

Глобальный тропический циклогенез: широтное распределение энергозапаса по данным спутникового мониторинга

Г.А. Ким¹, И. В. Покровская², Е. А. Шарков²,

¹*Научный центр аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос»
105064 Москва, Гороховский пер., 4
E-mail: kim@isintech.com*

²*Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: easharkov@iki.rssi.ru*

В статье рассмотрены пространственно-временные особенности глобального тропического циклогенеза по информации, полученной из базы данных ИКИ РАН «ГЛОБАЛ-ТЦ», сформированной за 22 года (1983-2004гг). Приведены результаты анализа количественных оценок как глобальных, так и региональных распределений интенсивности циклогенеза. Проанализирована роль мезомасштабной изменчивости глобальных циркуляций и явлений ENSO в формировании тропического циклогенеза. Построены картины глобальных распределений тропического циклогенеза по акваториям Мирового океана.

Введение

Одним из важных аспектов исследования системы океан-атмосфера является изучение вклада интенсивных вихревых возмущений (типа тропических циклонов) в термодинамику и кинематику тропической атмосферы в различных временных масштабах. Эта проблема тесно связана с задачей изучения возможных вариаций климата планеты. Кроме того, в настоящее время экспериментальная задача о выявлении количественных различий в интенсивностях циклогенеза полушарий Земли является весьма актуальной в связи с определением роли мезомасштабной изменчивости глобальных циркуляций и явления Эль-Ниньо - Южное колебание (ENSO) в формировании тропического циклогенеза [1, 2].

Фундаментальной основой глобального подхода является изучение структурных особенностей эволюции тропических возмущений, рассматриваемых в виде модели стохастического потока однородных событий в региональных и глобальных масштабах. Исследование этих проблем является одним из важных аспектов исследования системы океан-атмосфера при изучении вклада интенсивных вихревых возмущений в термодинамику и кинематику тропической атмосферы на различных временных масштабах. Эта проблема тесно связана с задачей изучения влияния на глобальный циклогенез возможных вариаций климата, с проблемами выявления степени неравновесности глобальной системы океан-атмосфера, а также с исследованиями влияния крупномасштабных атмосферных циркуляций и явления ENSO на особенности циклогенеза [1].

Первые целенаправленные исследования глобального тропического циклогенеза как стохастического потока событий показали его сложную иерархическую структуру в диапазонах масштабов от времени жизни единичного образования до климатических масштабов и позволили сформировать предварительные статистико-количественные модели [1]. Экспериментальные статистические модели такого типа играют определяющую роль в формировании и разработке предлагаемых спутниковых проектов для изучения крупномасштабных катастроф [1-6].

Интенсивные вихревые структуры в тропической атмосфере могут возникнуть в любое время года (до полугода) в тропической зоне каждого из океанов (за исключением акваторий в юго-восточной части Тихого океана и южной Атлантики, атмосфера над которыми обладает резко уменьшенным интегральным содержанием водяного пара [7], что и является, по-видимому, основной причиной отсутствия циклогенеза в данных акваториях). Особенности циклогенеза в каждой акватории связаны как

термодинамическими (температура поверхности океана, вертикальный профиль и интегральное содержание водяного пара), так и циркуляционными (пассаты, восточные волны) особенностями атмосферы в данном широтном поясе [8-10]. Эта комбинация параметров, вообще говоря, приводит к серьезным пространственно-временным вариациям в каждом циклогенерирующем регионе в зависимости от рассматриваемых пространственно-временных масштабов. При этом в масштабах года имеет место известная и достаточно устойчивая пространственно-очаговая картина распределения как центров генерации [1, 11-12], так и пространственной приуроченности траекторий движения циклонов. При рассмотрении такой усредненной пространственно-временной картины могут быть выделены и другие вполне однозначные регулярности энерго и массо переноса, некоторые из которых будут рассмотрены ниже.

Бассейн Мирового Океана может быть условно подразделен на шесть циклогенерирующих акваторий, каждая из которых обладает, кроме общих черт, связанных с циклогенезом, и своими собственными специфическими пространственно-временными свойствами. В таблице 1 представлены активные регионы (зоны) тропического циклогенеза [1, 11].

Таблица 1. Зоны тропического циклогенеза

<i>Название зоны</i>	<i>Аббревиатура</i>	<i>Координаты зоны</i>
Северная часть Атлантического океана	АТЛ	5-35° с.ш., 20-100° з.д.
Северо-восточная часть Тихого океана	СВТО	5-35° с.ш., 100-180° з.д.
Северо-западная часть Тихого океана	СЗТО	5-35° с.ш., 100-180° в.д.
Юго-западная часть Тихого океана	ЮЗТО	5-30° ю.ш., 130° в.д.-130°з.д.
Северный Индийский океан	СИО	5-25° с.ш., 50-100° в.д.
Южный Индийский океан	ЮИО	5-30° ю.ш., 30-130° в.д.

Исходные данные и методика обработки

Развиваемый в настоящей работе методический подход базируется на представлении временного потока интенсивности тропических циклогенезов первичных и зрелых форм как случайного потока однородных событий, не интересуясь детальной структурой и внутренней динамикой каждого индивидуального тропического образования (в равной степени как первичной, так и зрелой формы ТЦ) [1, 14].

Исходные данные за 1983-2004 гг. по глобальному циклогенезу первичных и развитых форм ТЦ были заимствованы из систематизированной базы данных (БД) дистанционных наблюдений глобального тропического циклогенеза «Глобал - ТЦ», сформированной и развитой в ИКИ РАН с учетом сценарного принципа усвоения спутниковых и наземных данных [11, 13]. База данных первичных форм ТЦ, а также тропических возмущений (восточные волны, фронты, пассатные возмущения), являющихся «триггерами» для процесса тропического циклогенеза, во всех активных акваториях Мирового океана за 1999-2004 гг. была сформирована на вычислительной платформе БД «Глобал-ТЦ» при помощи объектового анализа (препроцессинга) (см. более детально в [1, 11]), систематизации и архивации первичной информации по состоянию тропической зоны, регулярно (ежесуточно) получаемой в течении всего указанного периода наблюдения по системе Internet из основных международных центров наблюдения.

Для решения задач регионального циклогенеза хронологический каталог был сформирован по шести регионам Мирового океана, являющимися наиболее активными генераторами тропических возмущений в процессе глобального циклогенеза. В таблице 2 приведен фрагмент базы данных «Глобал-ТЦ», содержащий отдельный файл с информацией по прохождению в северной Атлантике тропической волны (TW), которая является одним из спусковых (триггерных) механизмов «запуска» тропического циклона

[8, 9, 10] . Отметим, что рассматриваемая тропическая (восточная) волна «пришла» из Африки, пересекла Атлантический океан, континентальную часть Северной Америки и «вышла» в северо-восточную часть Тихого океана (где ей был присвоен новый номер).

Таблица 2. Фрагмент базы данных глобального тропического циклогенеза «Глобал-ТЦ»

TC Number= ATL 04-1 TC Name= - All Points= 3

<i>N</i>	<i>Stage</i>	<i>Date</i>	<i>Time</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>	<i>Pres</i>	<i>Wind</i>	<i>Shift</i>	<i>Vel</i>
1	TW	05/10	21	15.0	-82.0	-	5	W	10
2	TW	05/11	3	15.0	-83.0	-	5	W	5
3	TW	05/11	21	15.0	-89.0	-	5	W	10

TW leaves the Atlantic basin. (See TW NEP 04-1).

Для обработки столь обширного потока данных (в общей сложности 4,5 тыс. файлов) базы «Глобал-ТЦ» была написана специальная программа, позволяющая строить траектории прохождения тропических циклонов в акватории Мирового океана (в проекции Меркатора), а также рассчитывать гистограммы (диаграммы) интенсивности тропического циклогенеза по широтам и зонам.

В результате были построены картины глобального распределения и диаграммы интенсивности циклогенеза за период 1983-2004гг., подробно рассмотрены широтные распределения по зонам в течение 2003 года.

Оценка широтного распределения интенсивности глобального тропического циклогенеза

Проведем анализ распределения количества тропических циклонов в каждой из зон Мирового океана на примере 2003 года. По данным базы данных «Глобал-ТЦ» в 2003 году зафиксировано 336 мезомасштабных структур и возмущений в различных зонах Мирового океана, имеющих непосредственное отношение к генезису ТЦ (методика накопления систематизации и архивации первичной информации по состоянию тропических зон приведена в [11]). На рисунке 1 приведена диаграмма распределения количества тропических возмущений по активным зонам Мирового океана, из которой следует, что наибольшее количество мезомасштабных возмущений было зафиксировано в северо-восточной части Тихого океана (96 образований) и в Атлантике (95 образований). Отметим, что более половины всех тропических возмущений Мирового океана формируется в акваториях Тихого океана (более 54%) .

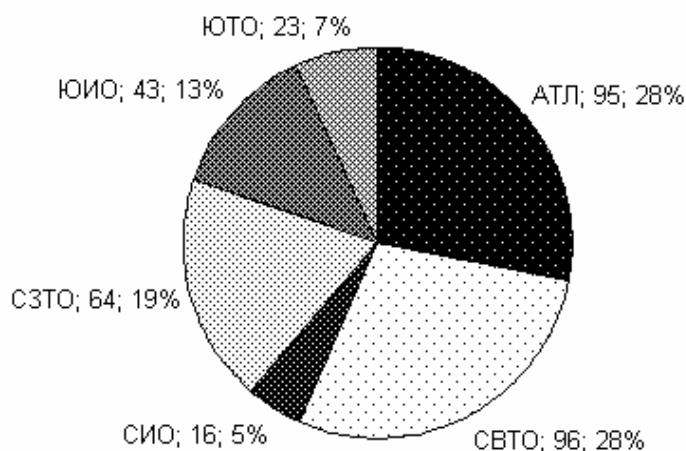


Рис. 1. Диаграмма распределения количества тропических возмущений по активным зонам за 2003г.

Анализ траекторий движения тропических циклонов в 2003 г. (рис. 2) выявил, во-первых, зональность в распределении тропического циклогенеза, а, во-вторых, пространственное распределение стадий тропических циклонов по широтам и долготам.

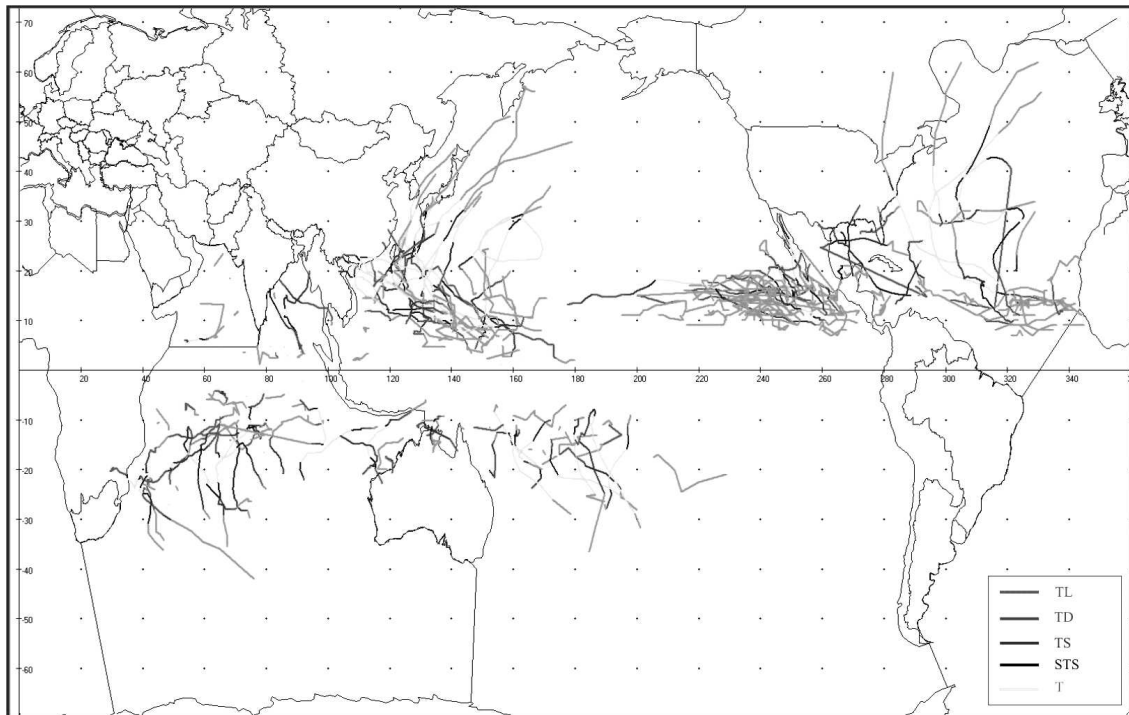


Рис. 2. Глобальное распределение траекторий тропических циклонов, построенное по данным базы «ГЛОБАЛ-ТЦ» за 2003 год

Важную роль в анализе влияния тропического циклогенеза на формирование климата планеты играет вводимый в данной работе показатель интенсивности (I_k), величина которого соответствует общему времени нахождения всех ТЦ в широтном глобальном поясе, равным 5 градусам, за период времени, равным рассматриваемому году. По величине этого показателя можно оценить количество скрытой энергии, запасенное в области, приуроченной к телу ТЦ и переносимое тропическим циклоном в высокие широты (см. характерные примеры такого тепло и массо- переноса на глобальных картах микроволнового излучения системы океан-атмосфера в линии поглощения водяного пара, приведенные в работе [7]). Для расчета данного показателя все зоны тропического циклогенеза были разбиты на пятиградусные широтные зоны, в каждой из которых фиксировалось положение тропического циклона и время его пребывания в зоне. Подсчет количества циклонов и времени их пребывания в данном пятиградусном поясе (зоне) проводился в соответствии со следующей формулой:

$$I_k = \sum_{i=1}^{N_k} t_{ik} \quad (1)$$

где N_k – количество циклонов в данном широтном поясе по всем активным акваториям;

t_{ik} – время нахождения конкретного (i - того) тропического возмущения в k -ой широтной зоне ;

$k = 1, 2, 3 \dots$ - индекс зоны (положительный - в северном полушарии, отрицательный – в южном полушарии).

На рисунке 4(а-е) приводятся диаграммы широтного распределения интенсивности глобального тропического циклогенеза. Для их построения использовалась база данных «Глобал-ТЦ» за 2003 год.

Для каждой зоны тропического циклогенеза была построена своя диаграмма широтного распределения. Из анализа диаграмм следует, что интенсивность тропического циклогенеза весьма неравномерна и при этом каждая зона обладает своим запасом энергии. Максимальный показатель I наблюдается в северо-восточной зоне Тихого океана на широтах $15-20^\circ$ и равна 7122 часов. Следующей по интенсивности является Атлантическая зона – 4755 часов. Наименьшая интенсивность наблюдается в северной части Индийского океана; каждая зона обладает своей протяженностью вдоль меридиана, наиболее широкая – северо-восточная часть Тихого океана.

Из сводной диаграммы (Рис. 4а-е) соотношения интенсивности в различных зонах, следует, что образование циклонов происходит на широтах $5-10^\circ$, а наибольшей интенсивности они достигают в районе $15-20^\circ$. Отметим, что интенсивности тропического циклогенеза в северном полушарии больше, чем в южном.

Общая сводная диаграмма (рис. 4ж) показывает соотношение интенсивностей всех зон – сколько вкладывает каждая из них. Отметим, что максимальная интегральная (по всем зонам) интенсивность циклогенеза в Северном полушарии значительно (почти в четыре раза) превосходит интенсивность Южного полушария. Образование циклонов обычно происходит на широтах $5-10^\circ$, а наибольшей интенсивности циклогенез (как интегральный процесс) достигает в районе $15-20^\circ$.

Ниже рассмотрим аналогичные диаграммы за период с 1983 по 2004 год.

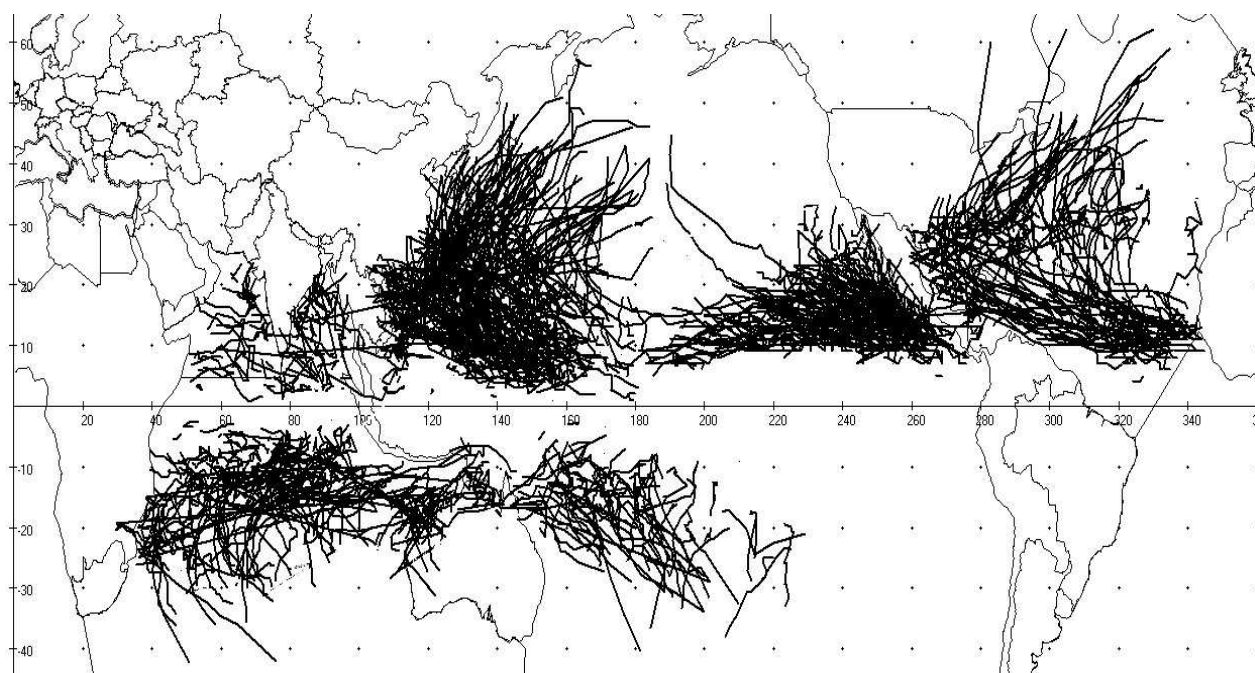


Рис. 3. Глобальное распределение траекторий тропических циклонов, построенное по данным базы «ГЛОБАЛ-ТЦ» за 22 года

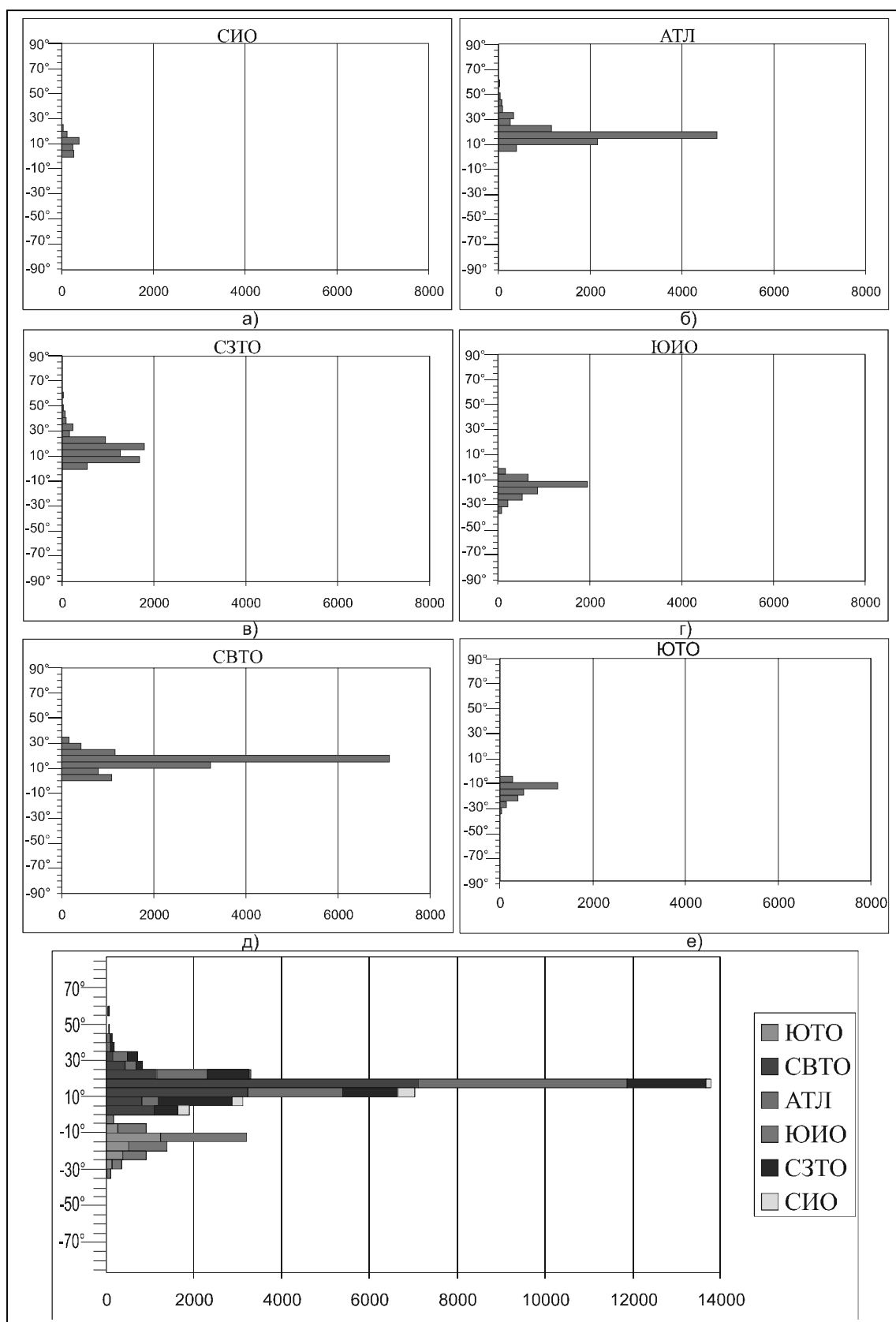


Рис. 4. Широтное распределение интенсивности тропических циклонов за 2003 год. По оси абсцисс отложено количество часов, по оси ординат - широта: (а-е) – по зонам; ж - диаграмма, показывающая вклад каждой зоны в глобальный тропический циклогенез

Гистограммы широтного распределения за 20 лет

Для анализа интенсивности тропического циклогенеза была разработана методика формирования и накопления статистического сигнала по дистанционным данным тропического циклогенеза первичных (после 1999 г.) и развитых (1983-2004 гг.) форм, рассматриваемого по полушариям и по времени нахождения тропических циклонов (условно - интенсивность) в соответствующем широтном поясе. Интенсивность рассчитывалась в соответствии с формулой 1. Плотности распределений амплитудных характеристик интенсивности циклогенеза Северного и Южного полушарий за срок 1984-2004 гг. представлены на рисунке 5. Отметим, что учет первичных форм (произведенный после 1997г.) резко увеличивает как максимальную интенсивность в распределении (Рис.6б), так и среднее значение по распределению (Рис. 6в.). При этом отметим, что широты, на которых достигаются максимальные значения интенсивности (Рис. 6а) и средние значения интенсивности (Рис. 6г) практически не изменились. Важно отметить, что жестко сохраняется сильная асимметрия в положении широт для этих характеристик для Северного (20 градусов с.ш.) и Южного (10 градусов ю. ш.) полушарий. Также отметим, что отсутствует явная зависимость от фазы ENSO.

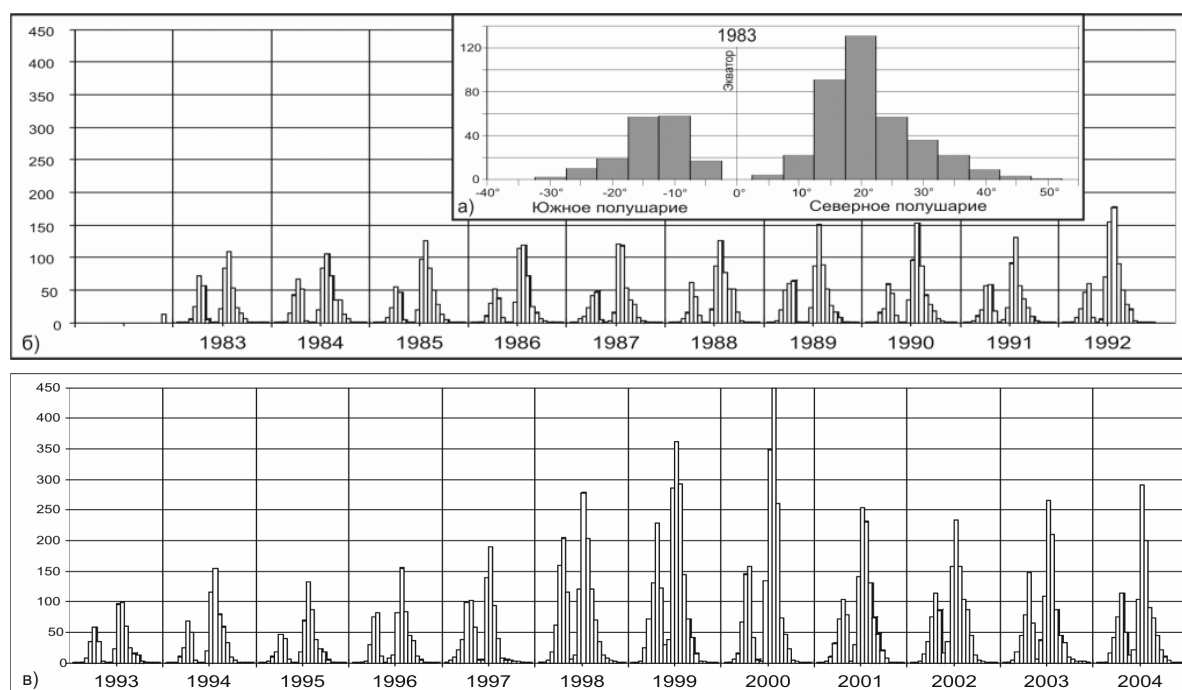
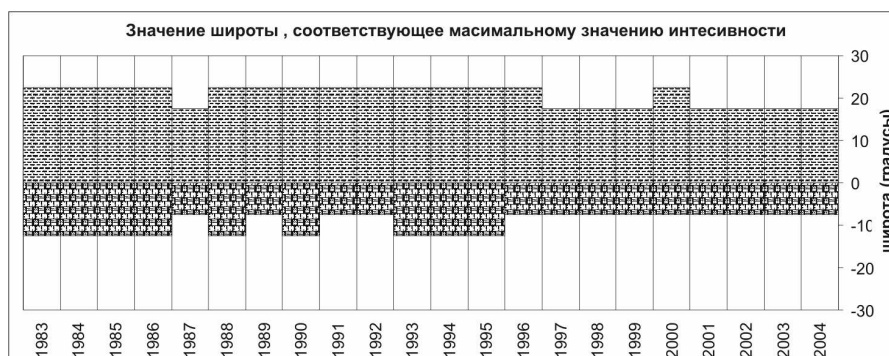
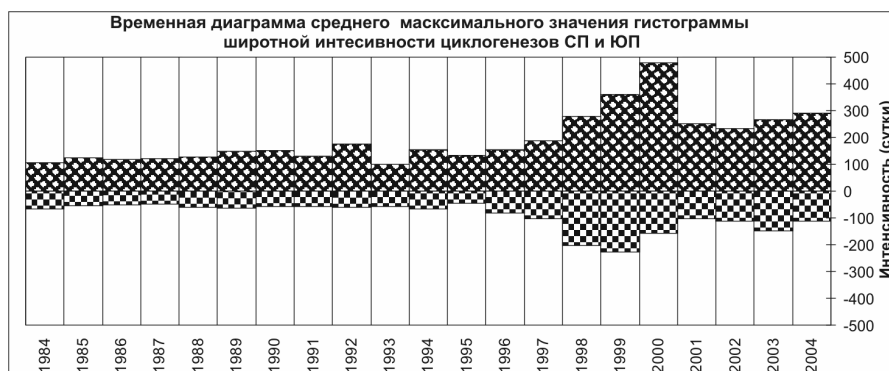


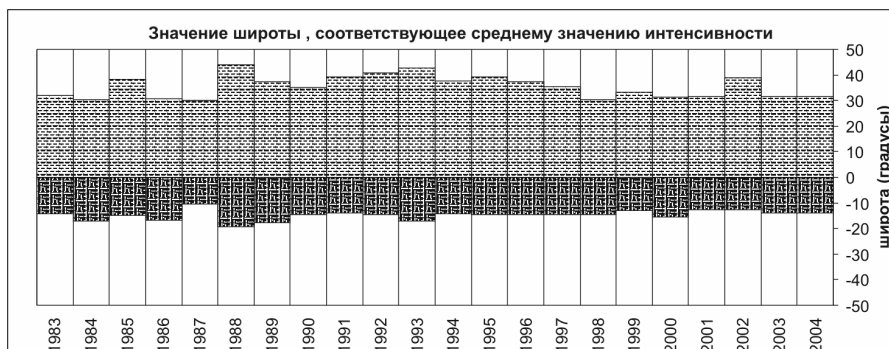
Рис. 5. Диаграмма, отображающая широтное распределение глобального тропического циклогенеза: а) структура широтного распределения, построенного за 1983 г.; б) с 1983 по 1992 гг.; в) с 1993 по 2004 гг.



а



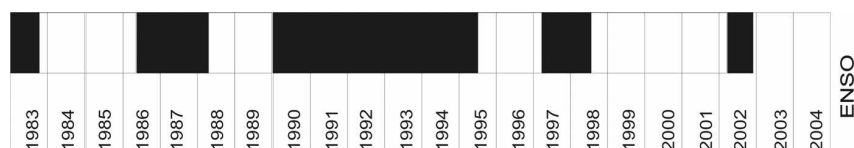
б



в



г



д

Рис. 6. Гистограммы, характеризующие интенсивность глобального тропического циклогенеза за двадцатилетний период - (а-г); гистограмма, отображающая наличие ENSO в период с 1983 по 2002 гг. – (д)

Заключение

Рассмотрение вопросов, предпринятых в данной работе, - один из важных аспектов исследования системы океан—атмосфера при изучении вклада интенсивных вихревых возмущений в термодинамику и кинематику тропической атмосферы на различных временных масштабах (от года до 22 лет).

По результатам анализа проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- каждая зона обладает определенной протяженностью вдоль меридиана, наиболее широкая – северо-восточная часть Тихого океана;

- интенсивность тропического циклогенеза неравномерна, каждая зона обладает своим запасом энергии;
- максимальный показатель интенсивности наблюдается в Северо-восточной зоне Тихого океана и в Атлантической зоне на широтах 15- 20°.
- наименьшая интенсивность наблюдается в северной части Индийского океана;
- образование циклонов происходит на широтах 5-10°, а наибольшей интенсивности циклогенез (как процесс) достигает в районе 15-20°;
- интенсивность тропического циклогенеза в Северном полушарии больше, чем в Южном.

Литература

1. *Sharkov E.A.* Global Tropical Cyclogenesis // Chichester, UK, Praxis Publishing, 2000. 370 p.
2. *Шарков Е.А.* Атмосферные катастрофы: эволюция научных знаний и роль дистанционного зондирования // «Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса». Сборник научных статей. Том 1. М.: “GRANP polygraph”. 2005. С. 55-62 .
3. *Аванесов Г.А., Галеев А.А., Жуков Б.С., Зиман Я.Л., Митрофанов И.Г.* Проект «Экос-А»: научные космические исследования и построение моделей глобальных экологических и климатических процессов и природных кризисных ситуаций // Исследование Земли из космоса, 1992. № 2. С. 3-14.
4. *Бондур В.Г., Савин А.И.* Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях // Исследование Земли из космоса, 1992. № 6. С. 70-78.
5. *Анфимов Н.А., Гордеев С.П., Сенкевич В.П., Моисеев С.С., Цибульский Г.А., Шарков Е.А.* Проект «Зодиак»: контактное зондирование кризисных ситуаций атмосферы с помощью ракетно-космической техники // Исследование Земли из космоса, 1995. № 2.С. 12-21.
6. *Балезанов В.М., Моисеев С.С., Шарков Е.А., Лупян Е.А., Калмыков А.И., Забышиный А.И., Кузьмин А.К., Смирнов Н.К., Цымбал В.Н., Чиков К.Н.* Проект «Геликс»: космический мониторинг системы океан-тропосфера-верхняя атмосфера в условиях крупномасштабного кризисного состояния // Исследование Земли из космоса, 1996. №5. С. 106-113.
7. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Глобальное радиотепловое поле системы океан-атмосфера // «Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса». Сборник научных статей. Том II. М.: “GRANP polygraph” . 2005. С. 8 -16.
8. *Руткевич П.Б.* Методы описания крупномасштабных атмосферных вихрей типа тропического циклона // Препринт № Пр-2073. Москва, ИКИ РАН. 2002. 61 с.
9. *Руткевич П.Б., Шарков Е.А.* Физический механизм генезиса вихревых возмущений в сжимаемой и насыщенной водяным паром атмосфере // Препринт Пр-2102. Москва, ИКИ РАН. 2004. 11с.
10. *Berry G. J. and Thorncroft C.* Case study of an intense African Easterly wave // Monthly Weather Review. 2005. V. 133. №4. P. 752-766.
11. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1 (1983-2000). Москва, Полиграф сервис, 2001. 548 с.
12. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Исследование пространственно-очаговой структуры тропического циклогенеза применительно к задачам спутникового мониторинга // Исследование Земли из космоса, 1994. №6. С.3-12.
13. *Покровская И.В., Руткевич П.Б., Шарков Е.А.* Сценарный принцип усвоения спутниковой и наземной информации в контексте задач исследования атмосферных катастроф // Исследование Земли из космоса, 2004. № 3. С. 32-42.
14. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Структурные особенности глобального циклогенеза тропических возмущений применительно к проблемам спутникового мониторинга // Исследование Земли из космоса, 1999. №3. С. 3-13.