

## ДИНАМИКА ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА

© Воронков С.С.

Контакт с автором: [vorss60@yandex.ru](mailto:vorss60@yandex.ru)

### Аннотация

*Рассмотрены причины возникновения тропических циклонов. Показано, что тропический циклон возникает как результат взаимодействия двух сред: гидродинамической – гидродинамический вихрь и электронной – квантовый электронный вихрь. Анализируется механизм формирования глаза бури.*

### Введение

Динамика атмосферы включает основные закономерности движения атмосферы, формирование циклонов и антициклонов, струйных течений, волн различной природы, конвекцию, турбулентность. В XX веке был достигнут значительный прогресс в изучении динамики атмосферы Земли. Были разработаны математические модели общей циркуляции атмосферы, что позволило реализовать систему прогнозирования погоды и климата. И если уравнения геофизической гидродинамики дают приемлемые решения для общей циркуляции атмосферы, то для некоторых объектов, таких как: тропические циклоны, полярные мезоциклоны, смерчи и др. приходится вводить особые механизмы формирования. Эти объекты выпадают из общей схемы описания. Создается впечатление, что при рассмотрении этих объектов не учитывается, упускается что-то важное.

Это что-то важное есть электронная среда, в которой осуществляются все электромагнитные процессы. Это та среда, от которой в начале XX века под влиянием теории относительности Эйнштейна физика отказалась.

Теория относительности Эйнштейна отказалась от эфира. В работе [1] показано, что эфир представляет собой электронную среду, в которой электроны сохраняют ближний порядок. То есть атмосфера Земли состоит из двух сред: газовой и электронной. Неучет электронной среды приводит к тем погрешностям и ошибкам в прогнозировании тропических циклонов, которые мы наблюдаем сегодня.

Поэтому для описания физических процессов, происходящих в атмосфере Земли, необходимо привлекать две системы уравнений для газовой и электронной сред: уравнения гидродинамики и уравнения динамики вакуума, полученные в работе [1].

### Тропические циклоны (ТЦ)

Тропические циклоны (называемые на восточном побережье Азии и островах Тихого океана тайфунами, а в Северной Америке и островах Атлантики ураганами) возникают над тёплой морской поверхностью и сопровождаются мощными грозами, выпадением ливневых осадков и ветрами штормовой силы. Тропические циклоны обладают огромной разрушительной силой.

## 1. Причины возникновения ТЦ

В процессе возникновения тропические циклоны проходят ряд стадий, сменяющих друг друга. Эти стадии следующие [2]:

- тропическое возмущение;
- тропическая депрессия;
- тропический шторм;
- ураганная стадия.

В четвертой стадии происходит значительное усиление тропического циклона, возникает так называемый «глаз бури», являющийся самым феноменальным и загадочным явлением в тропическом циклоне – рис. 1.



Рис. 1. Ураган Ирма 6 сентября 2017 г. В центре урагана отчетливо виден глаз бури. Рисунок взят с сайта <http://rusvesna.su/>

Но ураганная стадия наступает не во всех случаях. Как отмечается в [3]: «Однако, не смотря на интенсивное развитие науки и техники, тайна возникновения тропических циклонов до конца не разгадана. Почему, из многочисленных депрессий, возникающих в тропической зоне обоих полушарий, в среднем одна из десяти получает свое дальнейшее развитие и достигает стадии тропического шторма или урагана? Вопрос до конца не изучен и остается открытым. Поэтому и точность прогнозирования возникновения тропических циклонов остается на достаточно низком уровне и является предметом интенсивных исследований».

В настоящее время имеется ряд математических моделей [3,4,5,6], достаточно точно описывающих поведение тропических циклонов. Но существенным их недостатком является чисто гидродинамический подход при описании тропических циклонов и неучет электронной среды. Гидродинамический подход приемлем на начальной стадии зарождения циклона, на стадии тропического возмущения и тропической депрессии. При математическом прогнозировании погоды широко используют уравнение переноса вихря, полученное из общих уравнений гидродинамики А.А. Фридманом, К. Россби, Е.Н. Блиновой, А.М. Обухова и др. [7,8]

$$\frac{\partial \Omega_z}{\partial t} + \left( u \frac{\partial \Omega_z}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega_z}{\partial y} \right) + w \frac{\partial \Omega_z}{\partial z} + (\Omega_z + 2\omega_z) \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \beta v + \left( \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho^2} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial x} \right). \quad (1)$$

Здесь  $\Omega_z = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$  – вертикальная проекция вихря скорости относительного движения;  $\beta = 2\partial \omega_z / \partial y = 2\omega \cos \varphi / R$  – параметр Россби;  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли,  $\omega_z$  – вертикальная проекция угловой скорости вращения Земли;  $\varphi$  – широта,  $R$  – радиус Земли.

Вертикальная проекция угловой скорости вращения Земли зависит от широты местности

$$\omega_z = \omega \sin \varphi. \quad (2)$$

Здесь  $\varphi$  – широта местности.

Именно поэтому тропические циклоны зарождаются в широтных зонах от 10 до 20° южного и северного полушарий, где становится существенной вертикальная проекция скорости вращения Земли  $\omega_z$  – рис. 2.

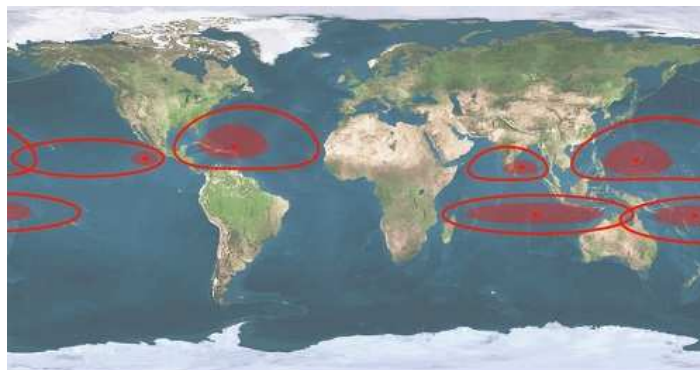


Рис. 2. Районы зарождения тропических циклонов. Центры маленьких кружков здесь являются математическими ожиданиями географических координат зарождения ТЦ в регионе. Закрашенные эллипсы вокруг кружков соответствуют среднеквадратическим отклонениям координат от центра. Внешние овалы проведены через максимально удалённые от центра начальные координаты ТЦ, возникших в регионе. Рисунок взят с сайта <http://meteoinfo.ru/tropicyclonesdatab>

Еще один важный фактор, влияющий на районы зарождения тропических циклонов, установил Лучков [9]. Он установил связь образования тропических циклонов с корональными выбросами плазмы на Солнце. Под действием корональных выбросов радиационные пояса Земли уже не удерживают высокоэнергетичные частицы, и они прорываются в атмосферу Земли. Как отмечается в [9]: «Происходит перескок частиц внутрь магнитосферы, на более низкие, расположенные ближе к экватору оболочки и, в конце концов, высыпание ускоренного потока в атмосферу по геомагнитному экватору. Потoki релятивистских электронов высокой энергии HRE (highly relativistic electrons), появляющиеся с приходом корональных выбросов, были зарегистрированы спутниками SAMPEX и POLAR (NASA)».

Места высыпаний вторгающихся в атмосферу потоков частиц "указал" эксперимент со спектрометром AMS (атомный масс-спектрограф) на борту шаттла "Discovery" (1998) [9] – рис. 3.

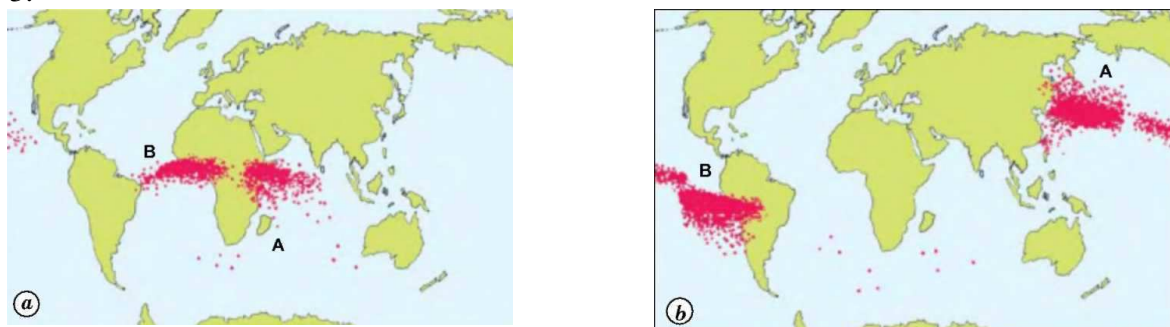


Рис. 3. Карты высыпания из радиационного пояса электронов  $e^-$  (a) и позитронов  $e^+$  (b) по данным эксперимента AMS (атомный масс-спектрограф) на борту шаттла "Discovery" (1998). Рисунок взят из работы [9].

Сравнение рис. 2 районов зарождения тропических циклонов с рис. 3 карт высыпания из радиационного пояса электронов и позитронов свидетельствует об их корреляции.

## 2. Система уравнений, описывающая возникновение ТЦ

Выпишем систему уравнений динамики вакуума, полученную в работе [1], в приближении уравнения Шредингера

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \mathbf{V}}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \mathbf{V} &= c^2 \nabla^2 \mathbf{V}, \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \eta \left( \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 &= c^2 \nabla^2 \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\mathbf{V}$  – вектор скорости электронной среды,  $\varphi$  – электрический скалярный потенциал,  $\eta$  – плотность электронной среды,  $c$  – скорость света.

Атмосфера Земли состоит из двух сред: газовой и электронной. На микроуровне электронная среда неподвижна и является диэлектриком. Но на макроуровне эта среда подвижна, что и делает ее «невидимой». Эта среда входит в состав атомов, молекул, тел. Масса тела проявляется через взаимодействие с этой средой.

В работе [1] показано, что уравнение Шредингера, описывающее процессы на микроуровне, содержится в системе уравнений (3). Эта же система уравнений описывает возникновение тропического циклона, то есть возникновение тропического циклона можно рассматривать как квантовый эффект, проявляющийся на макроуровне.

Для анализа образования тропического циклона привлечем первое уравнение системы (3)

$$\frac{\partial^2 \mathbf{V}}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \mathbf{V} = c^2 \nabla^2 \mathbf{V}. \quad (4)$$

Из анализа уравнения (4) следует, что влияние второго члена в левой части уравнения будет существенным, когда  $\nabla^2 \varphi$ , по крайней мере, отличен от нуля. Возьмем операцию  $\text{rot}$  от левой и правой части уравнения (4). Тогда, учитывая что  $\text{rot} \mathbf{V} = \boldsymbol{\Omega}$ , получим

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{\Omega}}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \boldsymbol{\Omega} = c^2 \nabla^2 \boldsymbol{\Omega}. \quad (5)$$

где:  $\boldsymbol{\Omega}$  – вектор угловой скорости вращения тропического циклона с проекциями  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  на оси декартовой системы координат  $x, y, z$  соответственно. Ось  $z$  перпендикулярна поверхности Земли и направлена вверх.

Векторное уравнение (5) представляет собой три скалярных уравнения в проекциях на оси  $x, y, z$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \omega_x &= c^2 \nabla^2 \omega_x, \\ \frac{\partial^2 \omega_y}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \omega_y &= c^2 \nabla^2 \omega_y, \\ \frac{\partial^2 \omega_z}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \omega_z &= c^2 \nabla^2 \omega_z. \end{aligned} \quad (6)$$

Учитывая, что угловая скорость вращения тропического циклона  $\omega_z$  удовлетворяет условиям

$$\begin{aligned} \omega_z &\gg \omega_x, \\ \omega_z &\gg \omega_y, \end{aligned} \quad (7)$$

достаточно ограничиться третьим уравнением в (6)

$$\frac{\partial^2 \omega_z}{\partial t^2} - \frac{\nabla^2 \varphi}{2\eta} \omega_z = c^2 \nabla^2 \omega_z. \quad (8)$$

Будем искать решение уравнения (8) в виде

$$\omega_z = \omega_z^0(r) \cdot e^{-i\omega t}. \quad (9)$$

Здесь  $\omega_z^0(r)$  – функция, определяющая распределение угловой скорости тропического циклона вдоль оси  $r$ ;  $e$  – экспонента;  $\omega$  – круговая частота;  $i = \sqrt{-1}$ .

Подставляя (9) в уравнение (8), после преобразований, подробно приведенных в работе [1], получим уравнение, с точностью до постоянной совпадающее с уравнением Шредингера для квантового гармонического осциллятора

$$\nabla^2 \omega_z^0 + \frac{C_1 m_e}{\hbar^2} (E - \frac{m_e \omega_0^2 r^2}{2} C_2) \omega_z^0 = 0, \quad (10)$$

где  $m_e$  – масса электрона,  $\hbar$  – постоянная Планка,  $\omega_0$  – собственная частота осциллятора,  $E$  – энергия осциллятора,  $C_1$  и  $C_2$  – константы.

Действительно, выпишем уравнение Шредингера для гармонического осциллятора [10]

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}) \psi = 0, \quad (11)$$

где  $m$  – масса частицы,  $\omega_0$  – собственная частота осциллятора,  $\psi$  – волновая функция,  $E$  – энергия осциллятора.

Распишем дифференциальный оператор

$$\nabla^2 \omega_z^0 = \frac{1}{r} \frac{\partial \omega_z^0}{\partial r} + \frac{\partial^2 \omega_z^0}{\partial r^2}, \quad (12)$$

При значительных  $r$ , справедливых для тропического циклона, можно пренебречь первым членом в правой части (12). Тогда уравнение (10) переписется

$$\frac{d^2\omega_z^0}{dr^2} + \frac{C_1 m_e}{\hbar^2} (E - \frac{m_e \omega_0^2 r^2}{2} C_2) \omega_z^0 = 0. \tag{13}$$

В дальнейшем вместо  $\omega_z^0$  будем писать  $\omega_z$ .

Учитывая совпадение уравнений (11) и (13), будем использовать известное решение уравнения (11) для поиска решения уравнения (13).

Выпишем решение уравнения (13), привлекая решение уравнения Шредингера для гармонического осциллятора (11) [11]

$$\omega_{zn}(r) = \frac{1}{\sqrt{r_0}} \frac{e^{-\frac{1}{2}(\frac{r}{r_0})^2} H_n(\frac{r}{r_0})}{\sqrt{2^n n! \sqrt{\pi}}}, \tag{14}$$

$$E_n = \hbar\omega_0(n + \frac{1}{2}) \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \tag{15}$$

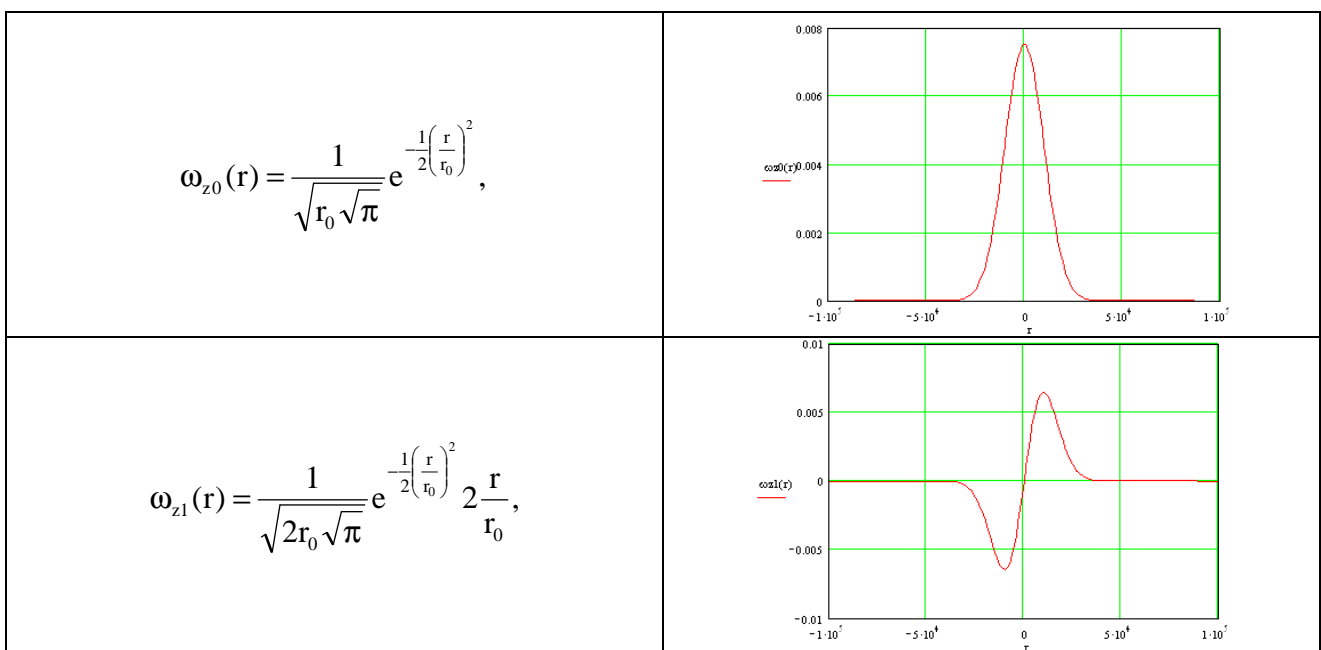
где  $r_0 = \sqrt{\frac{\hbar}{C_1 C_2 m_e \omega_0}}$ ,  $H_n$  – полиномы Чебышева – Эрмита,  $n$  – главное квантовое число.

Что необходимо понимать под собственной частотой осциллятора  $\omega_0$  для уравнения (10)? Это вертикальная проекция угловой скорости вращения Земли, так как электронная среда, вместе с газовой средой, участвует во вращении Земли вокруг своей оси

$$\omega_0 = \omega \sin \varphi. \tag{16}$$

Здесь  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли,  $\varphi$  – широта местности.

Приведем формулы и решения (14) для разных квантовых чисел, приняв  $r_0 = 10000$  и вычислив значения полиномов Чебышева – Эрмита



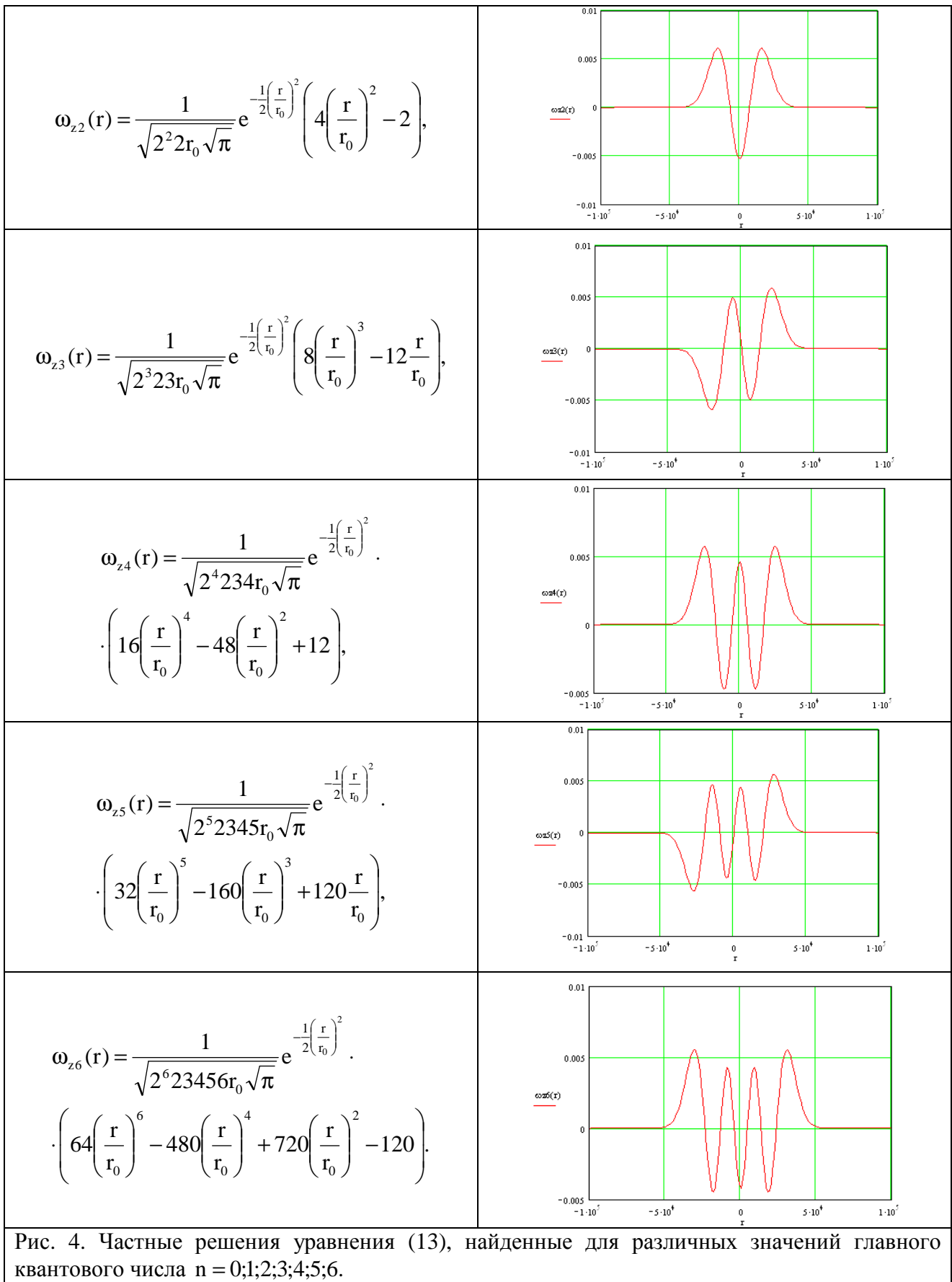


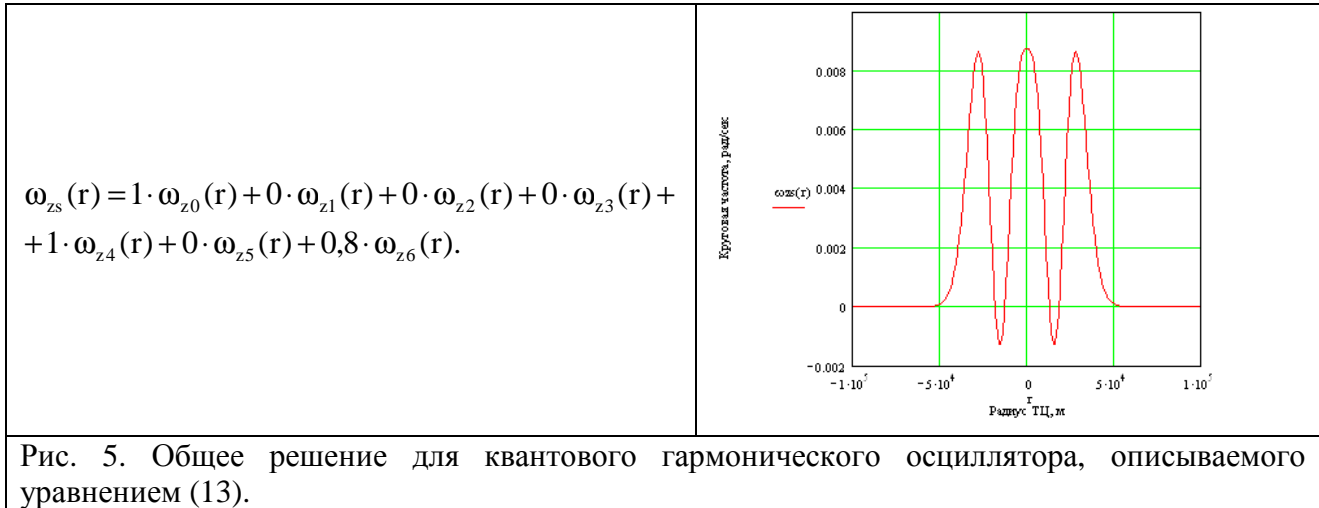
Рис. 4. Частные решения уравнения (13), найденные для различных значений главного квантового числа  $n = 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6$ .

Общее решение определится как суперпозиция частных решений

$$\omega_{zs}(r) = \sum_n c_n \omega_{zn}(r), \tag{17}$$

где  $c_n$  – постоянные коэффициенты.

Значения коэффициентов  $c_n$  найдем из физической постановки задачи. Решение должно быть симметричным относительно оси  $z$ . Следовательно, коэффициенты с нечетными квантовыми числами необходимо принять нулевыми. Подбирая коэффициенты при четных квантовых числах, получим для круговой частоты квантового электронного вихря



Рассмотрим решение на рис. 5 более подробно. В электронной среде возникает квантовый вихрь с круговой частотой  $\omega_{zs}$ . В отличие от гидродинамического вихря, у которого круговая частота постоянна, у квантового вихря круговая частота изменяет свое значение по радиусу. Это приводит к тому, что электронная среда вращается только в определенных, узких зонах, из которых газовая среда вытесняется. Это приводит к возникновению глаза бури и зон, свободных от водяного пара. В зонах, где  $\omega_{zs} \approx 0$  концентрируется газовая среда и водяной пар – стена глаза и формируются дождевые полосы – рис. 6.

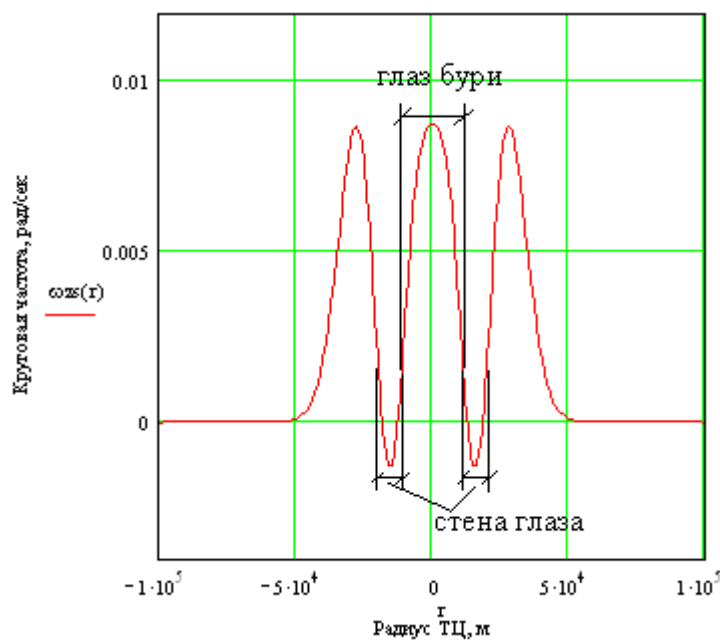


Рис. 6. Формирование глаза бури.



Структура тропического циклона приведена на рис. 7.

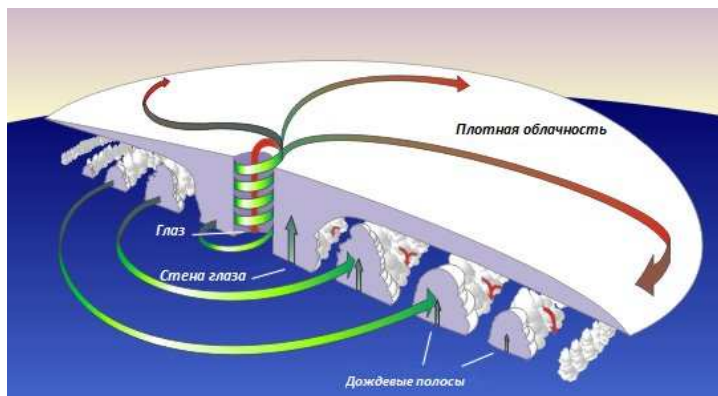


Рис. 7. Структура тропического циклона. Рисунок взят из Википедии. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

### 3. Последовательность формирования ТЦ

Формирование тропического циклона можно разбить на ряд этапов. Рассмотрим их.

**Первый этап.** Назовем его: гидродинамический. На этом этапе формируется тропическое возмущение и тропическая депрессия. Этот этап достаточно хорошо изучен и фактически существующая на сегодня теория по тропическому циклону соответствует этому этапу. Гидродинамический вихрь, возникающий на этом этапе, описывается уравнением переноса вихря (1).

**Второй этап.** На этом этапе происходит потеря устойчивости электронной среды под действием релятивистских электронов, «выпадающих» из радиационных поясов Земли. Действительно, как следует из уравнений (4) и (5) на устойчивость электронной среды влияет величина  $\nabla^2\phi$ . Второе уравнение системы (3) приведено в приближении квантовой механики, которое является линейным. Если учитывать релятивистские электроны, то необходимо уточнить это уравнение.

Для учета в системе уравнений (3) релятивистских электронов, установленных Лучковым [9], учтем во втором уравнении дополнительные члены полной системы уравнений [1]

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} - \eta \left( \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 + \mathbf{V} \cdot \text{grad}(\mathbf{V} \cdot \text{grad}\phi) = c^2 \nabla^2 \phi. \quad (18)$$

Учитывая, что релятивистские электроны «влетают» в атмосферу по направлению оси  $z$ , перпендикулярной поверхности Земли, перепишем уравнение (18) в виде

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} - \eta \left( \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 = (c^2 - V_z^2) \nabla^2 \phi. \quad (19)$$

Осредняя уравнение (19) по времени, для среднего значения лапласиана скалярного потенциала  $\nabla^2\phi$  получим

$$\nabla^2\phi = \frac{\eta}{c^2 - V_z^2} \left( \frac{\partial V}{\partial t} \right)^2. \quad (20)$$

Для релятивистских электронов скорость  $V_z$  стремится к скорости света  $c$  и, соответственно,  $c^2 - V_z^2$  будет стремиться к нулю, что приведет, согласно (20), к значительному росту лапласиана скалярного потенциала. При превышении определенного порогового значения  $\nabla^2\phi$ , происходит потеря устойчивости электронной среды, и она приходит во вращение.

**Третий этап.** На этом этапе происходит формирование электронного вихря. Особенность электронного вихря заключается в том, что он подчиняется квантовым законам. Круговая частота квантового электронного вихря  $\omega_{zs}$  не является постоянной, как у гидродинамического вихря, а зависит от радиуса тропического циклона. Электронный вихрь «накладывается» на гидродинамический вихрь, возникает их взаимодействие. В зонах, где круговая частота  $\omega_{zs}$  имеет максимальное значение, формируется глаз бури и зоны, свободные от дождевых полос. Из этих зон газовая и водяная среды вытесняются в стену глаза и в дождевые полосы. Это приводит к значительному снижению площади, занимаемой гидродинамическим вихрем и интенсификации крупномасштабной турбулентности в стене глаза и в дождевых полосах, за счет которой поддерживается электронный вихрь. Действительно, в стене глаза лапласиан  $\nabla^2\phi$  поддерживается благодаря объемному заряду, наведенному в грозовом облаке. Выпишем уравнение электростатики для грозового облака в виде

$$\nabla^2\phi = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (21)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Кл/(В·м) – электрическая постоянная,  $\rho$  – плотность объемного электрического заряда, наведенного в стене глаза.

Представим плотность электрического заряда как сумму двух составляющих

$$\rho = \rho_k + \rho_t, \quad (22)$$

где  $\rho_k$  – плотность электрического заряда на каплях и кристаллах,  $\rho_t$  – плотность электрического заряда, возникающая под действием крупномасштабной турбулентности.

Как отмечается в [8], роль турбулентности в создании объемного заряда двоякая. С одной стороны, если усиливается мелкомасштабная турбулентность, то увеличивается ток проводимости и, как следствие, уменьшается напряженность электрического поля первого масштаба (по облаку в целом). С другой стороны, достаточно крупные турбулентные объемы, отрываясь от общего потока и сближаясь со столь же крупными объемами, содержащими заряды противоположного знака, увеличивают напряженность поля.

На третьем этапе происходит активное взаимодействие между гидродинамическим и электронным вихрями.

### Заключение

1. Атмосфера Земли состоит из двух сред: газовой и электронной. Проведенное рассмотрение показывает, что для полного описания возникновения тропических циклонов необходимо учитывать электронную среду. Теория относительности

Эйнштейна, отказавшаяся от этой среды в начале XX века, затормозила развитие науки и нанесла ей ощутимый ущерб.

2. Динамику возникновения тропического циклона можно разбить на три этапа. Первый этап – гидродинамический. Второй этап заключается в потере устойчивости электронной среды и является бифуркационным. При наличии релятивистских электронов – он возникает, при отсутствии – нет. На третьем этапе возникает квантовый электронный вихрь, который активно взаимодействует с гидродинамическим вихрем.
3. Установленные закономерности возникновения тропических циклонов позволяют выработать новые методы борьбы с ними.

### Литература

1. Воронков С.С. Общая динамика. – 6-е изд., переработанное. – Псков: Квадрант, 2016. – 411 с. Электронный вариант работы представлен на Яндекс.Диске: <https://yadi.sk/i/g7m1M33EsXtsP>
2. Кузнецов А.А. Физика природной среды. Часть II. Мировой океан. Учебное пособие. – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997.
3. Иоффе Г.М., Воронин А.А., Третьякова Л.П. Методика космического мониторинга тропических циклонов. – М.: ФГБУ «НИЦ «Планета», 2015. – 31 с.
4. Хоффман Р. Повелевать ураганами. В мире науки. № 1, 2005. С. 36-43.
5. Кибальчич И. Что такое «CLIPER»? <http://meteoweb.ru/2010/phen072.php>
6. Глебова Е.С. Структура и эволюция тропических циклонов и их мезомасштабных аналогов в умеренных и высоких широтах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. – М.: МГУ, 2012. – 27 с.
7. Фридман А.А. Опыт гидродинамики сжимаемой жидкости. – Ленинград: ОНТИ, 1934. – 370 с.
8. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 751 с.
9. Лучков Б. Ураганы – вечная проблема? Наука и жизнь. № 3, 2006. С. 58-64.
10. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики: Квантовая механика. – М.: Просвещение, 1991. – 320 с.
11. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736 с.