

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее опасных и разрушительных видов природных катастроф являются тропические циклоны (тайфуны, ураганы). Их влиянию подвержены территории более 50 стран мира, в которых проживает более половины населения земного шара (Бондур и др. 1997, 2009а; Gray, 1975). Наибольший ущерб от тропических циклонов вызывается ураганскими ветрами, сопровождающимися ливнями, штормовыми нагонами воды и наводнениями. Поэтому чрезвычайно важным является детальное изучение этих опасных природных явлений и организация мониторинга зон их зарождения и эволюции для принятия эффективных мер по предупреждению населения об их приближении и снижению последствий от их воздействий.

Проблема тропического циклогенеза неразрывно связана с глобальными изменениями, обусловленными вариациями климата, социальными и экономическими аспектами. Тропические циклоны выступают как наиболее деструктивные элементы системы океан–атмосфера, приносящие большие экономические потери и приводящие к многочисленным человеческим жертвам. Поэтому исследование глобального тропического циклогенеза является предметом многих национальных и международных программ изучения окружающей среды. При этом особое внимание уделяется исследованию взаимодействия океана и атмосферы с учетом термодинамики и кинематики тропической атмосферы на различных пространственно-временных масштабах как элемента влияния на процессы глобального циклогенеза. Сложность возникающих здесь задач обусловлена высоким уровнем неравновесности глобальной системы океан–атмосфера, включая крупномасштабные атмосферные циркуляции и явления типа ENSO (Эль-Ниньо/Южная осцилляция), Эль-Ниньо, Ла-Ниньо и др. (Бондур и др., 2009а; Крапивин, 2010).

Тропические циклоны, их генерация и эволюция носят стохастический характер, и в связи с этим изучение, обнаружение и прогнозирование этих атмосферных, часто катастрофических, процессов требует развития нетрадиционных подходов, обеспечивающих как непрерывное наблюдение за ними, так и формализованное описание на уровне синтеза моделей различного уровня разрешения в пространстве и времени. Такие подходы были развиты многими авторами, накопленный опыт которых излагается в данной монографии.

Наиболее трудно решаемой является задача обнаружения тропических циклонов на начальной стадии их развития, так как на этом этапе их эволюции в нижней и средней тропосфере обычно имеет место слабо выраженная циклоническая циркуляция, относительно пониженное атмосферное давление и мощный слой влажного воздуха. Одновременно на начальные тропические возмущения оказывают влияние некоторые внешние крупномасштабные силы, усиливающие интенсивность тропических циклонов. Термодинамические процессы на ранней стадии формирования тропических циклонов играют второстепенную роль. Это обстоятельство позволяет упростить

численное моделирование механизма формирования крупномасштабных вихрей над зоной теплой воды на поверхности океана, акцентируя основное внимание на роль динамики ветровых потоков.

Для решения задачи раннего выявления, наблюдения и исследования динамики развития тропических циклонов, прогноза и предупреждения таких катастрофических природных процессов требуется применение современных методов и средств мониторинга. Особо важную роль при решении этих задач играют космические методы и системы (Бондур и др., 1997, 2005, 2009а; Савин, Бондур, 2000).

Современные спутниковые системы, а также воздушные средства, буйковые и наземные метеорологические станции поставляют огромное количество информации, обработка которой позволяет приблизить решение задачи обнаружения тропических циклонов на начальной стадии их зарождения и в последующем предсказывать их развитие и перемещение в пространстве. При сборе информации, поступающей с этих систем, создаются базы данных глобального циклогенеза, использование которых позволяет создавать комплексные методики исследования тропических циклонов и развивать модели и алгоритмы для выявления их информативных признаков.

Настоящая монография обобщает накопленный опыт изучения и мониторинга таких катастрофических процессов в системе океан–атмосфера, как тропические циклоны, прежде всего космическими методами. Книга состоит из восьми глав.

Предметом первой главы является изложение накопленной информации о тропических циклонах. Описываются физические характеристики, стадии развития и шкалы для классификации этих катастрофических природных процессов. Особое внимание уделяется структуре, условиям и физическим механизмам их зарождения. Дается характеристика базовых процессов в системе океан–атмосфера, обеспечивающих смену фазовых состояний этой системой и указываются корреляции между статистическими показателями циклогенеза и глобальным климатом. Проводится анализ различных гипотез о причинах зарождения тропических циклонов. Механизмы их генерации связываются с особенностями радиотеплового поля Земли и излагаются методы его контроля. Обсуждается термическая гипотеза зарождения тропических циклонов как одна из ранних гипотез, выдвинутых на основе наблюдений за температурой поверхности океана. Дается характеристика теорий и моделей различных атмосферных процессов, которые так или иначе связаны с зарождением и развитием этих природных катастроф. Обращено внимание на то, что тропический циклон, как крупномасштабный гидродинамический процесс в атмосфере, неустойчив, и для его параметризации может быть использована феноменологическая модель неустойчивости второго рода. Рассмотрены и другие модели образования и развития тропических циклонов, такие как модели фазовой неустойчивости, потенциального вихря, спиральной турбулентности, трехмерная модель зарождения тропических циклонов. Приведена статистика тропических циклонов.

Вторая глава настоящей книги посвящена анализу взаимосвязи тропических циклонов с состоянием и изменениями климата, а также выявлению и исследованию проявления различных факторов, влияющих на вариации климата в процессах зарождения и эволюции этих опасных природных процессов на границе океана и атмосферы. Показано, что рост числа природных катастроф, прежде всего тропических циклонов, связан с такими климатическими изменениями, как глобальное потепление в тропических широтах. Описывается влияние явлений типа ENSO, Эль-Ниньо, Ла-Ниньо на частоту зарождения и характеристики тропических циклонов. Отмечается, что важ-

нейшую роль в исследовании тропических циклонов как интерактивного элемента глобальной климатической системы играют методы и средства глобального мониторинга окружающей среды, прежде всего спутниковые, а также климатические модели.

В третьей главе монографии излагаются сведения о методах, технологиях и технических средствах космического мониторинга зон тропического циклогенеза. Рассматриваются возможности различных существующих спутниковых систем глобального мониторинга, а также метеорологических станций, включая систему буйков, расположенных в тропической зоне Мирового океана. Отмечается, что одной из нерешенных проблем современного природного мониторинга является наличие неопределенности в структуре использования технических средств сбора данных о состоянии подсистем окружающей среды. Обсуждаются технические и информационные ресурсы для контроля чрезвычайных явлений в системе океан–атмосфера. Описываются основные характеристики и дается оценка возможностей спутниковых систем мониторинга тропической зоны Мирового океана, в том числе метеорологических спутников на околополярных и геостационарных орбитах, космической системы наблюдения Земли EOS, спутников серии DMSP, перспективной космической системы JPSS (NOOESS) и других космических средств различных стран. Существенное внимание уделено системному подходу и методам космического мониторинга зон тропического циклогенеза. Описаны особенности применения методов дистанционного зондирования для регистрации значимых параметров этих опасных природных явлений, а также методики сбора и обработки космических данных для исследования тропических циклонов и способы накопления информации об их зрелых формах. Рассматриваются также методы анализа взаимодействия этих опасных природных явлений с различными средами.

В четвертую главу включены результаты исследований из космоса различных физических процессов в зонах тропического циклогенеза. Детально проанализированы температурные факторы и их роль в формировании тропических циклонов. Приведены результаты исследований полей температуры поверхности океана в Северной Атлантике в период активного циклогенеза на основании спутниковых и других данных. Установлена четкая зависимость аномальной активности тропических циклонов высоких категорий с повышенной температурой поверхности океана, которая наглядно подтвердилась в сезоны тропических циклонов 2005 и 2010 годов. На основании космических данных СВЧ- и ИК-диапазонов спектра электромагнитных волн проанализированы энергетические особенности тропических циклонов с учетом их кинетических и термодинамических параметров, а также стадий развития. При этом проведена оценка энергии как отдельных тропических циклонов, так и группы тропических циклонов, зародившихся и функционировавших в южной части Индийского океана. Предложена методика анализа энергетических особенностей тропических циклонов на основе космических данных, которая может быть использована для всех зон тропического циклогенеза. Приведены результаты исследований электризации ураганов и проникновения электрического поля в ионосферу Земли. На основании результатов обработки данных, полученных со спутниковых навигационных систем, установлено влияние таких крупномасштабных атмосферных вихрей на ионосферу. Проанализированы физические особенности воздействия элементарных частиц на тропические циклоны и показано, что уменьшение потока космических частиц в результате Форбуш-эффектов приводит к понижению температуры воздуха на уровне тропопаузы, усилению конвекции, что вызывает усиление урагана и изменение его траектории.

Пятая глава монографии посвящена применению информационных технологий для решения задач глобального тропического циклогенеза. Рассмотрены подходы к обнаружению моментов зарождения тропических циклонов и показано, что при поиске наиболее надежной и информативной методики принятия решений для оценки состояния системы океан–атмосфера необходимо применять методы изучения нестационарных случайных процессов. В качестве альтернативы предлагается метод, основанный на использовании индикатора неустойчивости фазовых состояний системы океан–атмосфера, являющийся признаком зарождения тропических циклонов. Расчет этого индикатора осуществляется на основе комбинированного использования методов кластерного анализа и теории перколяции с учетом возможностей теории последовательного анализа. Описаны принципы организации и структура системы мониторинга, а также процедуры поиска зон зарождения тропических циклонов и способы принятия решений об их обнаружении на основе спутниковых и наземных данных.

В шестой главе монографии рассмотрены глобальные проблемы тропического циклогенеза и методы оценки рисков принятия решений. Описаны многочисленные подходы к прогнозированию эволюции зародившихся кризисных форм системы океан–атмосфера. Изложение материала построено таким образом, чтобы читатель получил необходимые знания о физических процессах, управляющих развитием тропических циклонов, а также о современном уровне моделирования путей их движения и оценки интенсивности. Широко представлены результаты численного моделирования отдельных тропических циклонов и дан анализ эффективности развитых методов синтеза моделей поведения системы океан–атмосфера на различных стадиях зарождения тропических циклонов, моделей круговорота углерода в Мировом океане и моделей процессов в магнитосфере как элемента тропического циклогенеза. Описаны алгоритмы оценки риска принятия статистических решений и показатели эффективности управления рисками от таких природных катастроф.

В седьмой главе монографии рассматриваются общие подходы к сбору и систематизации исходной космической информации о тропических циклонах, принципы создания и методика формирования современных баз данных глобального циклогенеза. При этом особое внимание уделяется согласованию пространственно-временных показателей разноплановых источников информации и автоматизации этапов ее использования. Представлена комплексная методика исследований тропических циклонов на основе баз космических данных глобального циклогенеза. Рассмотрены алгоритмы реконструкций пространственных распределений характеристик системы океан–атмосфера на основе баз данных. Проанализированы возможности использования сформированных баз космических и других данных для решения задачи дифференцирования тропических циклонов по их повторяемости, видам траекторий и получения прогностических рекомендаций о выходе тропических циклонов в определенный регион. Описаны различные алгоритмы реконструкции пространственных распределений характеристик системы океан–атмосфера на основе баз данных спутниковых и наземных данных, в том числе путем: восстановления данных мониторинга методом дифференциальной аппроксимации; решения обратной задачи при идентификации геофизических параметров; рандомизированной линейно-ломаной аппроксимации; применения метода гармонических функций для восстановления данных микроволновой радиометрии в замкнутой области; квазилинеаризации для приближенного решения уравнения имитационной системы; эволюционного моделирования.

В восьмой главе настоящей книги описаны социально-экономические аспекты последствий от тропических циклонов и способы борьбы с ними. Тропические циклоны рассматриваются как катастрофические события в окружающей среде. Приводятся многочисленные примеры разрушительных воздействий тропических циклонов. Излагается теория оценки риска от тропических циклонов. Рассмотрено воздействие тропических циклонов на многообразные среды и проанализированы последствия этого воздействия. Описана экспертная система для изучения глобальных изменений и глобального анализа последствий от тропических циклонов. Рассмотрены подходы к защите от тропических циклонов, гипотезы и сценарии борьбы с этими катастрофическими природными явлениями. Описаны некоторые эксперименты по уничтожению тропических циклонов. Однако анализ способов воздействия на эти природные катастрофы заслуживает написания отдельной книги.

Книга будет полезна специалистам в области мониторинга окружающей среды, метеорологии, изучения изменений климата, исследования взаимоотношений человеческого общества и природы, геополитики, международных отношений и методологии междисциплинарных исследований, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов старших курсов. Особый интерес она может представлять для разработчиков систем аэрокосмического мониторинга и пользователей данными дистанционного зондирования, а также разработчиков информационных технологий мониторинга в сфере охраны населения от катастрофических природных явлений.