

Особенности региональных тропических циклогенезов в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного зондирования

Е.А. Шарков, И.В. Покровская

Институт космических исследований РАН

117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mail: easharkov@iki.rssi.ru

На основе анализа результатов дистанционных и гидрологических наблюдений за 1983- 2003 г.г. показано, что основной характерной структурной особенностью циклогенеза тропических циклонов (ТЦ), возникших в циклоногенерирующих акваториях Мирового океана, является отсутствие жесткой границы при их формировании в поле поверхностной температуры океана (ТПО), рассматриваемой как среднемесячной многолетней (контактные измерения температуры в верхнем квазиоднородном слое океана), а также то, что региональные циклогенезы обладают своеобразными диапазонами поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм ТЦ («размытые диапазоны, «экстремумы с хвостами», «дельта – образные» формы гистограмм). При этом показан устойчивый характер статистических гистограмм интенсивности распределений генезиса ТЦ от температуры поверхности океана в момент перехода в зрелые формы тропических возмущений (ТПО - среднемесячные многолетние значения) как при выборке за 21 год (1983 - 2003гг), так и выборке за 5 лет (2002 - 2006гг) в активных акваториях Мирового океана. Таким образом, использование единого критерия на температуру отсечки по циклоногенерирующим акваториям Мирового океана непродуктивно. Работа поддержана РФФИ в рамках проекта N 09-05-01019-а.

Ключевые слова: тропические циклоны, температура поверхности океана, циклоногенерирующие акватории.

Введение

За последние годы в проблеме дистанционного зондирования Земли формируется своеобразное направление, цель которого заключается в детальном исследовании параметров окружающей геофизической среды по отношению к различным временным фазам эволюции природных катастроф. И в первую очередь это относится к природным атмосферным катастрофам, таким как тропические циклоны (ТЦ), воздействие которых приводит к значительным материальным ущербам [1-4].

Дистанционное изучение первичных форм ТЦ и окружающей их геофизической среды занимает особое место в программах дистанционного мониторинга тропических возмущений. В первую очередь, надо отметить задачи прогнозирования возникновения первичных форм возмущения и последующего перехода индивидуального первичного тропического возмущения в развитую форму ТЦ, а также детального дистанционного исследования структурных, динамических и термодинамических особенностей тропического возмущения непосредственно в момент образования зрелой формы ТЦ.

Однако попытки дистанционного исследования первичных форм тропических возмущений сталкиваются с целым 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 отдельных (и фрагментарных) оптических и ИК изображений тропических вихревых возмущений в различных фазах (см., например, [2-3, 9]), окончательных дистанционных критериев

«близости» геофизической среды к генерации индивидуального тропического возмущения и к кризисному моменту перехода в развитую форму пока не существует.

С другой стороны, уже достаточно давно [5] сложилось представление о наборе так называемых «необходимых» (и в значительной степени феноменологических) геофизических параметров, при которых должна происходить генерация мезомасштабных вихревых устойчивых систем в тропической атмосфере (в климатологическом аспекте). Этот набор считается своего рода классическим и является неперенным атрибутом большинства изданий, касающихся обсуждения вопросов генерации тропических циклонов (см., например, [6-9]). Одним из главных пунктов этого набора (и его часто называют «первым необходимым условием для возникновения тайфунов» [см., например, 8-9]) является высокие значения поверхностной температуры, превышающие (обязательно) 26°C ($26,3 - 26,8^{\circ}\text{C}$) (так называемая критическая температура или температура «отсечки» (“cutoff ”)) при глубоком верхнем квазиоднородном слое океана (глубоком термоклине). Однако, следует сказать, что при этом каких-либо серьезных экспериментально-обоснованных доказательств авторы не приводят, ссылаясь на теоретическое указание Палмена, сделанное в 1948 г. и воспроизведенное в 1969 г. [7]. Кроме того, авторы, как правило, не поясняют - какое температурное поле они имеют ввиду – измеренное стандартными океанологическими методами на глубине 1-2 м или дистанционными (ИК тепловыми и микроволновыми) методами – т.н. температуру скин-слоя. Вопросы о количественном значении температуры «резкой отсечки» («sharp cutoff») и о физических причинах появления критической температуры дискутируется на самых различных уровнях – начиная от научной литературы и кончая научно-популярными публикациями и Интернет – сайтами, предназначенными для широкой публики

Существует и другая точка зрения. Так, ряд авторов [10] называет подобное представление «заблуждением» («fallacy»), при этом, однако, в свою очередь, так же не представляя соответствующих строгих экспериментальных доказательств. Разумеется, этот вопрос достаточно сложный, поскольку необходимо корректно учитывать пространственно-временную изменчивость двух стохастических процессов – поля поверхностной температуры и глобального тропического циклогенеза, которые обладают существенно различной временной вариабельностью [11]. Кроме того, отметим, что теоретики оперируют абстрактной температурой, которую достаточно сложно привязать к наблюдаемым дистанционно или получаемых из натуральных измерений температурных полей. Океанологи, в свою очередь, под поверхностной температурой океана понимают среднюю по глубине температуру в верхнем перемешанном (квазиоднородном) слое воды (до термоклина) и исключают из рассмотрения самый верхний приповерхностный слой с сильным температурным градиентом, поскольку, по их мнению, вклад этого слоя в теплозапас деятельного слоя океана пренебрежительно мал [12–13].

Указанная проблема (поиск «критической» температуры), разумеется, достаточно актуальна для проблем дистанционного зондирования, поскольку при доказательстве наличия «резкой отсечки» в поле поверхностной температуры возможно создание своего рода автоматических дистанционных обнаружителей, которые могли бы существенно упростить решения проблем предсказуемости кризисных ситуаций.

В предыдущих публикациях [14-16] авторы настоящей работы на основе анализа результатов дистанционных и гидрологических наблюдений за 1983- 2003 гг. показали, что основной характерной структурной особенностью циклогенеза первичных и развитых (тропических циклонов) форм тропических возмущений, возникших в акваториях Мирового океана (рассмотрение велось в глобальном масштабе и по полушариям), является отсутствие жесткой границы при их формировании в поле поверхностной температуры океана, рассматриваемой как среднемесячной многолетней (контактные измерения температуры в верхнем квазиоднородном слое океана) , так и средней трех-месячной (дистанционные измерения температуры скин-слоя океана) каждого конкретного анализируемого года. Также был продемонстрирован устойчивый характер статистических гистограмм распределений температур поверхности океана в момент перехода в зрелые (ТШ) формы тропических возмущений (ТПО - среднемесячные многолетние значения) как при выборке за 21 год (1983–2003 гг.), так и выборке за 5 лет (1999–2003 гг.) в акваториях Мирового

океана. Кроме того, авторы предположили, что при рассмотрении ситуации в региональной циклогенерирующей акватории влияние температурного поля будет (в зависимости от гидрологических и географических условий) весьма значительным, что, несомненно, отразится на форме и количественных характеристиках гистограмм.

Цель настоящей работы – на основе сопоставления пространственно-временных полей генерации начальных форм ТЦ в поле поверхностной температуры, определенных при помощи стандартных океанологических измерений по шести региональным циклогенерирующим акваториям Мирового океана за срок 1983-2006 гг., представить экспериментальные результаты (выраженные в детальных гистограммах), указывающие на наличие достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации зрелых форм и отсутствие «критической» (пороговой) температуры.

Данные наблюдений и методика их обработки

Исходные данные за 1983-2006 гг. по глобальному циклогенезу зрелых 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 [17-18]. База данных зрелых форм тропических возмущений во всем акваториях Мирового океана за 1999 – 2006 гг. была сформирована на вычислительной платформе БД «Глобал-ТЦ» при помощи объектового анализа (пре-процессинга) (см. более детально в [17]), систематизации и архивации первичной информации по состоянию тропической зоны, регулярно (ежесуточно) получаемой в течение всего периода наблюдения по системе Internet из региональных центров прогноза тайфуноопасности.

Исходные данные за 1999-2006 гг. по пространственно-временным характеристикам поверхностной температуры Мирового океана были определены на использовании данных, полученных при помощи стандартных океанологических измерений с борта научно-исследовательских кораблей (*in situ* – на глубине 1-2 м). При этом полученные пространственные поля температуры океана формировались как среднемесячные многолетние значения. Данные были заимствованы из известных атласов океанов [25], изданных в СССР в 1977 г. Сопоставление информации по полям ТПО и полям циклогенеза зрелых форм производилось в соответствии пространственно-временными особенностями полей температуры. Так, временные выборки моментов генезиса зрелых форм соответствовали среднемесячному многолетнему значению поля температуры с последующей географической привязкой мест генезиса к конкретному месяцу года за полный срок наблюдения с 1983 по 2006 г. Отметим, что в [15-16] авторы использовали и другой подход, а именно, временные выборки моментов генезиса зрелых форм соответствовали среднему трехмесячному значению поля температуры за конкретный год с последующей географической привязкой мест генезиса к конкретному месяцу и году. В этих же работах было показано, что хотя представленные два вида методик сопоставлений полей температуры и генезиса форм ТЦ принципиально различны между собой, существенного различия в полученных результатах не было. Поэтому в данном исследовании мы остановились на представлении поля ТПО как среднемесячные многолетние значения.

Результаты статистической обработки

Результаты статистической обработки представлены в виде гистограмм распределений интенсивности генезиса зрелых форм ТЦ (тропический шторм -ТШ [17]) от температур поверхности океана (ТПО) в шести циклогенерирующих акваториях Мирового океана, а именно, северо-западная часть Тихого океана (СЗТО), северо-восточная часть Тихого океана (СВТО), Атлантический океан (АО), северный Индийский океан (СИО), южный Индийский океан (ЮИО), юго-западная часть Тихого океана (ЮЗТО) (так называемые региональные циклогенезы) за 1983-2006 гг. (рис. 1а-е).

Величина статистической выборки (другими словами, число зрелых форм ТЦ, из которых формируется статистическая гистограмма) для тропических возмущений Мирового океана в акватории СЗТО составила для зрелых форм – 570, в акватории СВТО – 339, в акватории ЮЗТО – 213,

в акватории АО – 225, в акватории СИО – 93, в акватории ЮИО – 338. Соответственно аналогичные величины для акваторий Северного полушария составили 1613 и 291, а для акваторий Южного полушария - 445 и 134. На рис. 1 под ТПО (или температурой морской поверхности) понимается многолетние среднемесячные значения температуры.

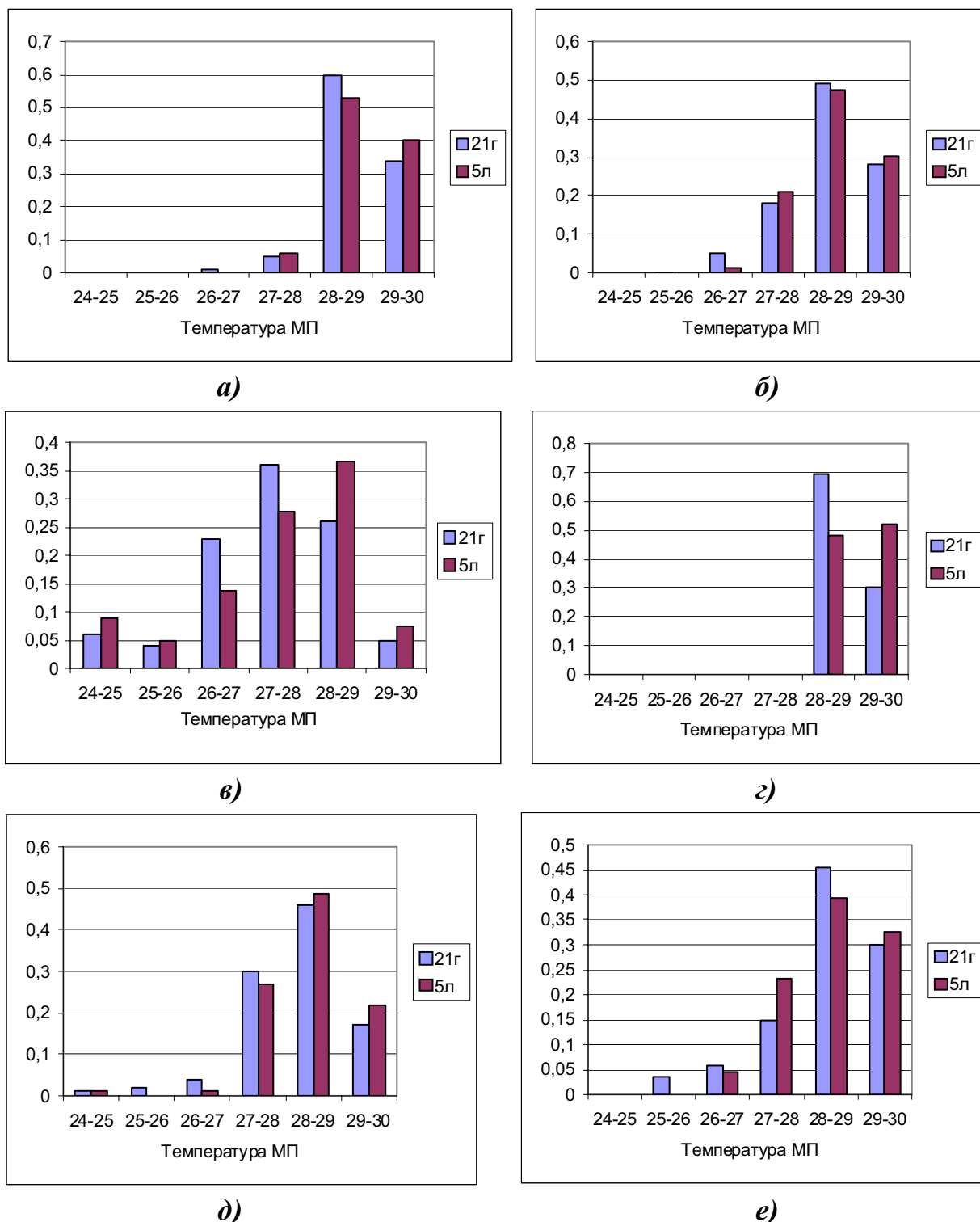


Рис. 1. Плотность вероятности возникновения ТЦ в зависимости от температуры МП (среднемесячные многолетние значения) за 21 год (1983-2003 гг.) и 5 лет (2002-2006 гг.): а) СЗТО; б) СВТО; в) АО; г) СИО; д) ЮИО; е) ЮЗТО

Из анализа рис. 1а-е нетрудно видеть, что гистограммы генезиса первичных форм в активных акваториях Мирового океана обладают (как и следовало ожидать [15-16]) большим разнообразием форм. Так для циклоногенерирующих акваторий СЗТО, СВТО, ЮИО и ЮЗТО гистограммы представляют собой типичные одновершинные распределения с резким «обрывом» при высоких температурах (более 30°С) и «затянутым» хвостом при средних температурах вплоть до 24°С и с максимумом при 28-29°С. При этой температуре «рождается» значительная часть (около 50%) зрелых форм ТЦ. Единственной особенностью, характерной для всех диаграмм, это наличие резкого спада гистограмм при температуре поверхности более 30°С. Эта особенность хорошо известна [6]. Связана она с отсутствием в Мировом океане значительных акваторий с температурой выше 31°С. Важно отметить, что для акватории АО гистограмма имеет существенно «размытый» характер в сторону низких температур вплоть до 24°С. Кроме того, следует подчеркнуть, что из анализа этих результатов следует отсутствие резкого обрыва в форме гистограмм при температуре 26–27°С, что следовало бы из разного рода теоретических предсказаний [7, 9]. При температуре ниже 26°С рождается, тем не менее, вполне значимое количество зрелых форм тропических систем – порядка 10 % от общего числа ТЦ. Подавляющая же часть развитых форм ТЦ (около 90%) формируется в акватории АО действительно при температуре поверхности, превышающей 27°С. Акватории СИО отличаются от остальных циклоногенерирующих акваторий тем, форма гистограммы генезиса зрелых форм носит практически дельта-образный характер – все зрелые формы образуются в диапазоне поверхностных температур от 28-30°С.

Важным вопросом при формировании статистических гистограмм является минимальная величина выборки, при которой гистограмма является устойчивой, т. е. однозначно определяющей статистику процесса. Для этого мы воспользуемся данными генезиса зрелых форм тропических возмущений за два принципиально различных срока – за период 1983-2003 гг. (21 год) и период 2002-2006 гг. (5 лет). Отметим, что накопление и формирование этих баз данных происходило по строго неизменной методике препроцессинга [17]. Результаты статистической обработки представлены в виде гистограмм распределений интенсивности генезиса развитых (ТШ) форм тропических циклонов в акваториях Мирового океана за период 2002-2006 гг. на рис. 1а-е вместе с периодом 1983-2003 гг. Из анализа этих совместных гистограмм на рис. 1 нетрудно видеть, что гистограммы интенсивности генезиса зрелых форм в циклоногенерирующих акваториях Мирового океана за два рассматриваемых срока достаточно близки друг к другу и, более того, все особенности каждой циклоногенерирующей акватории практически подобны как по качественной форме, так и по количественным характеристикам. Таким образом, можно утверждать, что в пределах от 21 года до 5 лет накопление статистических данных по циклогенезу дает достаточно устойчивую общую картину и репрезентативные результаты.

Заключение

На основе пространственно-временного сопоставления пространственно-временных полей генерации зрелых форм ТЦ в поле поверхностной температуры океана, определяемой при помощи стандартных океанологических измерений (*in situ* – на глубине 1м) по циклоногенерирующим акваториям Мирового океана, представлены экспериментальные результаты, указывающие на то, что региональные циклогенезы обладают очень своеобразными диапазонами поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации первичных форм ТЦ («размытые» диапазоны, «экстремумы с хвостами», «дельта – образные» формы). Таким образом, ТПО непосредственно не может служить жестким дистанционным критерием при генерации ТЦ в региональном масштабах. И, более того, результаты статистического анализа показывают, что даже постановка задачи о поиске единого критерия на критическую температуру по всем циклоногенерирующим акваториям Мирового океана непродуктивна в своей физической основе. Показано наличие достаточно широкого диапазона поверхностных температур, при которых происходят процессы генерации зрелых форм ТЦ и отсутствие «критической» (пороговой) температуры и, соответственно, отсутствие жесткой границы при их генерации в поле поверхно-

стной температуры океана, рассматриваемой как среднемесячной многолетней. Показан устойчивый характер статистических гистограмм распределений температур поверхности океана в момент перехода в зрелые (ТШ) формы тропических возмущений (ТПО - среднемесячные многолетние значения) как при выборке за 21 год (1983–2003 гг.), так и выборке за 5 лет (2002–2006 гг.) при региональных циклогенезах в акваториях Мирового океана.

Работа поддержана РФФИ в рамках проекта N 09-05-01019-а.

Литература

1. *Sharkov E.A.* Global tropical cyclogenesis // Springer / PRAXIS. London, Berlin, etc. 2000. – 370 p.
2. *Шарков Е.А.* Аэрокосмические исследования тропических циклонов // Исследование Земли из космоса, 1997. №6. С. 87-111.
3. *Sharkov E.A.* Remote Sensing of Tropical Regions // John Wiley and Sons/ PRAXIS. Chichester, New York etc., 1998. 320 p.
4. *Шарков Е.А.* Глобальный тропический циклогенез: эволюция научных взглядов и роль дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса, 2006. № 1. С. 68- 76.
5. *Грей У.* Генезис и интенсификация тропических циклонов // В кн. «Интенсивные атмосферные вихри». М., Мир. 1985. С. 10-31.
6. *Тараканов Г. Г.* Тропическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 220 с.
7. *Палмен Э., Ньютон Ч.* Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 398 с.
8. *Голицын Г.С.* Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т.44. №5. С.579-590.
9. *Добрышман Е.М., Макарова М.Е.* Тайфуны как активная составляющая регионального климата // Метеорология и гидрология. 2004. №6. С.49- 58.
10. *Henderson-Sellers A., Zhang H., Berz G., Emanuel K., Gray W., Landsea C., Holland G., Lighthill J., Shieh S.-L., Webster P. and McGuffie K.* Tropical Cyclones and Global Climate Change: A post-IPCC Assessment. // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998. Vol.79. N1. P.19-38.
11. *Timmermann A.* Decadal ENSO amplitude modulations: a nonlinear paradigm // Global and Planetary Change. 2003. Vol. 37. P. 135-156.
12. *Федоров К.Н., Гинзбург А.И.* Приповерхностный слой океана. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
13. *Путербарг Л.И.* Динамика и прогноз крупномасштабных аномалий температуры поверхности океана (статистический подход). Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 200с.
14. *Шарков Е.А., Покровская И.В.* Глобальный тропический циклогенез и поля поверхностной температуры океана: проблемы спутникового мониторинга // Тезисы Третьей открытой Всерос. конф. «Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса (физич. основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды)». ИКИ РАН. Москва, 14-17 нояб. 2005. [Электрон. ресурс]. Москва, 2005. С. 131.
15. *Шарков Е.А., Покровская И.В.* Глобальный тропический циклогенез и поля поверхностной температуры океана: проблемы спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды. Сб. научных статей. Выпуск 3. Том I. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. С. 332-337.
16. *Шарков Е.А., Покровская И.В.* Генезис тропических возмущений в поле поверхностной температуры Мирового океана по данным дистанционного и контактного зондирования // Исследование Земли из космоса, 2006. №6. С.3-9.
17. *Покровская И.В., Шарков Е.А.* Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция. Версия 2.1. (1983-2000) // М.: Полиграф сервис, 2001. 548 с.
18. *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.
19. Атлас океанов. М. ГУНО МО СССР. 1977. – 340с.

Regional tropical cyclogenesis features in the surface sea temperature fields of the World ocean using remote sensing

E.A. Sharkov, I.V. Pokrovskaya

Space Research Institute of RAS
117997, Moscow, Profsoyuznaya Str., 84/32
E-mail: easharkov@iki.rssi.ru

On the base of the analysis of remote sensing and hydrological results over the 1983-2006 it was shown that the main structured property for tropical disturbances and tropical cyclones developed in active regions of the World Ocean is the lack of “sharp cutoff“ temperatures during their forming in sea surface temperature (SST) fields considering as many years monthly mean. The regional cyclogenesis have the off-beat SST regions that determine the TC genesis processes. The consistent character of the statistical probability SST histograms at instant of the transition from tropical disturbance to tropical cyclones as by sampling during 21 years (1983-2003) and so by sampling during 5 years (2002-2006) was revealed. So using of the common criterion of the sharp-cutoff temperature over active basins of the World Ocean is unsuitable.

Keywords: tropical cyclones, sea surface temperature, cyclone generating regions.