

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465.7

ВЛИЯНИЕ ФЕНОМЕНА ЭЛЬ-НИНЬО НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ В ТИХОМ ОКЕАНЕ**Р. Н. Калашников, Д. А. Ханин, А. Б. Нелепо, Г. Г. Хунджуа***(кафедра физики атмосферы)*

На основании инструментальных измерений и теоретических расчетов группы кафедры физики атмосферы получены новые данные о тепломассообмене между океаном и атмосферой в зоне феномена Эль-Ниньо. Нами произведен подбор информации, полученной метеорологическими спутниками, о тропических циклонах (ТЦ). Проведенный анализ информации показал, что в годы действия Эль-Ниньо количество тропических циклонов значительно увеличивается.

Бедствия, вызываемые тропическими циклонами, давно заставили исследователей в различных странах работать над задачей прогнозирования развития циклонов из начальных вихрей, которые обнаруживаются в том или ином районе Мирового океана, над поисками методов расчета их траекторий, а также над выяснением условий затухания циклонов.

С развитием спутникового мониторинга появился новый объем информации, ранее недоступный ученым. Также появилась возможность сопоставлять данные с метеорологических спутников и из иных источников (например, система Atlas-Triton в Тихом океане).

Главными объектами нашего исследования стали тропические циклоны (ТЦ), возникавшие в восточной части Тихого океана в период с 1995 по 1999 г. (рис. 1); наиболее же интересны циклоны 1997–1998 гг., связанные с появлением феномена ЭНЮК (Эль-Ниньо Южное Колебание).

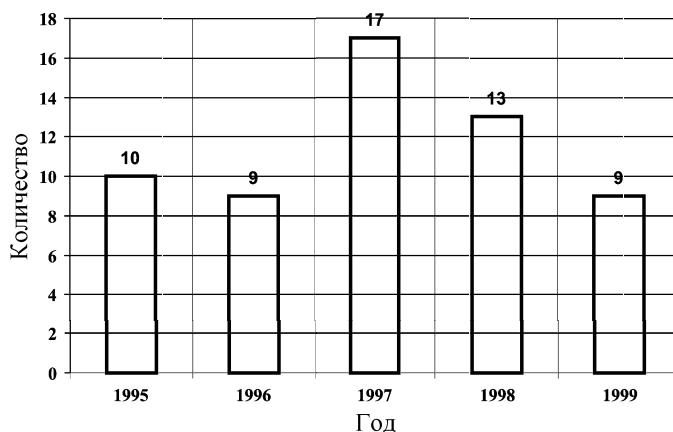


Рис. 1. Интенсивность возникновения тропических циклонов в восточной части Тихого океана в период 1995–1999 гг.

Анализ данных (track chart), полученных Национальным центром по ураганам (National Hurricane Center) США, показывает, что если в 1995–1996 гг. количество зафиксированных и наиболее сильных ураганов в восточной части Тихого океана было около десяти, то в 1997 г. — уже семнадцать (по-

следний, Rick, с 7 по 10 ноября), а в 1998 г. — тринадцать ураганов (последний, Madeline, с 16 по 20 октября), на 1999 г. пришлось девять ураганов (с замыкающим список ураганом Irwin с 8 по 11 октября) [1]. Заметим, что пик действия ЭНЮК пришелся на декабрь 1997 — январь 1998 г. Нетрудно видеть значительное отличие количества ураганов в 1997–1998 гг. от других лет, более того, «сезон ураганов» фактически затягивается (до ноября в 1997 г., до конца октября в 1998 г. соответственно) [2]. В материалах журналов «Шпигель» «Spiegel» (ФРГ) и «Ю.С. Ньюс энд Уорлд Рипорт» «US News and World Report» (США) отражено мнение ученых, что основным фактором, оказывающим столь огромное влияние на интенсивность ураганов, является феномен Эль-Ниньо. Германский метеоролог М. Латиф утверждает: «Эль-Ниньо еще никогда так быстро и энергично не развивалось, как в 1997 г. Не в том ли причина, что те лишние 1.5–2 градуса, на которые за последние годы по причине усилившегося парникового эффекта нагрелась атмосфера, как-то уже влияют на океанскую машину погоды?» [3]. Мы предполагаем существование условий, влияющих на возникновение ЭНЮК и ТЦ, и влияние механизма ЭНЮК на интенсивность ТЦ.

Начиная с 1980-х гг. кафедрой физики атмосферы физического факультета МГУ в ежегодных морских экспедициях в разные районы Мирового океана с борта судов велись инструментальные измерения.

В последние годы ведется работа по созданию базы данных спутниковой информации, собранной в сети Internet.

Уравнение теплового баланса столба воды единичного сечения в деятельном слое океана глубиной h [4] (уравнение Шулейкина)

$$c_p \rho h \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} = I_0(1 - A_w) - F_{EF} - q_K - q_I, \quad (1)$$

где c_p — теплоемкость воды, ρ — плотность воды, $\bar{\theta}$ — средняя температура по глубине столба h , t — время, I_0 — сумма прямой и рассеянной радиации, q_I и q_K — потоки тепла на испарение и контактной

теплопередачи, F_{EF} — поток эффективного излучения, A_W — альбеда Земли.

При рассмотрении годового цикла левая часть уравнения считается равной нулю, тогда получим уравнение радиационного баланса океана и атмосферы:

$$0 = I_0(1 - A_W) - F_{EF} - q_K - q_I, \quad (2)$$

$$q_\Sigma = q_I + q_K + F_{EF}. \quad (3)$$

Отметим, что основной вклад в тепломассообмен (ТМО) вносит поток тепла на испарение q_I , который в свою очередь зависит от двух параметров — θ_s (в частности, F_{EF} определяется θ_s , измеренной методом ИК-радиометрии или микротермозондированием) и скорости ветра V , поэтому особый интерес представляют результаты инструментальных измерений потоков ТМО при ураганных ветрах и в аномальных зонах с повышенной температурой поверхности океана (ТПО). Как было показано в [5], основная часть энергии в условиях Эль-Ниньо сосредоточена в потоке тепла на испарение водяного пара $q_\Sigma > F_{EF}$ (так как $q_I > F_{EF} > q_K$ из уравнения (3)). Рассмотрим источники потоков теплоты, питающие накопления тропического теплового бассейна (ТТБ). Из наблюдений известно, что температура воды в ТТБ на $\Delta\theta = 5-9^\circ\text{C}$ выше температуры соседних слоев водных масс. К моменту заполнения ТТБ объем его составляет $V = abz$, где a — расстояние между западной долготой 180° и берегом Индонезии, равное $4.4 \cdot 10^6$ км; b — ширина потока, которую принято считать равной 10^3 км; z — глубина, равная по инструментальным измерениям 100–150 м. Таким образом, объем ТТБ к моменту заполнения составит

$$V = 4.4 \times 10^6 \text{ м} \times 10^6 \text{ м} \times 1.5 \times 10^2 \text{ м} = 6.6 \times 10^{14} \text{ м}^3.$$

Следовательно, масса ТТБ будет равна

$$m = \rho \times V = 6.6 \times 10^{17} \text{ кг},$$

где ρ — плотность воды.

Знание процессов формирования ТТБ и определение массы теплой воды дает возможность оценить энергию, аккумулированную в сформировавшейся термодинамической структуре ТТБ. Для режима нагрева поверхности воды на 5°C энергия равна следующей величине:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= c \times M \times \Delta\theta = \\ &= 4.2 \times 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C}) \times 6.6 \times 10^{17} \text{ кг} \times 5^\circ\text{C} = \\ &= 1.4 \times 10^{22} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Указанная энергия будет выброшена в атмосферу за время действия Эль-Ниньо в течение одного года.

Тропические циклоны возникают над теплыми водами тропических океанов, где воздух очень влажный и конвергирующие ветры вызывают конвективные процессы, ответственные за возникновение циклонов.

Когда холодные воздушные массы оказываются расположенными над организованной группой тропических гроз, возникает неустойчивость атмосферы. Эта нестабильность увеличивает вероятность конвекции, которая приводит к возникновению сильных восходящих движений воздуха, которые поднимают воздух, увеличивая влажность и тем самым создавая среду, благоприятную для развития мощных кучево-дождевых облаков. В результате зарождается тропическое возмущение, которое является первым этапом развивающегося циклона. Сезон циклонов обычно длится с июня по ноябрь, когда температура воды в этих областях сравнительно высокая (больше 26.5°C) [4]. Большинство циклонов рождается поздним летом и ранней осенью, т. е. в августе и сентябре. Можно оценить величину энергии Эль-Ниньо, выбрасываемой за год, которая равна $\sim 5.6 \cdot 10^{21}$ Дж.

Средняя же энергия ТЦ (за время его жизни, около 10 сут) $\sim 3.4 \cdot 10^{19}$ Дж, следовательно, максимальное количество ураганов $5.6 \cdot 10^{21}$ Дж / 3.4×10^{19} Дж ~ 160 ТЦ [6]. По среднестатистическим данным, в год Эль-Ниньо зарождается около 15–17 крупных ураганов, следовательно, запас энергии ТТБ намного больше, чем затраты на питание ураганов теплом [6, 7].

По спутниковым данным о скорости ветра, количестве испаряемого водяного пара, облачной структуре ТЦ, времени жизни ТЦ в период активности феномена ЭНЮК мы предполагаем получить зависимости количества водяного пара, испаряемого с поверхности океана, и суммарной плотности потока тепла от скорости ветра ТЦ. Заметим, что на малых скоростях ветра были использованы измерения методом микротермозондирования, полученные в ходе экспедиций (Атлантический океан, Каспийское море, Черное море).

Начальный отрезок кривой (рис. 2) охватывает изменения q_Σ — суммарной плотности потока тепла при скорости ветра до 10 м/с. Анализ показал, что этот участок описывается экспоненциальным законом. Здесь скорость нарастания потока q_Σ значительна. На участке от 10 до 15 м/с темп нарастания

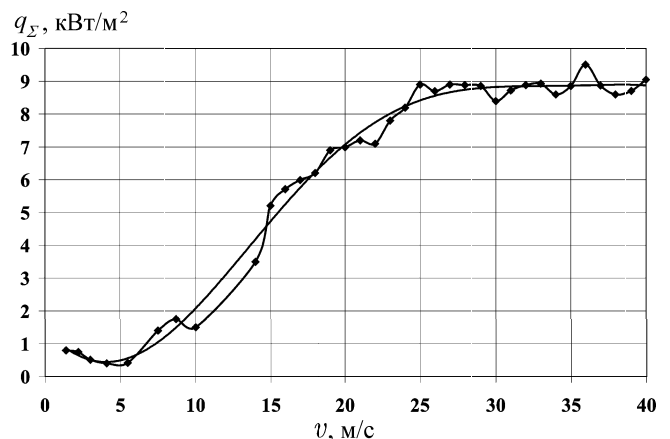


Рис. 2. Экспериментальная кривая зависимости суммарной плотности потока тепла от скорости ветра

потока почти не меняется. При дальнейшем росте ветра суммарная плотность потока тепла q_{Σ} на участке от 15 м/с начинает асимптотически приближаться к своему насыщению из-за вступления в действие отрицательных обратных связей системы (усиление испарения приводит к понижению θ_s и уменьшению давления насыщения пара у поверхности океана). На участке со скоростями ветра от 15 м/с кривая выпуклая, и ее можно описать аналитически выражением вида $K(1 - e^{-\beta V})$. В соответствии с вышеизложенным из геометрических соображений следует, что кривая на отрезке от 10 до 15 м/с должна иметь точку перегиба. Поскольку начиная со значения скорости ~ 25 м/с кривая $q_{\Sigma}(V)$ пологая, при дальнейшем усилении ветра поток q_{Σ} будет увеличиваться незначительно [5].

Найденная зависимость дает возможность по данным о скоростях ветра в энергоактивных районах определить плотность суммарного потока тепла, в частности в зоне действия Эль-Ниньо. Из графика видно, что при возрастании скорости ветра плотность потока энергии водяного пара стремится к насыщению.

Используя совокупность информации о скоростях ветра (полученные с помощью сети Internet) и обрабатывая эти данные методом, предложенным кафедрой физики атмосферы физического факультета МГУ, мы получаем более ясную картину происходящего. Суть анализа сводится к следующему: зная путь (track chart) того или иного циклона, длительность и координаты, мы сопоставляем с полученными из Internet ежедневные карты усредненной скорости ветра и термодинамического состояния области атмосферы, через которую проходит циклон. Из данного анализа можно получить величину средней энергии ТЦ, которая составляет $\sim 4.5 \cdot 10^{19}$ Дж [6], оценить влияние ЭНЮК на интенсивность циклонов, более точно оценить энергию при формировании ТТБ. Работа в этой области также позволит сделать шаг к пониманию процессов влияния ЭНЮК на климат Земли.

Выводы

1) Были собраны материалы по структуре тропических циклонов, климатическая информация об океане, о границе раздела вода-воздух, о температуре поверхности моря, что дало возможность применить разработанные группой методы в расчете скорости ветра в тропическом циклоне.

2) В результате обработки информации о скоростях ветра был произведен расчет плотности потока водяного пара при тепломассообмене океана и атмосферы в зоне действия тропического циклона.

3) Анализ данных о ТЦ в период с 1995 по 1999 г. в Восточной части Тихого океана показал, что в пике интенсивности ЭНЮК возрастает частота появления тропических циклонов и их разрушительная способность.

Литература

1. *Winston J.S.* Hurricane forecasting. Washington, 1959.
2. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды / Под ред. И.П. Ветлова, Н.Ф. Вельтищева. Л., 1982.
3. *Николаев Г.С.* Наука и жизнь. 1998. №1. С. 64.
4. *Шулейкин В.В.* Расчет развития, движения и затухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами. Л., 1978.
5. *Хунджуа Г.Г., Нелепо А.Б.* // Препринт физфака МГУ. 2000. №4. С. 3.
6. *Хунджуа Г.Г., Нелепо А.Б.* // Препринт физфака МГУ. 2001. №9. С. 2.
7. *Нелепо А.Б., Калашников Р.Н., Хунджуа Г.Г.* // Тез. докл. Третья Всероссийская научная конференция «Физические проблемы экологии (экологическая физика)». М., 2001. С. 17.

Поступила в редакцию
22.09.03