данных глобального тропического циклогенеза; GLOBAL-Fields — исходная база данных глобального радиотеплового поля, сформированная по спутниковым данным. Внизу диаграммы представлены типы продуктов хранилища данных EVA-02

и глобальных полей водяного пара. Пример такой анимации, в формате gif, представлен на сайте отдела «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН (http://www.iki.rssi.ru/asp/dep_coll.htm) и наглядно демонстрирует связь областей повышенной концентрации водяного пара и генезиса тропических циклонов. Один кадр из данной анимации представлен на рис. 2.

Помимо глобальной визуализации процессов требуется и локальное изучение генезиса тропических катастроф. С помощью EVA-02 возможно выделение локальных зон интереса и создание серии изображений, показывающей динамику развития тропического циклона. Пример такой серии изображений представлен на рис. 3. С использованием данных

серии изображений представляется возможным изучение особенностей эволюции интегрального поля водяного пара во время генезиса тропического циклона и наглядная демонстрация джетовых зон и зон влияния тропического циклона.

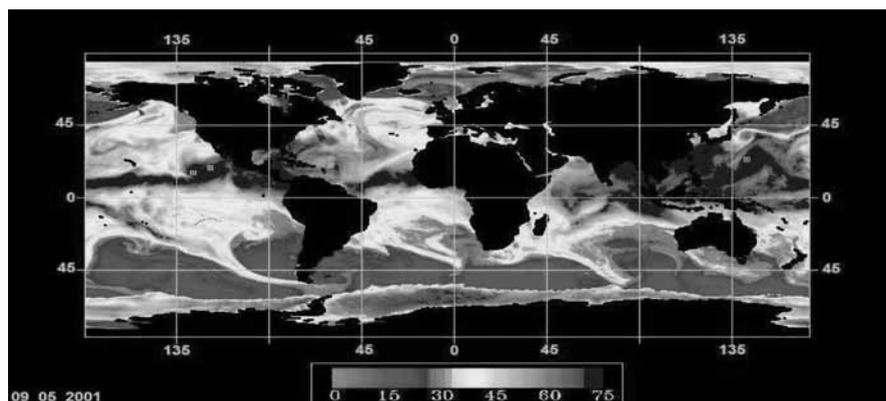


Рис. 2. Глобальное поле водяного пара в акваториях Мирового океана за 5 сентября 2001 г., центры облачных структур четырех тропических циклонов, функционирующих 5 сентября 2001 г. обозначены белыми квадратами

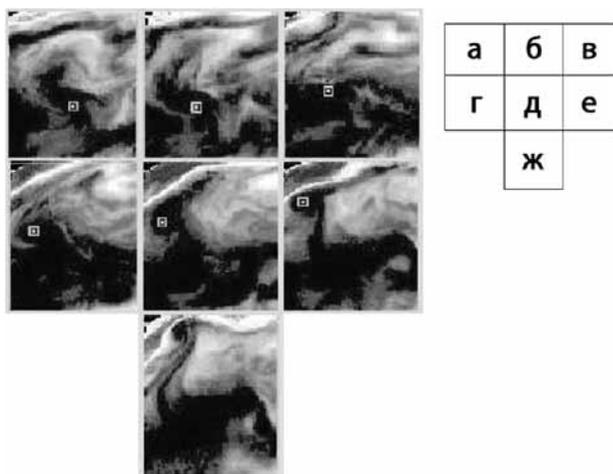


Рис. 3. Временная эволюция поля интегрально водяного пара в северо-западной части Тихого океана в присутствии ТЦ Francisco за 19–25 сентября 2001 г. Центры облачных структур обозначены белыми квадратами: а — 19.09.2001; б — 20.09.2001; в — 21.09.2001; г — 22.09.2001; д — 23.09.2001; е — 24.09.2001; ж — 25.09.2001

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

На рис. 4 представлен детализированный фрагмент Мексиканского залива во время функционирования тропического циклона Katrina (2005). Хорошо видны распределение зоны повышенной концентрации водяного пара вблизи ТЦ и особенности поведения поля внутри зоны действия тайфуна.

Одним из современных средств анализа является вейвлет-преобразование. В хранилище данных EVA-02 реализован блок, осуществляющий одномерное и двумерное преобразование с использованием вейвлета Морле:
$$\psi(t) = \exp\left(2\pi i t - \frac{t^2}{2}\right).$$

Данный тип исследований был направлен на выявление зон интенсивности в глобальном поле водяного пара и направлений циркулирующей энергии в поле водяного пара и в шести фронтальных зонах. Однако выявление энергообмена при прохождении тропических циклонов

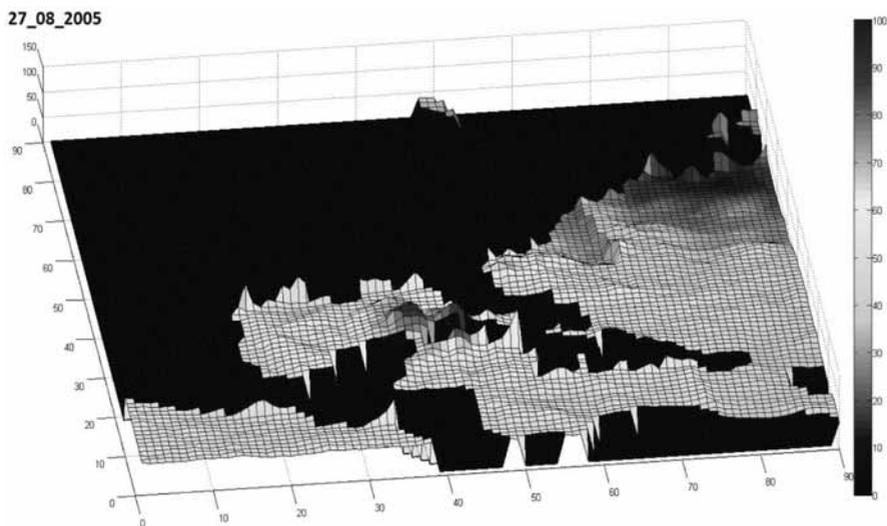


Рис. 4. Представление поля водяного пара на 27 августа 2005 г. в зоне Мексиканского залива во время функционирования ТЦ Katrina с использованием технологии сетчатых поверхностей. Координаты даны в локальной системе координат, количественные значения представлены в килограммах на метр квадратный

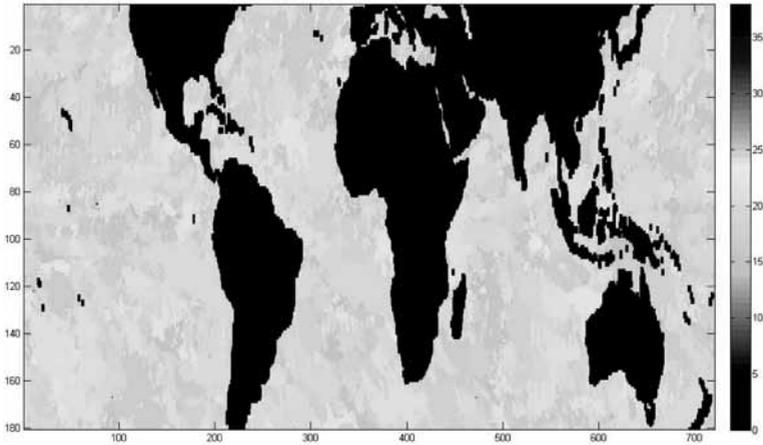


Рис. 5. Частотная карта направлений потока водяного пара, полученная с помощью вейвлета Морле на уровне дискретизации 30

сталкивается с определенными трудностями, такими как турбулентный поток, что требует дальнейших исследований и использования дополнительных математических моделей. На рис. 5 приведен пример частотной карты, полученной с помощью вейвлет-преобразования, показывающей, в первом приближении, определенные зоны с разным направлением потока энергии. Светлым зонам соответствуют области потока энергии, направленной от экватора к средним широтам, а более темным — зоны потока из средних широт к экваториальным областям. Полученные результаты, использующие данный тип обработки, хорошо коррелируют с модельными расчетами, отображенными в работах [Sohn, Park, 2010].

Вследствие того, что дискретизация данных представлена с частотой один раз в сутки, представляется затруднительным более точное изучение процессов полярного переноса, но при использовании определенных методов интерполяции становится возможным более детальное изучение взаимодействия полярного переноса и водяного пара. Одним из возможных решений данной проблемы является применение специализированного программного обеспечения. В диссертационной работе представлены первые результаты применения платформы Stream Handle (Израиль, <http://www.thefilex.com/SH/>) к задачам интерполирования радиотепловых данных.

В результате, с использованием разработанного в отделе «Исследование Земли из космоса» ИКИ РАН хранилища данных EVA-02, представилось возможным получить средство для анализа количественных характеристик полярного переноса и влияния на него глобального

тропического циклогенеза, а также энергозапаса в материнском поле водяного пара и во фронтальных зонах. Более того, применение данных технологий позволяет проводить исследования локального циклогенеза и физических особенностей данного процесса. Заслуживает внимания рассмотренная в главе технология применения вейвлет-преобразований, позволяющая более детально рассмотреть зоны перекачки энергий в поле. В главе представлены также основные положения интерполяции радиотепловых данных, позволяющие в будущем создать адекватную модель перераспределения энергии в поле водяного пара.

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных расчетов за 2001 г. по получению критического параметра циклогенеза. На рис. 6 графически представлена взаимосвязь концентрации водяного пара и перехода тропических циклонов в зрелые формы.

В главе представлены сведения о методе сегментации изображений в его применении к задачам климатических исследований и обработки данных дистанционного зондирования Земли, а также применения методов выделения границ объектов, основанных на методах использующих первую и вторую производные.

Сегментация изображений, применительно к решаемой задаче, решается с помощью модифицированного метода «вращения из семян». Отличительной особенностью данного метода является необходимость в начальной информации, а именно в координатах точки начала сегментации. Данной точкой служит положение центра циклона в заданный

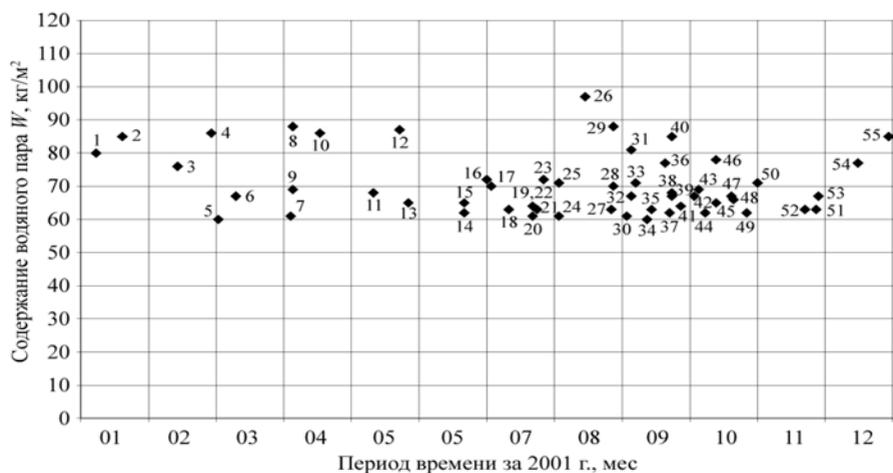


Рис. 6. Взаимосвязь концентрации водяного пара и времени перехода тропического циклона в зрелую форму

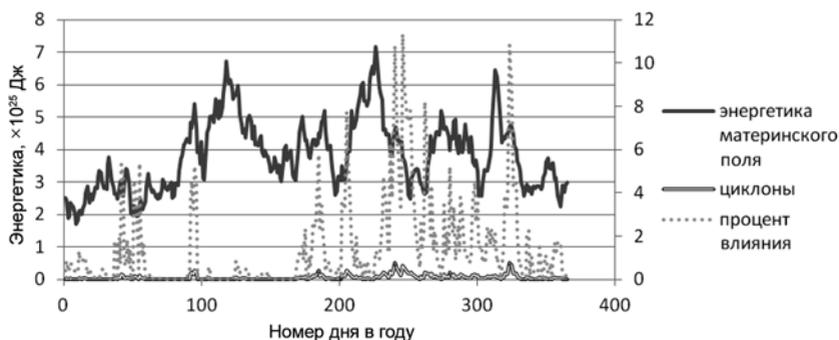


Рис. 7. Влияние глобального тропического циклогенеза на энергозапас материнского поля

момент времени. С использованием этой информации, в процессе работы алгоритма, происходит сравнения значений концентрации водяного пара в соседних, по отношению к начальной точке, пикселах. При достаточно близком соответствии концентрации происходит объединение соседних пикселей в единую зону, и присоединенные пиксели становятся начальными точками для соседних с ними пикселями. Этот процесс присоединения продолжается до тех пор, пока не нарушается условие близости концентрации водяного пара, которое зависит от относительного положения циклона в поле водяного пара. Для определенных положений циклона было введено дополнительное условие на расстояние между центром циклона и его границами. С использованием указанных выше методов удалось произвести анализ циклогенеза на сравнительно небольшом промежутке времени один год (на основе данных 2001 г.), для получения сведений о внутригодовых изменениях процессов. Это выразилось в виде графической и численной информации о площадях фронтальных зон, материнского поля водяного пара и площади тропических циклонов, а также аналогичных данных по состоянию энергозапаса данных зон. В главе представлены количественные данные влияния фронтальных зон на материнское поле водяного пара в 2001 г., а также представлены данные о влиянии глобального и локального тропического циклогенеза в 2001 году на энергозапас материнского поля. На рис. 7 представлен график влияния глобального тропического циклогенеза на материнское поле в 2001 г.

На рис. 7 также показана динамика энергозапаса материнского поля. В течение 2001 г. наблюдалось три энергетических пика, вызванных расширением материнского поля, за счет присоединения части зоны умеренных широт, в которой наблюдается увеличение концентрации водяного пара в эти периоды.

В результате в 2001 г. можно видеть динамику энергозапаса материнского поля от $1,8 \cdot 10^{25}$ до $7,1 \cdot 10^{25}$ Дж. Из этого энергозапаса осуществляется подпитка фронтовых зон и тропических циклонов. При этом затруднительно различить влияние самого материнского поля и сторонних факторов, это будет возможно только при увеличении пространственного и временного разрешения снимков. Фронтальные зоны, как одно из основных явлений, способствующих полярному переносу, обладают энергозапасом от $0,1 \cdot 10^{25}$ Дж (северо-восточный тихоокеанский фронт) до $5,5 \cdot 10^{25}$ Дж (юго-западный тихоокеанский фронт). Влияние глобального тропического циклогенеза варьируется от $0,01 \cdot 10^{25}$ до $0,5 \cdot 10^{25}$ Дж, что, в основном, существенно меньше влияния любого из фронтов. Вынос энергии глобальным тропическим циклогенезом варьируется от 0,01 до 10 % от энергозапаса материнского поля. Влияние тайфунов также отличается более сильным воздействием, нежели фронт, из-за маленькой площади и повышенной концентрации энергии на единицу площади и влияния на те зоны, где ослаблено влияние фронтов. Но, как будет показано далее, влияние глобального тропического циклогенеза из года в год существенно меняется.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных расчетов за период 1999—2006 гг. и включает информацию о физических трендах запаса водяного пара в «материнском» поле водяного пара и во фронтальных зонах. На рис. 8 представлена динамика энергозапаса материнского поля за указанный период.

Как видно из графика (см. рис. 8), наблюдается слабый восходящий тренд энергозапаса в течение этого периода. Был также замечен пик интенсивности, приходящийся на начало 2002 г., где энергозапас материнского поля достигает почти $9 \cdot 10^{25}$ Дж.

В главе также содержится информация о цикличности энергозапаса в шести фронтальных зонах и влиянии тропических циклонов на энергозапас материнского поля водяного пара. На рис. 9 представлены данные о динамике энергозапаса северо-западного тихоокеанского фронта (СЗТО).

Из данных рис. 9 хорошо видно, что энергозапас фронтальной зоны, и соответственно переноса в умеренные широты, «держится» на одном энергетическом уровне, но из-за сезонных влияний колеблется от $0,5 \cdot 10^{25}$ до $2,5 \cdot 10^{25}$ Дж.

В главе представлено погодное сравнение динамики изменений энергозапаса материнского поля водяного пара и шести фронтальных зон, а также рассматривается влияние глобального тропического циклогенеза на энергозапас материнского поля водяного пара.

В итоге, влияние глобального тропического циклогенеза на полярный перенос существует, и оно достаточно сильное. Если учитывать

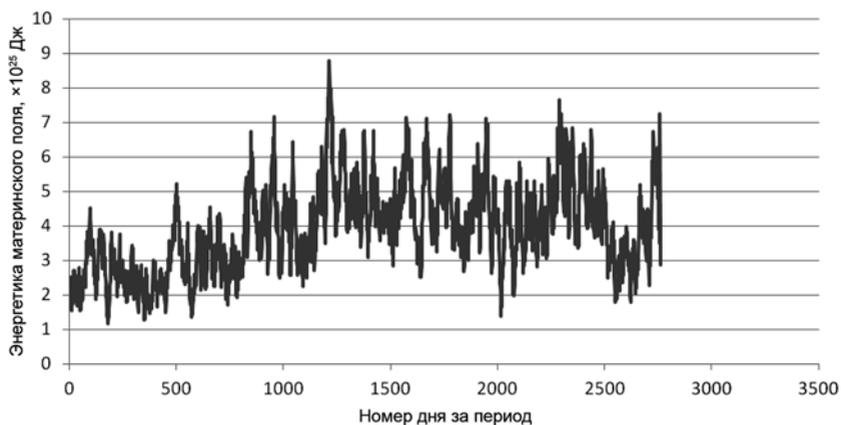


Рис. 8. Динамика энергозапаса материнского поля в период с 1999 по 2006 г.

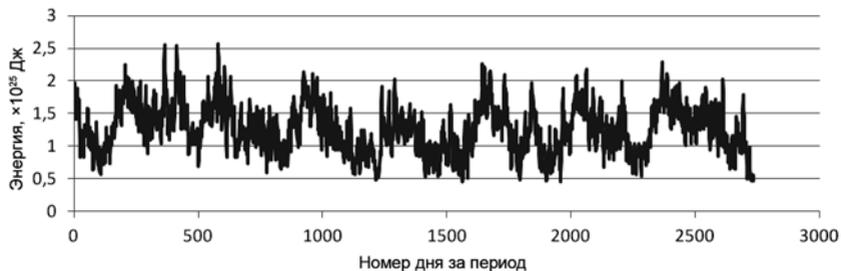


Рис. 9. Динамика энергозапаса СЗТО фронта за период с 1999 по 2006 г.

только энергетику, переносимую самим циклоном (по моментальным данным), и не учитывать обмены внутри поля, эта величина составляет $1 \cdot 10^{25}$ Дж. Средний уровень влияния в течение года существенно меньше и колеблется от $0,1 \cdot 10^{25}$ до $0,5 \cdot 10^{25}$ Дж. В течение анализируемого периода был замечен только один (2002) год, выбивающийся из общей статистики, это выразалось в повышенной интенсивности циклогенеза. Хотя основным источником переноса энергии из тропической зоны остаются фронтальные зоны, эти постоянно работающие механизмы обеспечивают перекачку постоянного уровня энергии из года в год с минимальными вариациями, но именно циклоны оказывают критическое воздействие на некоторые регионы, особенно те, которые обходят фронтальные зоны. Стоит отметить, что энергозапас самого циклона существенно уступает энергии фронта, как минимум в два раза, но при этом он и уступает по площади минимум в 10 раз. Тем самым влияние тропического циклона

существенно выше влияния фронта из-за создания своеобразного эффекта точечного влияния.

В Заключение сформулированы основные результаты работы.

В Приложении 1 представлены результаты расчетов энергозапаса и площади материнского поля водяного пара с дискретизацией один раз в сутки за период 1999–2006 гг.

Приложение 2 содержит количественные результаты для каждого циклона за период 1999–2006 гг. с данными об его площади и энергозапаса с дискретизацией не менее одного раза в сутки.

В Приложении 3 приводятся данные о совместном влиянии энергозапаса и площади всех действующих циклонов за период с 1999–2006 гг. с дискретизацией один раз в сутки.

Представленные в Приложениях 1–3 результаты являются подтверждением основных выводов, глав 3 и 4.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработано и создано хранилище данных EVA для проведения исследований взаимодействия двух различных стохастических процессов: высокочастотного, в плане вариаций, глобального поля водяного пара и глобального тропического циклогенеза. Архитектура EVA позволяет исследовать данные процессы как в глобальном, так и в локальном масштабе, и с различными вариантами представления данных. Также ее архитектура подразумевает под собой быстрое обновление содержащейся в ней информации, и сравнительно легкую интеграцию новых возможностей.

2. Проведена серия тематических исследований спутниковых микроволновых данных по изучению радиотеплового излучения системы океан – атмосфера, позволяющая, с использованием этой методики, основанной на решении обратной задачи, восстановить глобальное поле водяного пара за период 1999–2010 гг.

3. Разработан и реализован алгоритм сегментации изображений, позволивший выделить специальные области в глобальном поле водяного пара, а также зоны воздействия локального циклогенеза, что дает возможность рассчитать содержание скрытой энергии в данных областях.

4. Выполнен сравнительный анализ экспериментальных данных, получаемых с различных приборов и с различной степенью осреднения, результаты которого свидетельствуют о возможности использования разработанной методики (и разработанного программного комплекса). В частности, используемые в данной работе, данные из базы GLOBAL-

Field, с отклонением в 8 %, совпали и с данными, полученными с помощью приборов серии AMSR.

5. Разработана методика исследования вариабельности материнского поля водяного пара с помощью вейвлет-преобразования для определения зон постоянства и зон повышенного обмена.

6. Проведены детальные исследования геометрии материнского поля водяного пара и концентрации содержащегося в нем водяного пара. На основе полученного анализа получен новый параметр, необходимый для зарождения и генезиса тропических циклонов.

7. Проведены исследования энергозапаса материнского поля водяного пара, шести фронтальных зон, индивидуального и глобального циклогенеза. На основе полученных данных произведен первичный анализ энергообмена между материнским полем водяного пара и фронтальными зонами и глобальным тропическим циклогенезом. Выявлены новые особенности функционирования фронтальных зон, а именно периодичность процесса и практически полное ежегодное совпадение количества переносимой ими энергии в зону умеренных широт в течение периода 1999–2006 гг.

8. Получены и проанализированы данные по величинам скрытой энергии, переносимой тайфунами, и получены первичные результаты, показывающие вклад глобального тропического циклогенеза в процесс полярного переноса, его влияние на перенос энергии между зонами материнского поля и фронтальными зонами и его влияние на географические зоны, в которых слабо влияние фронтальных переносов. Получены также некоторые новые особенности постоянного сложного взаимодействия в атмосфере, которое необходимо учитывать при исследованиях процесса обмена между теплом и влагой.

9. Создана принципиально новая база данных количественных энергетических характеристик поля водяного пара, которая позволяет проводить оценку взаимодействия климатических систем, с учетом их энергозапаса и влияния этих систем на процесс полярного переноса в атмосфере.

Цитированная литература

[Шарков и др., 2010] Шарков Е. А., Ким Г. А., Покровская И. В. Множественная генерация тропического циклогенеза в Южном Индийском океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 75–85.

[Ruprecht, 1996] Ruprecht E. Atmospheric Water Vapour and Cloud Water: an Overview // Adv. Space Research. 1996. V. 18. N. 7. P. 5–16.

[Sharkov, 2000] *Sharkov E.A.* GLOBAL Tropical Cyclogenesis. Berlin; Heidelberg; L.; N. Y. etc.: Springer/PRAXIS, 2000. 361 p.

[Sohn, Park, 2010] *Sohn B.J., Park S-C.* Strengthened tropical Circulations in Past Three Decades Inferred from Water Vapor Transport // *J. Geophysical Research.* 2010. V. 115. N. D15112.

Публикации по теме диссертации

Статьи в журналах из рекомендованного перечня ВАК:

1. *Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В., Раев М.Д.* База данных тропического циклогенеза и глобального поля водяного пара с использованием объектно-реляционных технологий // *Исследование Земли из космоса.* 2010. № 6. С. 5–10.

2. *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.

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. 287–294.

4. *Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В.* Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона на примере ТЦ Francisco (2001) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2011. Т. 8. № 3. С. 310–316.

5. *Хазиахметов М.Ш., Шрамков Я.Н., Захарова Т.В.* О применении вейвлет-анализа в задачах климатических исследований // *Обзорные прикладной промышленной математики.* 2011. Т. 18. Вып. 1. С. 153.

6. *Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Шарков Е.А., Шрамков Я.Н.* Возможности построения краткосрочных глобальных радиотепловых изображений системы океан–атмосфера на базе программной платформы Stream Handle // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2011. Т. 8. № 3. С. 9–16.

7. *Шарков Е.А., Шрамков Я.Н., Покровская И.В.* Повышенный интегральный водяной пар в тропической зоне как необходимое условие генезиса атмосферных катастроф // *Исследование Земли из космоса.* 2012. № 2. С. 50–57.

Труды и тезисы докладов

1. *Шрамков Я.Н., Шарков Е.А., Покровская И.В., Раев М.Д.* Особенности мониторинга тропического циклогенеза в глобальном поле водяного пара // 8-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2010; Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 79.

2. *Шрамков Я. Н., Шарков Е. А., Покровская И. В.* Разработка реляционной базы глобального тропического циклогенеза // 8-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2010: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 97.

3. *Ермаков Д. М., Чернушич А. П., Шарков Е. А., Шрамков Я. Н.* Возможности построения краткосрочных глобальных радиотепловых изображений системы океан — атмосфера на базе программной платформы Stream Handle // 8-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2010: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 62.

4. *Шарков Е. А., Шрамков Я. Н., Покровская И. В.* Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара // 8-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2010: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 152.

5. *Шарков Е. А., Шрамков Я. Н., Покровская И. В.* Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона (ТЦ) на примере ТЦ Francisco (2001) // 8-я открытая Всероссийская ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 14–18 ноября 2010: Тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 162.

6. *Шрамков Я. Н., Шарков Е. А., Покровская И. В., Раев М. Д.* О возможности формирования объектно-реляционной базы данных глобального циклогенеза в поле водяного пара в контексте климатических исследований // 7-я Конференция молодых ученых, посвященная Дню космонавтики. Москва, ИКИ РАН, 12–13 апреля 2010: Сб. тез. конф. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 73.

055(02)2

Ротапринт ИКИ РАН
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32

Подписано к печати 8.11.2011 г.

Заказ 3262

Формат 70×108/32

Тираж 100

1 уч.-изд. л.