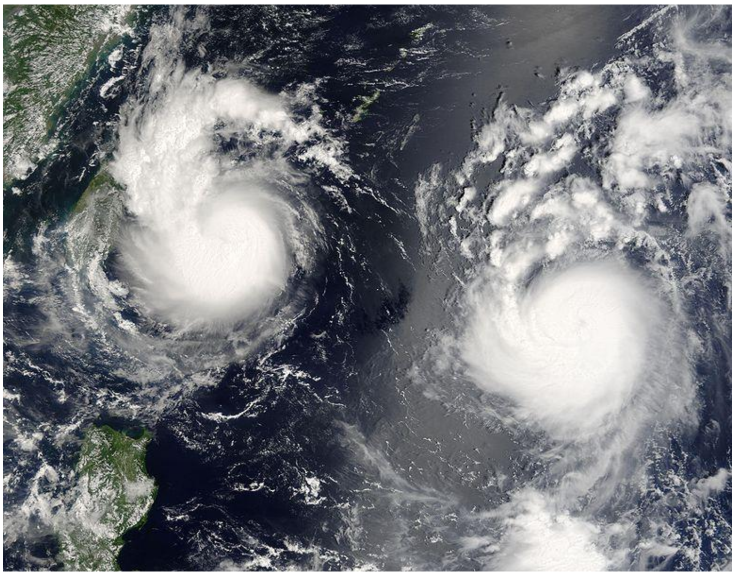
Математическое моделирование тропических циклонов (торнадо)

Тропические циклоны относятся к погодным системам синоптического масштаба с циклоническим вращением воздуха на нижних уровнях атмосферы. Тропические циклоны возникают и развиваются в тропических широтах над океаном и обычно четко выделяются как отдельные перемещающиеся образования в полях облачности, ветра, приземного давления, температуры и влажности воздуха, осадков. Подчеркивая их существенные отличия от циклонов средних широт, часто указывают на их нефронтальное происхождение и зарождение только над океанами, близкую к концентрической форму и относительно малые размеры. Во всем диапазоне интенсивности - от бесформенных облачных скоплений с ветром менее 10 м/с до супер-тайфунов с ветром более 60 м/с - тропические циклоны постоянно наблюдаются в тропиках, а отдельные, проходя тысячи километров, поднимаются до широт 50-60° с.ш., возмущая циркуляцию атмосферы средних широт. Они являются неотъемлемым элементом картины общей циркуляции атмосферы, определяя в значительной мере взаимодействие атмосферы с океаном и гидрологические характеристики верхних его слоев в районах их перемещения, меридиональный перенос тепла и пара в атмосфере. Области зарождения и эволюции тропических циклонов ограничены примерно параллелями 35 с.ш. и 25 ю.ш., что составляет более 50% площади Мирового океана. Это обусловливает важность научных аспектов исследований самих тропических циклонов и взаимодействия их с океаном. Значительный материальный ущерб, наносимый при выходе интенсивных тропических циклонов на побережье, большое влияние их на хозяйственную деятельность в морях и океанах делают исследования тропических циклонов актуальными с практической точки зрения. При этом обычно целью исследований является решение задач прогноза интенсивности и перемещения ураганов и тайфунов, а также вызванных ими возмущений уровня моря, состояния поверхности, гидрологической структуры верхних слоев океана. Случай тропического циклогенеза на широте 30° ю.ш., зарегистрированный в южной Атлантике, указывает на возможные изменения в географии районов зарождения ТЦ.

Большой научный интерес тропическим циклонам представляют для геофизической гидродинамики, в которой одним из основных объектов исследования являются вихревые образования в атмосфере и океане, процессы и механизмы их возникновения и эволюции. При этом многие черты тропических циклонов, а так же основные физические механизмы, определяющие их структуру и эволюцию, можно найти и в других барических системах атмосферы и в океанских вихрях. Так, по структуре подобными тропические циклоны являются субтропические и зимние циклоны над океаном, полярные мезоциклоны, развивающиеся также над океаном. Кроме этого, в локализованных областях глубокой конвекции в океанах и морях развиваются вихревые структуры, напоминающие тропические циклоны. Известные в геофизической гидродинамике разнообразные эффекты вращения могут проявляться в тропических циклонов в более широком диапазоне характерных чисел подобия, чем это обычно принято в приближениях динамики атмосферы и океана.

Исследования тропических циклонов в настоящее время проводятся по многим направлениям: климатология, зарождение и развитие, структура и энергетика, перемещение и взаимодействие с океаном, численное моделирование эволюции и перемещения тропических циклонов. Задачи, решаемые при этом, тесно связаны с проблемами физики атмосферы и океана, метеорологии и океанологии, динамики системы океан-атмосфера и климата, проблемами интерпретации данных дистанционных методов зондирования атмосферы и океана, которые в последние десятилетия становятся основными в наблюдении и оценке характеристик тропических циклонов. Ниже приведена математическая модель тропических циклонов



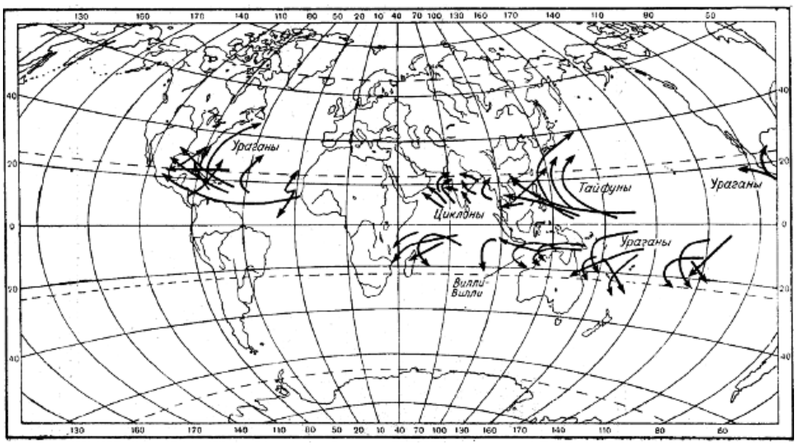


Рис. 4.3 Разные примеры тропических циклонов (торнадо).

1)
$$\frac{\partial P_n u}{\partial t}+\frac{\partial u P_n u}{\partial x}+\frac{\partial v P_n u}{\partial y}+\frac{\partial P_n \dot{\sigma} u}{\partial \sigma}= fP_n v-P_n\frac{\partial \Phi}{\partial x}+$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}(P_n\Gamma D_T)+\frac{\partial}{\partial y}(P_n\Gamma D_S)+\frac{\partial}{\partial \sigma}(k\frac{\partial u}{\partial \sigma})$$

2)
$$\frac{\partial P_n v}{\partial t}+\frac{\partial u P_n v}{\partial x}+\frac{\partial v P_n v}{\partial y}+\frac{\partial P_n \dot{\sigma} v}{\partial \sigma}= fP_n u-P_n\frac{\partial \Phi}{\partial y}+$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}(P_n\Gamma D_s)+\frac{\partial}{\partial y}(P_n\Gamma D_T)+\frac{\partial}{\partial \sigma}(k\frac{\partial v}{\partial \sigma})$$

3)
$$\frac{\partial P_n}{\partial t}=-\int_0^1\left\{u\frac{\partial P_n u}{\partial x}+v\frac{\partial P_n v}{\partial y}\right\}d\sigma$$

4)
$$\dot{\sigma}=\frac{1}{P_n}\left[-\sigma\frac{\partial P_n}{\partial t}-\int_0^\sigma\left\{u\frac{\partial P_n u}{\partial x}+v\frac{\partial P_n v}{\partial y}\right\}d\sigma\right]$$

5)
$$w=-P_n\sigma\left[-\frac{\dot{\sigma}}{\sigma}+\frac{\partial\dot{\sigma}}{\partial\sigma}+\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right]$$

6)
$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma}=-RT$$

7)
$$\frac{\partial P_n T}{\partial t}+\frac{\partial u P_n T}{\partial x}+\frac{\partial v P_n T}{\partial y}+\frac{\partial P_n \dot{\sigma} T}{\partial \sigma}=\frac{RT_w}{c_p\sigma}+Q+$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}(P_n\Gamma\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(P_n\Gamma\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial \sigma}(k\frac{\partial T}{\partial \sigma})$$

8)
$$\frac{\partial P_n q}{\partial t}+\frac{\partial u P_n q}{\partial x}+\frac{\partial v P_n q}{\partial y}+\frac{\partial P_n \dot{\sigma} q}{\partial \sigma}=C+$$
$$+\frac{\partial}{\partial x}(P_n\Gamma\frac{\partial q}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(P_n\Gamma\frac{\partial q}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial \sigma}(k\frac{\partial q}{\partial \sigma})$$

где

$$D_S=\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\quad D_T=\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{\partial v}{\partial y}\qquad \Gamma=l^2|D|\quad D=\sqrt{D_S{}^2+D_T{}^2}$$

Для данной системы ставим аналогичные начальные и граничные условия как в главе 4.3.

Первые два уравнения аналогичны главам 4.2 и 4.3. Третье уравнение - давление на поверхности земли. Четвертое - изменение вертикальной скорости. Пятое уравнение описывает локальные изменения скорости. Шестое - изменения геопотенциального давления. Седьмое описывает температуры окружающей среды, а восьмое - изменения влажности.

Здесь u, v и w компоненты скорости, k - коэффициенты диффузии, σ - высота, T - температура, q - влажность, π - давление на высоте, Q - температурный баланс, P_n - давление на земле, $\frac{\partial}{\partial\sigma}(k_3\frac{\partial}{\partial\sigma})$ - движение по вертикали, f - сила Кориолиса, Φ - геопотенцальное изменения, R - универсальная газовая постоянная, g - ускорение свободного падения.

Численный алгоритм для системы уравнений:

1) Решаем уравнение (3) с помощью матричной прогонки.
2) P_n подставляем в (4) уравнение и находим $\dot{\sigma}$.
3) Подставляя найденные переменные в уравнение (5), решаем конечно разностным методом.
4) Найденные значения P_n подставляем в уравнения (1) и (2) и так же решаем с помощью метода дробных шагов.
5) Найденные u и v подставляем в уравнения (7) и находим w.
6) Объединяя все известные значения в (8) уравнение, решаем с помощью метода матричной прогонки.