

Диагностика развития тропических циклонов на основе спутникового мониторинга озонового слоя Земли

Н.В. Терев, А.Ф. Нерушев

*Институт экспериментальной метеорологии Научно-производственного объединения
«Тайфун» Росгидромета*

249038 Обнинск Калужской обл., пр. Ленина, 87

e-mails: tereb@typhoon.obninsk.ru, nerushev@typhoon.obninsk.ru

В работе приводятся результаты исследований связи изменений характеристик озонового слоя Земли в зонах развития тропических циклонов (ТЦ) с параметрами ТЦ, характеризующих их энергетику: скоростью приводного ветра и размерами зон штормовых и ураганных ветров. В качестве параметров, отражающих изменения в озоновом слое, взяты экстремальная глубина и размер озоновой аномалии над областью ТЦ. Анализ проведен для 20 ТЦ северной Атлантики 1998-2000гг., достигавших стадии, как минимум тропического шторма.

Введение

Известно, что тропические циклоны (ТЦ) вызывают заметные возмущения озонового слоя различного пространственно-временного масштаба [1-3]. Эти возмущения несут важную информацию об энергетике и динамике породивших их атмосферных процессов, а также о характеристиках сред, через которые они распространяются, и могут служить ранними прогностическими признаками эволюции ТЦ.

Возмущения озонового слоя тропическими циклонами на основе данных наземных и спутниковых измерений подробно рассмотрены в работах [1-5]. Количественные характеристики связи между параметрами озоновой аномалии, генерируемой развивающимся ТЦ, и параметрами, характеризующими энергетику ТЦ, на основе ограниченного объема данных исследованы в работе [6]. Там же приведены оценки точности спутниковых озонометрических измерений приборами типа TOMS в зонах действия тропических циклонов.

Данное исследование выполнено в развитие работы [6]. В нем на основе анализа спутниковых измерений общего содержания озона (ОСО) над северной Атлантикой в сезон ураганов 1998-2000 годов (временной интервал более продолжительный, чем был использован в [6]), представлены результаты исследований по выявлению связи между параметрами возмущений озонового слоя, вызываемых тропическими циклонами, и параметрами, характеризующими энергетику ТЦ.

Связь возмущений поля общего содержания озона с характеристиками тропических циклонов

В данной работе, как и в [6], использованы результаты измерений ОСО и коэффициента отражения подстилающей поверхности спутниковыми картографирующими озонометрами TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer). В этом приборе реализован т. н. метод обратного рассеяния, в котором ОСО восстанавливается по измерениям прямой и отраженной солнечной радиации в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Четыре канала прибора в спектральном интервале 312-340 нм используются для определения ОСО и один канал (360 или 380 нм) - для мониторинга подстилающей поверхности. Имеется также один канал для определения общего содержания диоксида серы. Пространственное разрешение прибора TOMS составляет около 50 км при измерениях в надире, при наклонном визировании разрешение, естественно, более грубое. Достаточно подробное описание метода измерения ОСО и отражающей способности приборами типа TOMS можно найти в [7].

Информация с прибора TOMS доступна по сети Internet (<http://jwocky.gsfc.nasa.gov/>) в виде так называемых грид-файлов, в которых шаг по широте составляет 1° , по долготе – $1,25^\circ$, что для экваториальной зоны соответствует пространственному разрешению $110 \times 140 \text{ км}^2$. В работе использованы данные 7-ой версии обработки. Для каждой ячейки сетки было определено многолетнее среднее, за период 1978-98гг., и в дальнейшем анализировались не сами значения ОСО, а их отклонения от этого среднего.

В [6] было показано, что измерения ОСО приборами обратного рассеяния имеют методическую погрешность, которая проявляется в недооценке ОСО при измерениях над активной зоной ТЦ. Над стеной глаза циклона можно ожидать недооценку ОСО до 12-13% (30-34 е.Д.).

Тем не менее естественно ожидать, что реальные и «видимые» (те, что «видят» спутниковые озонметры типа TOMS) отрицательные озоновые аномалии, генерируемые в озоновом слое циркуляционными системами ТЦ, связаны между собой. В таком случае «видимые» пространственный размер и глубина озоновой аномалии будут зависеть от энергии этих систем. Важнейшими параметрами, определяющими энергетику ТЦ и включаемыми в шторм-сводки, являются его интенсивность, характеризуемая максимальной установившейся скоростью приводного ветра V_m , и размеры зон штормовых (R_{34}) и ураганных (R_{64}) ветров, т.е. средние расстояния от центра ТЦ, в пределах которых скорость приводного ветра превышает значения 34 узла и 64 узла соответственно.

Размер озоновой аномалии будем характеризовать радиусом круга, по площади равного площади отрицательной озоновой аномалии с внешней границей, соответствующей минус 6 е.Д. и минус 9 е.Д. (обозначим его R_6 и R_9), а глубину озоновой аномалии - ее экстремальной глубиной DX_{max} , т.е. максимальным отрицательным отклонением ОСО.

Для анализа были выбраны 20 ТЦ Северной Атлантики 1998-2000гг. на стадиях депрессии, тропического шторма и урагана (район Карибского бассейна и Мексиканского залива). Перечень рассмотренных ТЦ приведен в табл. 1. Временной интервал был ограничен стадией развития ТЦ, т.е. пока скорость приводного ветра увеличивалась со временем. Это несколько отличается от подхода, использованного в работе [6], где были использованы все ТЦ Северной Атлантики 1998г, а временной интервал был ограничен только требованием изолированности ТЦ. Требования изолированности ТЦ обоснованы тем, что для неизолированных ТЦ размер и глубина озоновой аномалии (и даже ее форма) будут определяться не только процессами в самом ТЦ, но и процессами взаимодействия между ТЦ и окружающей атмосферой.

Таблица 1. Тропические циклоны Северной Атлантики 1998-200 гг, использованные для анализа связи между параметрами ТЦ и характеристиками озоновой аномалии

Наименование ТЦ	Временной интервал, выбранный для анализа	Наименование ТЦ	Временной интервал, выбранный для анализа
Bonnie-98	20.08-23.08	Harvey-99	19.09-20.09
Charley-98	21.08	Irene-99	13.10-16.10
Danielle-98	24.08-26.08	Jose-99	18.10-20.10
Earl-98	01.09-02.09	Lenny-99	13.11-16.11
Frances-98	09.09-11.09	Beryl-00	14.08-15.08
Georges-98	16.09-18.09	Debby-00	20.08-22.08
Mitch-98	22.10-26.10	Gordon-00	14.09-17.09
Bret-99	19.08-23.08	Helene-00	06.09-21.09
Dennis-99	24.08-29.08	Joyce-00	26.09-28.09
Floyd-99	08.09-13.09	Keith-99	29.09-01.10

Требующиеся для анализа отклонения ОСО от среднего многолетнего вычислялись для сетки с размером 30° по широте и 50° по долготе. Выборка осуществлялась для требуемой даты таким образом, чтобы центр ТЦ по состоянию на местный полдень приходился на центр сетки, что облегчает последующий анализ. Радиусы зон штормовых и ураганных ветров, а также значения максимальной скорости ветра были взяты из шторм-сводок по состоянию на местный полдень, при необходимости проводилась интерполяция. Использовались также материалы по ТЦ, размещенные на сайте Гавайского университета <http://www.solar.ifa.hawaii.edu/>.

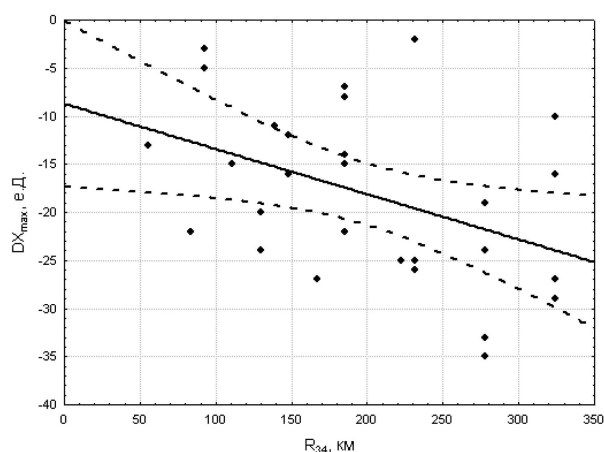


Рис. 1. Зависимость экстремальной глубины озоновой аномалии DX_{max} от радиуса зоны штормовых ветров R_{34}

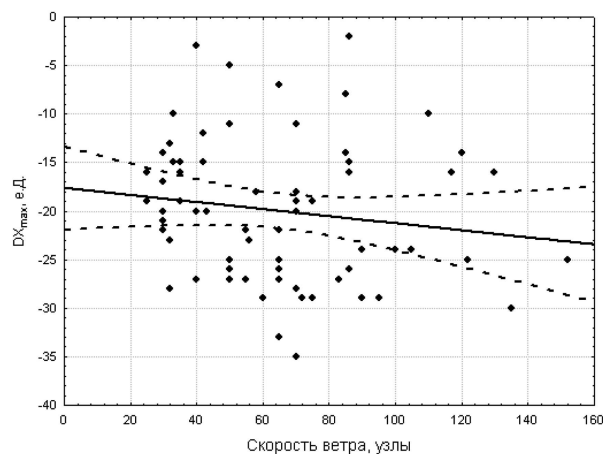


Рис. 2. Зависимость экстремальной глубины озоновой аномалии DX_{max} от максимальной установившейся скорости приводного ветра V_m

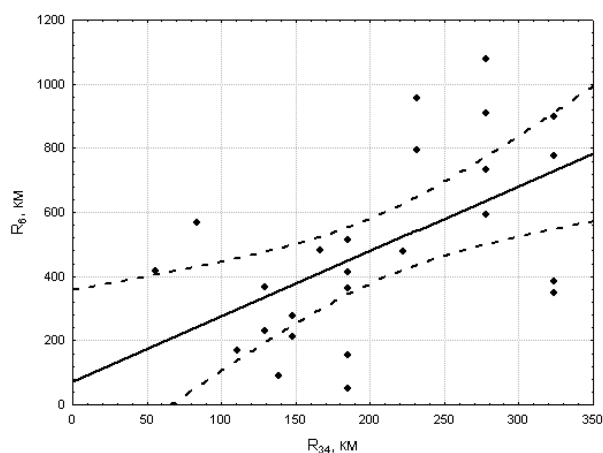


Рис. 3. Зависимость эффективного радиуса зоны отрицательной озоновой аномалии R_6 от радиуса зоны штормовых ветров R_{34}

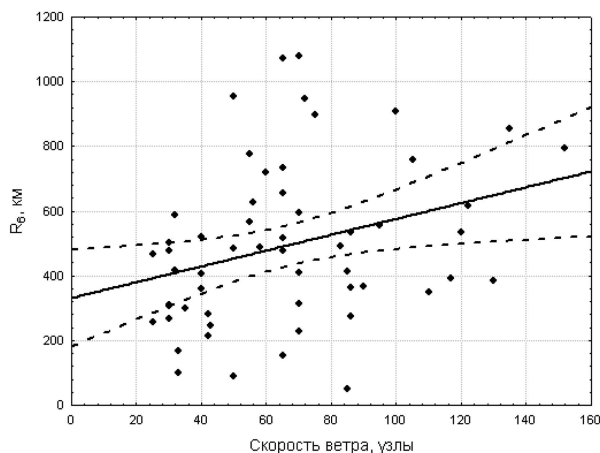


Рис. 4. Зависимость эффективного радиуса зоны отрицательной озоновой аномалии R_6 от максимальной установившейся скорости приводного ветра V_m

Результаты расчета корреляционных связей между параметрами, характеризующими отрицательную озоновую аномалию, и параметрами, характеризующими энергетику ТЦ, проиллюстрированы на рис. 1-4 и приведены в таблице 2. Сплошная кривая на рисунках – линия регрессии, пунктир – ее 95% доверительный интервал.

Таблица 2. Корреляционные связи между параметрами отрицательной озоновой аномалии и параметрами ТЦ

Исследуемые параметры		Коэффициент корреляции	Уровень значимости
R_6	R_{34}	0,56	0,0034
R_6	R_{64}	0,61	0,0014
R_6	V_m	0,31	0,02
R_9	R_{34}	0,50	0,018
R_9	R_{64}	0,55	0,008
R_9	V_m	0,25	0,065
DX_{max}	R_{34}	-0,42	0,024
DX_{max}	R_{64}	-0,43	0,03
DX_{max}	V_m	-0,15	0,23

Более сильная связь наблюдается между размерами озоновой аномалии R_6 и R_9 и эффективными размерами зон штормовых (R_{34}) и ураганных (R_{64}) ветров: коэффициенты корреляции составляют 0,50 и выше. Связь размеров озоновой аномалии с V_m значительно более слабая – коэффициент корреляции составляет 0,31 для R_6 и V_m и 0,25 R_9 и V_m . Экстремальная величина озоновой аномалии DX_{max} имеет значимую корреляционную связь только с размерами зон штормовых и ураганных ветров (коэффициент корреляции равен минус 0,42 и минус 0,43 соответственно), корреляция между DX_{max} и V_m незначима. Таким образом, размеры зон штормовых и ураганных ветров в большей степени, чем интенсивность ТЦ определяют размер озоновой аномалии и ее экстремальную глубину.

На наш взгляд это имеет достаточно простое объяснение. Обсуждаемые озоновые аномалии обусловлены, по всей видимости, воздействием на озоновый слой циркуляционных систем ТЦ [2], которые, в свою очередь, определяется главным образом величиной и пространственными масштабами зон, занятых мощными вертикальными потоками, захватывающими всю тропосферу и проникающими в стратосферу, а также струями оттока. Горизонтальные масштабы этих зон в первом приближении должны в большей степени зависеть от эффективных размеров самого вихря, т.е. от размеров зон штормовых и ураганных ветров, и в меньшей степени от его интенсивности: как было показано в [8], не существует однозначной связи интенсивности ТЦ с размерами вихря.

Большой разброс данных вызван, по-видимому, с одной стороны, погрешностями самих данных по скоростям приводного ветра и размерам зон штормовых и ураганных ветров и, с другой стороны, влиянием суши на рассматриваемые в работе ТЦ Карибского бассейна и Мексиканского залива.

Заключение

На основе анализа данных озонного картографа TOMS выявлена связь характеристик возмущений поля общего содержания озона в зонах действия 20 ТЦ Северной Атлантики на стадиях депрессии, шторма и урагана 1998-2000гг. с параметрами, определяющими энергетику ТЦ. Показано, что эффективный размер озоновой аномалии и ее экстремальная глубина зависит от размеров зон штормовых и ураганных ветров и от интенсивности ТЦ. При этом корреляционная связь параметров, характеризующих размеры озоновой аномалии и размеры ТЦ существенно сильнее, чем связь параметров, характеризующих глубину озоновой аномалии и интенсивность ТЦ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 06-05-64317).

Литература

1. *Нерушев А.Ф.* Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли // С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2003. 223 с.
2. *Нерушев А.Ф.* Возмущения озонового слоя, вызываемые тропическими циклонами // Изв. АН. Физика атмосферы и океана, 1994. Т. 30. № 5. С. 630-637.
3. *Нерушев А.Ф.* Воздействие тропических циклонов на озоносферу // Изв. АН. Физика атмосферы и океана, 1995. Т. 31. №1. С. 46-52.
4. *Rodgers E.B., Stout J., Steranka J., and Chang S. W.* Tropical cyclone / upper-atmospheric interaction as inferred from satellite total ozone observations // J. Applied Meteorology, 1990. Vol. 29. No. 9. pp. 934-957.
5. *Stout J. and Rodgers E.B.* Nimbus – 7 total ozone observations of western North Pacific tropical cyclones // J. Applied Meteorology, 1992. Vol. 31. No. 7. pp. 758-783.
6. *Нерушев А.Ф., Тереб Н.В.* Особенности возмущений озонового слоя тропическими циклонами по данным спектрометра TOMS // Исследование Земли из космоса, 2001. №3. С. 3-9.
7. *Bhartia P.K., Klenk K.F., Gordon D. and Fleig A.J.* Nimbus-7 total ozone algorithm // 5th Conf. Atmos. Radiat., Baltimore, Md., 31 Oct.4 Nov., 1983. Boston, Mass. 1983. pp.115-117.
8. *Weatherford C.L.* Typhoon structure variability // Dep. Atm. Sci. Pap., 1985. No 391. 77 p.