

ПРОГНОЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Б.Я.Шмерлин, М.Б.Шмерлин

ФГБУ “НПО “Тайфун”, г. Обнинск

E-mail: shmerlin@rpatyphoon.ru

Аннотация. Приводятся результаты диагностических, квазипрогностических и прогностических расчётов перемещения тропических циклонов (ТЦ) в рамках гидромеханической модели (ГММ). Показано, что в диагностическом режиме ГММ достаточно корректно описывает перемещение ТЦ. Параметры ГММ (константы для каждого ТЦ) достаточно корректно могут быть определены на предпрогностическом периоде: средние ошибки квазипрогнозов по северо-западной части Тихого океана составляют 217, 272, 258, 257, 267 км на 3, 4,...7 суток соответственно. Средние по сезону ТЦ 2011 года ошибки прогнозов ГММ с учетом ошибок прогнозов во внетропической зоне составили 397, 457, 574 км на 3, 4, 5 суток, что, по-видимому, находится на уровне ошибок официальных американских прогнозов и несколько меньше ошибок наиболее развитых зарубежных динамических методов прогноза, по крайней мере, для заблаговременностей прогноза 4 и 5 суток.

1. Введение

На основе анализа баротропных и бароклинических моделей, игнорирующих трение ТЦ о подстилающую поверхность (ПП), сложилось мнение, что ТЦ лишь незначительно отклоняются от окружающего крупномасштабного течения, называемого ведущим потоком (ВП). Поскольку зачастую это противоречит данным наблюдений [1], усилия исследователей направлены на поиск возможных причин существенного отклонения ТЦ от ВП в рамках указанных моделей. Между тем, трение ТЦ о ПП является фактором, обеспечивающим торможение ТЦ как целого и приводящим к значительному отклонению ТЦ от ВП. Характерное время торможения ТЦ вследствие трения о ПП порядка 0.5 суток, время увлечения ТЦ ведущим потоком вследствие лобового

сопротивления порядка 2.5 суток [2]. На первый взгляд, ТЦ должен почти покоиться, и следует искать причины, по которым ТЦ в тех или иных случаях движется со скоростью, близкой к скорости ВП. В такой ситуации имеет смысл использовать для описания перемещения ТЦ общие выражения для сил, действующих на круговой цилиндр, движущийся произвольным образом в произвольном двумерном вихревом потоке [3,4]. Этот подход реализован в гидромеханической модели (ГММ) [2,5,6].

2. Структура гидромеханической модели

Уравнение перемещения ТЦ в рамках ГММ имеет вид:

$$d\mathbf{V}/dt = d\mathbf{V}_0/dt + [(\mathbf{V} - \mathbf{V}_0) \times \boldsymbol{\Omega}_0] - \alpha \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{V}_0) - \alpha_1 \cdot \mathbf{V}_0 + \mathbf{F}_\beta, \\ \boldsymbol{\Omega}_0 = \mathbf{i} \Omega_0, \quad \Omega_0 = 2\Omega_\perp(1-A) - A\omega, \quad \Omega_\perp = \Omega \sin \varphi, \quad \omega = V_\varphi(L)/L, \\ \alpha = (b+c)/2, \quad \alpha_1 = (b-a)/2, \quad F_\beta = f \frac{\Omega \cos \varphi}{L^2 R} \int_0^L V_\varphi(r) r^2 dr, \quad (1)$$

где \mathbf{V} – скорость перемещения ТЦ; $\mathbf{V}_0(x, y, t)$ – поле скорости ВП; \mathbf{i} – единичный вектор, направленный вертикально вверх; $2\Omega_\perp$ – параметр Кориолиса; ω – угловая скорость вращения ТЦ; Ω – угловая скорость вращения Земли; φ – широта центра ТЦ; L – радиус ТЦ; $V_\varphi(r)$ – радиальное распределение тангенциальной скорости ветра в ТЦ; A – коэффициент, характеризующий отличие обтекания тропического циклона ведущим потоком от чисто двумерного (известно [7], что при чисто двумерном обтекании цилиндра параметр Кориолиса исчезает из уравнения движения, т.е. $A=1$); b – коэффициент трения ТЦ о ПП; a – коэффициент трения ВП о ПП; c – коэффициент трения ТЦ о ВП; \mathbf{F}_β – направленная на север сила Россби, F_β – её модуль; $f \approx 1$ – безразмерный параметр модели; R – радиус Земли. Мы не приводим соответствующее уравнение в сферической системе координат, которое и использовалось в работе.

Закономерности отклонения ТЦ от ВП в рамках ГММ оказываются совершенно иными, чем в моделях, игнорирующих трение ТЦ о ПП. Так, для установившегося движения вихря с

$\Omega_0 = const$ в однородном стационарном ВП со скоростью \mathbf{V}_0 из (1) получаем:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 - \left\{ \alpha_1 \alpha \mathbf{V}_0 - \alpha_1 [\Omega_0 \times \mathbf{V}_0] + [\Omega_0 \times \mathbf{F}_\beta] - \alpha \mathbf{F}_\beta \right\} (\alpha^2 + \Omega_0^2)^{-1}.$$

В частности, если $b \gg a$, $b \gg c$, то $\alpha_1 \approx \alpha$, и при $\Omega_0 = 0$ имеем $\mathbf{V} = \mathbf{F}_\beta / \alpha$ для любой скорости ВП \mathbf{V}_0 . Если же $|\Omega_0| \gg \alpha$, то $\mathbf{V} \approx \mathbf{V}_0 - [\Omega_0 \times \mathbf{F}_\beta] / \Omega_0^2$.

В качестве вихря, моделирующего ТЦ, в ГММ выбран модифицированный вихрь Ренкина $V_\phi(x)/V_m = 2x/(1+x^2)$, $x = r/R_m$, V_m - максимальная скорость ветра ТЦ, R_m - радиус, на котором скорость ветра достигает максимального значения. После этого величины L, A, a, b, c, F_β , входящие в (1), могут быть выражены через V_m и R_m , а также четыре безразмерных модельных параметра, одним из которых является параметр f в (1), остальные три аналогичны по смыслу, но фигурируют в выражениях для A, a, c и считаются константами для каждого конкретного ТЦ. Указанные параметризации и описание безразмерных параметров модели можно найти в [6].

Метод прогноза перемещения ТЦ на основе ГММ включает три блока: блок интенсивности и радиальной структуры ТЦ, обеспечивающий объективный анализ и прогноз величин V_m и R_m ; блок ВП, обеспечивающий объективный анализ и прогноз поля скорости ВП; собственно блок прогноза, использующий ГММ. В первом блоке используется информация телеграмм - штормовых предупреждений. Они передаются четыре раза в сутки Национальным Центром Ураганов (ННС) для Атлантики и северо-востока Тихого океана и Объединённым Центром Предупреждения Тайфунов (JTWC) для северо-запада Тихого океана. Телеграммы содержат объективный анализ и прогноз с заблаговременностью до 5 суток включительно координат ТЦ, максимальной скорости ветра V_m и радиуса R_1 , на котором скорость ветра достигает значения $V_1 = 34$ узла. Отсюда

определяется $R_m = R_1 \left[V_m / V_1 + \sqrt{(V_m / V_1)^2 - 1} \right]^{-1}$. В блоке ВП

используется объективный анализ и прогноз (с заблаговременностью до 6 суток включительно) полей ветра на стандартных уровнях в коде GRIB на сетке 2.5×2.5 градуса. Указанная информация выдаётся Глобальной Оперативной Моделью ГМЦ РФ два раза в сутки. За каждый срок прогноза находится среднее по высоте тропосферы в слое от поверхности до 200 мб поле ветра. Оно содержит циркуляцию ТЦ. В окрестности ТЦ вырезается окно, охватывающее циркуляцию ТЦ, и внутри окна осуществляется интерполяция поля ветра из внешней области. Полученное поле ветра считается полем скорости ВП $V_0(x, y, t)$ за соответствующий срок.

3. Результаты расчетов перемещения ТЦ

Под диагностическими и квазипрогностическими имеются в виду расчёты, в которых в течение всего времени жизни ТЦ в качестве полей скорости ВП и величин V_m и R_1 используется их объективный анализ. При этом в случае диагностических расчетов параметры модели (константы для каждого ТЦ) подбираются из условия наилучшего совпадения расчётной и фактической траектории в течение всего времени жизни ТЦ. В случае квазипрогностических расчетов эти параметры подбираются из условия наилучшего совпадения расчётной и фактической траектории на протяжении предпрогностического периода, длительность которого в случае реального прогноза определяется имеющейся на момент прогноза информацией о предшествующем перемещении ТЦ. Квазипрогностические расчёты отличаются от прогностических тем, что в случае реального прогноза на прогностическом периоде вместо объективного анализа полей скорости ВП и величин V_m и R_1 используется их прогноз.

Нами накоплены все необходимые для расчетов архивы полей ветра и телеграмм по ТЦ за сезоны 2001, 2003, 2010 и 2011 годов. В указанных сезонах оказалось порядка 120 ТЦ со временем жизни от 4 до 15 суток, для которых проводились диагностические расчёты. Для всех этих ТЦ среднее вдоль траектории отклонение расчетного положения от фактического не превышает 150 км, для большинства ТЦ оно меньше 100 км, что сравнимо с точностью определения фактического положения ТЦ. Диагностические

расчёты воспроизводят не только общий характер траекторий ТЦ, но также характерные особенности большинства траекторий: характерную форму той или иной траектории в окрестности точек поворота, петли, топтание на месте и т. д. Примеры диагностических расчетов для ТЦ с нестандартными траекториями приведены на Рис. 1. Первые 4 цифры в имени ТЦ обозначают год, следующие – порядковый региональный номер ТЦ в сезоне, символ “W” соответствует северо-западу Тихого океана. Метки на траекториях проставлены через 12 часов, траектории с кружками – расчетные. По горизонтали отложена долгота, по вертикали – широта в градусах.

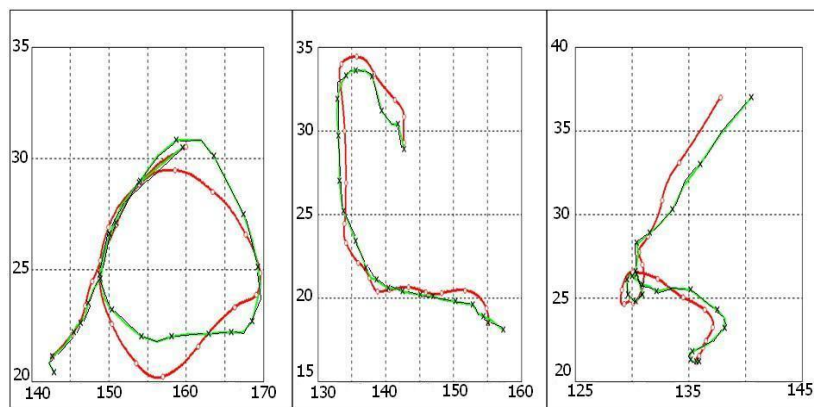


Рис.1. Примеры диагностических расчетов: слева - ТЦ 2003 21W, время жизни 10 суток, средняя вдоль траектории ошибка 87 км; в центре - ТЦ 2011 08W, время жизни 10 суток, средняя вдоль траектории ошибка 118 км; справа - ТЦ 2011 18W, время жизни 9.5 суток, средняя вдоль траектории ошибка 103 км.

Средние по сезону 2010 года ошибки квазипрогнозов по северо-западной части Тихого океана составили 217, 272, 258, 257, 267 км на 3, 4, ... 7 суток соответственно, что существенно меньше средних ошибок официальных прогнозов JTWC (315, 450, 540 км на 3, 4 и 5 суток). В целом, квазипрогностические расчёты демонстрируют возможность корректного определения параметров модели по части траектории ТЦ, соответствующей предпрогностическому периоду.

В сезоне ТЦ 2011 года проведены испытания ГММ в прогностическом режиме. Как известно, средние по сезону ошибки

официальных прогнозов на 30 – 50 км меньше средних ошибок любых других методов прогноза. При этом при расчете средних по сезону ошибок учитываются ошибки только тех прогнозов, для которых вся прогнозируемая часть реальной траектории ТЦ располагается в пределах тропической зоны, т.е. южнее 30-го градуса северной широты. Ошибки прогнозов существенно возрастают во внетропической зоне. Средние по сезону ТЦ 2011 года ошибки прогнозов ГММ по северо-западной части Тихого океана составили 397 (116), 457 (89), 574 (66) км на 3, 4, 5 суток соответственно, с учетом ошибок прогнозов и во внетропической зоне. В скобках указано количество прогнозов соответствующей заблаговременности. По-видимому, можно утверждать, что ошибки прогнозов ГММ находятся на уровне ошибок официальных американских прогнозов JTWC и меньше ошибок наиболее развитых зарубежных динамических методов прогноза, по крайней мере, для заблаговременностей прогноза 4 и 5 суток.

Вместе с тем, ошибки прогнозов почти на 130 – 250 км, в зависимости от заблаговременности, больше ошибок квазипрогнозов. Это связано только с тем, что прогнозы крупномасштабного поля ветра и величин V_m и R_1 значительно отличаются от соответствующего объективного анализа. По мере того, как указанные прогнозы будут приближаться к объективному анализу, ошибки прогнозов ГММ будут приближаться к ошибкам квазипрогнозов.

Литература

1. K.Dong, // Mon. Wea. Rev, 1986, v.114, № 1, p. 115.
2. Б.Я.Шмерлин. // Тропическая метеорология. Тр. 4-го Междунар. симпоз. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - С. 179.
3. Ю.Л.Якимов. // Изв. АН СССР. МЖГ, 1970, № 2, с. 202.
4. А.Г.Петров. // ДАН СССР, 1978, т.238, № 1, с. 33.
5. Б.Я.Шмерлин и др. // Украинский гидрометеорологический Журнал, 2009, № 4, с. 67.
6. Б.Я.Шмерлин, М.Б.Шмерлин // Современные проблемы дист. зондирования Земли из космоса, 2012, т.9, №2, с. 243.
7. H.L.Kuo. // J. Atmos. Sci., 1969. v.26, p. 390.